

510
11-62

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР

АЛТАЕ-САЯНСКИЙ
И ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ
РЕГИОНЫ

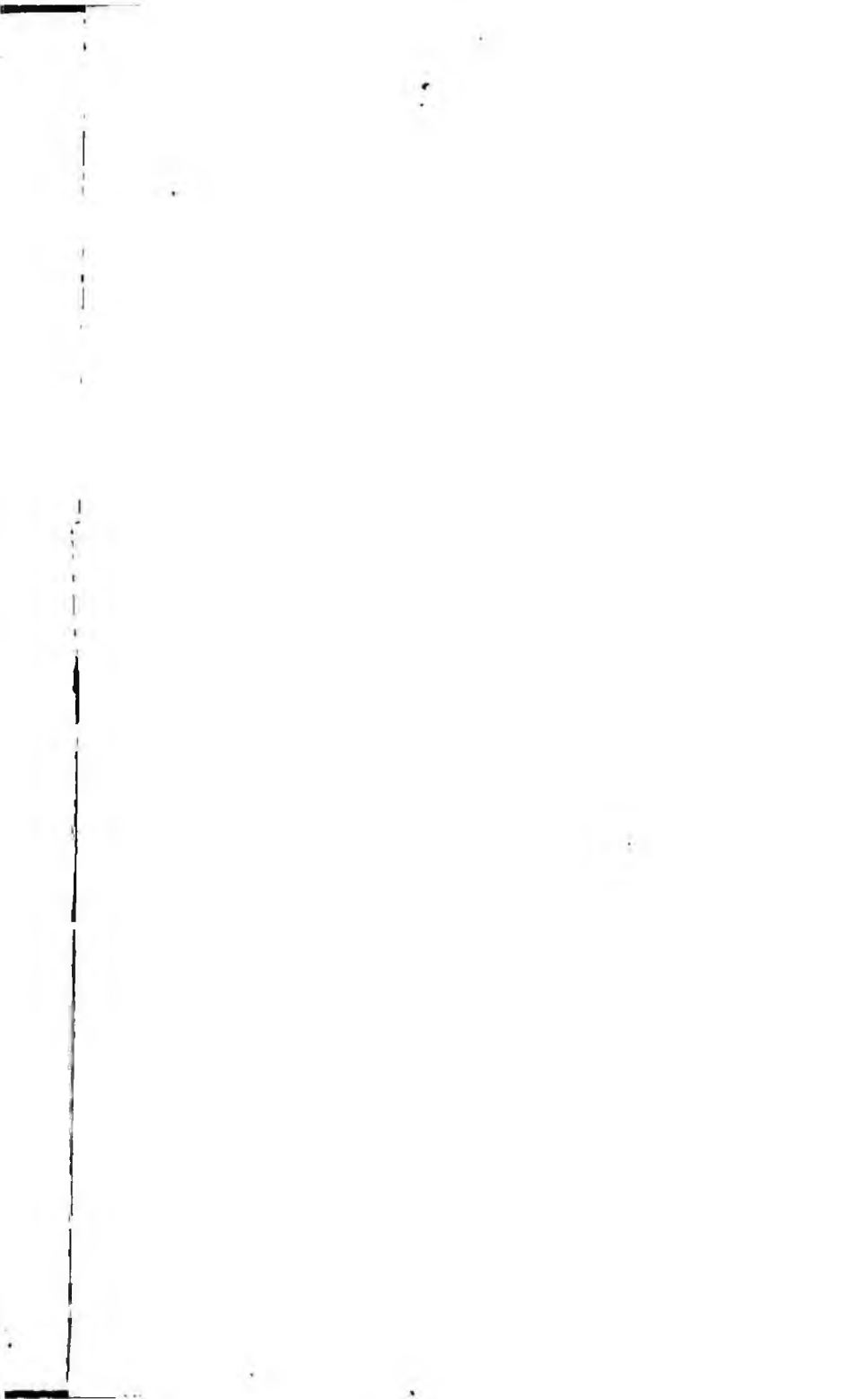
550	49012
U-62	
Инженерная школа	
и.д. СССР	
	5=70

Книга должна быть возвращена по
 позже указанного здесь срока

Количество предыдущих выдач _____

--	--





550
26-62

10001

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР

АЛТАЕ-САЯНСКИЙ И ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОНЫ

Под редакцией
Н.Н. РОМАНОВСКОГО,
Г.А. ГОЛОДКОВСКОЙ, В.К. ШЕВЧЕНКО

ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА
Шифр _____
Биб. № 49042



Москва "Недра" 1990

ББК 26.3
1162
УДК 624.131

Редакционная коллегия: Е. М. Сергеев (главный редактор), В. В. Баулин, В. П. Бочкарев, В. П. Волков, В. П. Вонсавичус, Г. А. Голодковская, Б. В. Графский (зам. главного редактора), С. Е. Гречишев, К. И. Джанджгава, С. Г. Дубейковский, Д. Г. Зялинг (ответственный секретарь), Г. А. Колпашников, Н. С. Комаров, М. М. Максимов, П. И. Мельников, Я. В. Неизвестнов, К. И. Сычев (зам. главного редактора), В. Т. Трофимов (зам. главного редактора), А. С. Хасанов, В. К. Шевченко, А. И. Шеко, Е. А. Яковлев.

Организация-спонсор — Экспедиция № 10 ПГО «Гидроспецгеология»
Министерства геологии СССР

Инженерная геология СССР. Алтае-Саянский и Забайкальские регионы/Г. А. Голодковская, Л. П. Розенберг, В. К. Шевченко и др.; Редкол.: Е. М. Сергеев (гл. ред.) и др.; Под ред. Н. Н. Романовского, Г. А. Голодковской, В. К. Шевченко.— М.: Недра, 1990.— 375 с.: ил.

ISBN 5-247-01786-2

Описаны история формирования и современные инженерно-геологические условия складчатых областей юга Восточной Сибири. Рассмотрены основные закономерности формирования и пространственных изменений инженерно-геологических условий Алтае-Саянской складчатой области Забайкальского горного сооружения. Даны систематическое описание регионов второго порядка и схемы районирования. Рассмотрено воздействие инженерно-хозяйственной деятельности на геологическую среду региона.

Для научных работников — геологов, гидрогеологов, геокриологов, географов, изыскателей.

И 1804090000—390
043(01)—90

ББК 26.3

ISBN 5-247-01786-2

© Коллектив авторов, 1990

Часть первая АЛТАЕ-САЯНСКИЙ РЕГИОН

ВВЕДЕНИЕ

Алтае-Саянская горная страна, в рассматриваемых границах, охватывает горные сооружения Восточного и Западного Саян, Саяно-Тану-Ола, хр. Академика Обручева, Кузнецкого Алатау, Горной Шории и Горного Алтая, разделяющие их впадины Минусинского, Тувинского и Кузнецкого прогибов, возвышенности и низкогорья Салаира и Томь-Колыванской складчатой зоны. В административном отношении она включает южную часть Красноярского края, Тувинскую АССР, южные районы Иркутской области, большую часть Алтайского края, Кемеровскую область и южную окраину Новосибирской.

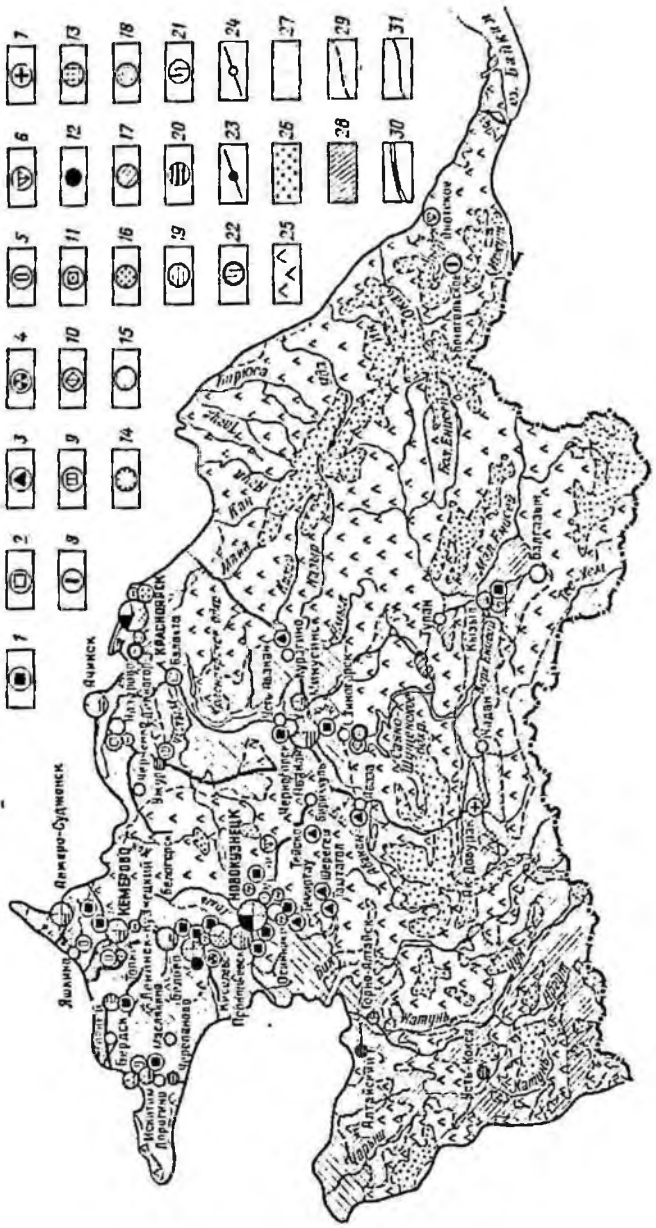
По разнообразию и обилию полезных ископаемых это один из богатейших районов Советского Союза. В регионе находятся угольные месторождения Кузнецкого бассейна и Западного Саяна, железорудные месторождения, представляющие собой металлургическую базу региона, месторождения полиметаллов, бокситов и фосфоритов, золота и молибдена.

Освоение Алтае-Саянского региона проводилось в соответствии с развитием экономики всей страны. Уже в довоенные годы были созданы мощная угольная промышленность Кузбасса, железорудная база, построены металлургические заводы в Новокузнецке. Сейчас Кузбасс — это мощный промышленный комплекс. Здесь возможно значительное расширение масштабов добычи угля главным образом за счет открытых разработок и широкого применения гидродобычи. Основным направлением в перспективе будет интенсификация производства, реконструкция металлургических предприятий, повышение эффективности химической и других отраслей промышленности.

В Алтае-Саянском регионе сооружены и действуют крупные гидроэлектростанции: Красноярская (5 млн кВт), Саяно-Шушенская (6 млн кВт). Ввиду дешевизны топлива энергия крупных сибирских тепловых электростанций имеет примерно такую же стоимость, что и энергия ГЭС европейской части страны. Уже действуют такие крупные тепловые электростанции (мощностью 1 млн кВт и более), как Южно-Кузбасская, Томь-Усинская, Беловская, Назаровская (рис. 1).

Освоение природных богатств Алтае-Саянского региона невозможно без решения транспортных проблем. Здесь был построен ряд новых железнодорожных линий. Прежде всего следует отметить Южно-Сибирскую магистраль (Магнитогорск—Тайшет), создавшую новый выход из Сибири на Южный Урал и в Поволжье,

- | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | 31 | | | | |



затем дороги, соединившие Кузбасс с общей железнодорожной сетью. Большое экономическое значение имеют линии, способствующие освоению отдаленных районов: Ачинск—Абакан, Тайшет—Абакан и др. Создана разветвленная система автомобильных дорог.

Для освоения Алтае-Саянского региона весьма важно соблюдение принципа комплексности, который является главным в территориальной организации хозяйства. Решение актуальных проблем освоения, развития и эксплуатации природных ресурсов региона связано с необходимостью создания территориально-производственных комплексов (ТПК) как прогрессивной формы организации производительных сил. На территории региона формируются три таких комплекса — Кузбасский, Канско-Ачинский и Саянский.

В Кузбасском ТПК сосредоточены богатейшие залежи каменного угля, общие геологические запасы его составляют 725 млрд т. На долю Кузбасса приходится более 20 % общесоюзной добычи угля, более 8 % выплавки стали и выпуска проката, 11 % производства кокса. В течение многих десятилетий Кузбассу отводилась роль одной из важнейших топливно-металлургических баз страны. Каждая третья тонна коксующегося угля страны добывается здесь.

Большинство предприятий металлургического комплекса расположено в пределах Кемеровской области, где осуществляются все стадии металлургического цикла — от добычи руды, ее обогащения и агломерации до производства чугуна, стали, проката. Разнообразна продукция химической промышленности Кузбасса. Химический комплекс основывается на переработке природного газа и кузнецких углей. Его предприятия сосредоточены в городах Кемерове и Новокузнецке. Большое развитие получило машиностроение, специализирующееся в основном на производстве горно-шахтного оборудования и электротехнических изделий для горной промышленности.

В Алтае-Саянском регионе продолжается создание нового промышленного комплекса на базе Канско-Ачинского месторождения углей (западная часть Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса — КАТЭКа). Общие геологические запасы этого бассейна составляют 600 млрд т, а детально разведанные — 110 млрд т. В бассейне сосредоточено две трети имеющихся в стране запасов угля, пригодных для открытой добычи. Канско-ачинские угли не выдерживают длительного хранения и дальних перевозок; через 12—15 сут нахождения на воздухе они рассыпаются. Это пред-

Рис. 1. Схема инженерно-хозяйственного освоения Алтае-Саянского региона:

Добывающая промышленность: 1 — каменного угля; 2 — бурого угля; 3 — железных руд; 4 — полиметаллических руд; 5 — цементного сырья; 6 — талька; 7 — асбеста; 8 — графита; 9 — гипса; 10 — мрамора; 11 — известняка.
Обрабатывающая промышленность: 12 — черная металлургия; 13 — цветная металлургия, производство алюминия; 14 — электротехническая; 15 — химическая, нефтехимическая; 16 — машиностроение; 17 — деревообрабатывающая, лесозаготовительная; 18 — строительных материалов; 19 — легкая промышленность; 20 — пищевая; 21—22 — тепло- и гидроэлектростанции; 23 — нефтепровод; 24 — газопровод; 25 — лесные массивы; 26 — земли, не используемые в народном хозяйстве; 27 — районы, используемые преимущественно под зерновые культуры и овощеводство; 28 — преимущественно скотоводческие районы; 29 — границы сельскохозяйственных районов; 30 — железные дороги; 31 — автомобильные дороги

определяет необходимость их использования на месте, на тепловых электростанциях для производства энергии и тепла. На их базе будут действовать несколько мощных ГРЭС. В более отдаленной перспективе канско-ачинские угли будут использоваться в основном как ценное сырье по производству синтетического жидкого топлива, обогороженного твердого топлива, газа и различных химических продуктов.

Саянский ТПК, расположенный на юге Красноярского края, занимает площадь, равную 6 % всей его территории. Благоприятные климатические условия и сравнительно развитое сельское хозяйство, наличие месторождений полезных ископаемых и водных ресурсов, транспортная освоенность значительной части территории, сравнительная близость к крупным промышленным центрам Сибири определяют большие возможности эффективного формирования здесь крупного ТПК.

Формирование Саянского ТПК предусматривает: 1) создание энергетической базы на основе Саянской ГЭС и развитие энергоемких производств; 2) формирование комплекса трудоемких машиностроительных предприятий как базы машиностроения Сибири; 3) развитие легкой промышленности для обеспечения потребностей населения, создание достаточно развитой инфраструктуры; 4) дальнейшее развитие сельского хозяйства, формирование агропромышленного комплекса, усиление роли Саянского ТПК в обеспечении Сибири сельскохозяйственной продукцией.

В связи с дальнейшим интенсивным развитием промышленности региона резко возрастает техногенная нагрузка на окружающую среду. Рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, сохранение качества окружающей среды — ставятся важнейшими социальными, техническими и экономическими проблемами региона.

Инженерно-геологические исследования в Алтае-Саянском регионе, начавшиеся еще в конце прошлого века, на большей части территории ограничивались изысканиями, которые велись при строительстве железных и автомобильных дорог, промышленных сооружений и жилых домов, т. е. носили локальный характер. Массовый характер они приобрели в Кузбассе, а в последние десятилетия и в Минусинской впадине (в пределах активно осваиваемых частей региона).

Инженерно-геологические исследования в Кузбассе были направлены в основном на изучение горно-технических условий разработки угольных месторождений и площадок под крупные промышленные объекты, строительство поселков и отдельных зданий. В настоящее время изучение инженерно-геологических условий Кузбасса связано главным образом с развитием шахтных полей в направлении ряда жилых массивов и необходимостью устранения последствий антропогенной деятельности.

Наиболее крупные объекты инженерно-геологических изысканий в Алтае-Саянском регионе — Красноярская и Саянская ГЭС. При изысканиях под эти объекты детально изучались инженерно-

геологические условия створов плотины, проводилось обследование зон затопления, оценивался характер вероятного развития геологических процессов в береговой и прибрежной зонах, а после сооружения ГЭС были созданы станции, ведущие наблюдения за характером этих процессов.

При изысканиях на трассах железных и шоссейных дорог, на промплощадках городов, при разведке месторождений рудных полезных ископаемых выполнялись детальные инженерно-геологические работы, к сожалению, почти не обобщенные.

За последние 30 лет на большей части территории региона проведены мелкомасштабные (1:500 000) инженерно-геологические съемки. Тематические инженерно-геологические исследования и первые обобщения для обширных частей Алтае-Саянской горной страны были сделаны в 1960—1970 гг. коллективами МГУ, ВСЕГИНГЕО, Томского политехнического института, ПГО «Красноярскгеология». Данные, накопленные в процессе инженерно-геологических съемочных и тематических исследований, в сочетании с обширными материалами, полученными в ходе геологических, гидрогеологических и мелноративных съемок разных масштабов, а частью в процессе горнодобывающих работ, послужили основой современных представлений об инженерно-геологических условиях территории. Важным этапом явилось издание монографии «Инженерная геология СССР», в 3-м и 5-м томах которой дано описание Алтае-Саянского региона. За прошедшее с тех пор время появились работы, посвященные инженерно-геологическим условиям Кузнецкого бассейна, западного КАТЭКа, Красноярского водохранилища, значительно расширившие представления о процессах, возникающих при техногенной нагрузке на геологическую среду.

Раздел I

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

ГЛАВА I

ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Современные инженерно-геологические условия Алтае-Саянского региона в значительной мере predetermined историей его геологического развития. Ранними этапами геологической истории обусловлен характер распределения геологических формаций в пространстве, их строение и состав, структуры и текстуры слагающих их пород, степень метаморфизма пород и условия их залегания. На поздних этапах геологического развития формировались рельеф и стратиграфо-генетические комплексы рыхлых отложений, пре-

образовались и приобрели современные свойства верхние горизонты скальных пород, возникла криолитозона. Сложность геологической истории, ее многоэтапность привели к созданию разнообразных геологических и гидрогеологических структур, морфогенетических типов рельефа, обуславливающих неоднородность инженерно-геологических условий региона. История геологического развития Алтае-Саянской горной страны и ее влияние на формирование инженерно-геологических условий территории достаточно подробно рассмотрены в 3-м и 5-м томах монографии «Инженерная геология СССР» [26, 28]. Здесь же мы лишь кратко остановимся на основных этапах этой истории, сведения о которых необходимы для последующего анализа инженерно-геологических закономерностей.

1.1. Докайнозойские этапы развития Алтае-Саянского региона и их влияние на современные инженерно-геологические условия

История геологического развития Алтае-Саянского региона — история формирования и развития разновозрастных геосинклиналей, а также дальнейшего становления молодых (палеозойских) платформ. Ранний этап геологической истории Алтае-Саянской страны тесно связан с образованием Сибирской платформы, которая уже в конце раннего протерозоя превратилась в жесткий блок. Наиболее древние архейские гнейсы, амфиболиты, кварциты и магматиты образуют относительно небольшие массивы в центральной части Восточного Саяна и Кузнецкого Алатау. Гораздо шире распространены протерозойские, преимущественно верхнепротерозойские, формации. Они известны в западной части Восточного Саяна, Туве, Кузнецком Алатау и Западном Саяне. В дорифейских разрезах преобладают терригенные и карбонатные, иногда флишеидные толщи пород, сильно метаморфизованные; вулканогенные образования приурочены к узким зонам, отвечающим крупным глубинным разломам.

Рифейские отложения представляют собой типичные геосинклинальные образования, в отличие от протерозойских характеризующиеся широким развитием вулканогенных пород. Начиная с этого этапа история формирования структур Алтае-Саянской страны представляет собой историю последовательного приращения разновозрастных складчатых подвижных поясов к жесткому платформенному блоку Сибирской платформы. Процесс консолидации байкалид завершается в нижнем кембрии. Возникшие при этом структуры осевой части Восточного Саяна вытянуты вдоль современной окраины Сибирской платформы, постепенно меняя свое простирание от почти широтного до северо-западного. По мере удаления от края платформы ориентировка структур становится более разнообразной (рис. 1.1).

На остальной территории по-прежнему существовала обширная геосинклинальная область и происходило накопление нижнекем-

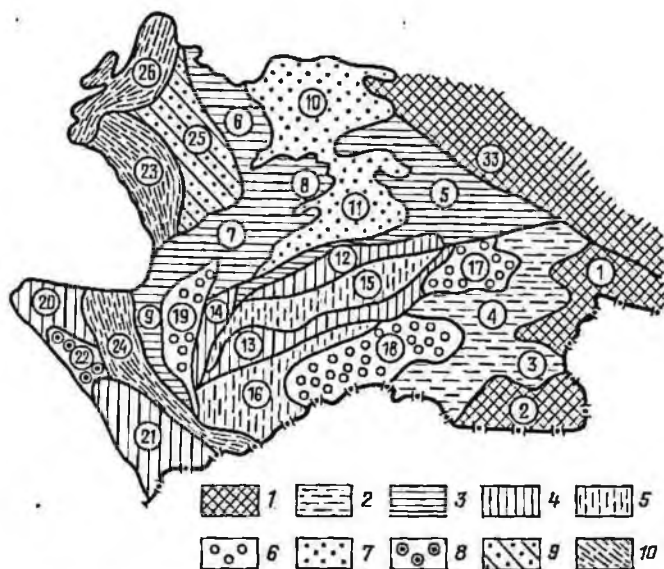


Рис. 1.1. Схема тектонического районирования Алтае-Саянского региона (по Н. В. Короповскому, 1984 г.):

1 — выступы докембрийских пород; 2 — переработанные салаирскими движениями северные окраины Тувинского массива; 3 — области салаирской складчатости. Зоны каледонской складчатости: 4 — антиклинории; 5 — синклинорные. Впадины, выполненные молассами: 6 — ордовика—девона; 7 — девона—пермь; 8 — девона; 9 — девона—юры. 10 — зоны герцинской складчатости.

Цифрами в кружках обозначены: 1 — Хамар-Дабанский блок; 2 — Сангиленский блок; 3 — Харальский-Салаирский прогиб; 4 — Тувинская зона; 5 — Казыр-Кизирская зона; 6 — Кузнецкий Алатау; 7 — Горная Шория; 8 — Батеневское поднятие; 9 — Катунский антиклинорий; 10 — 11 — северная и южная Минусинские впадины; 12—14 — антиклинории (12 — Джебашский, 13 — Куртушубинский, 14 — Чулышманский); 15—16 — синклинории (15 — Усинский, 16 — Хемчик-Систигхемский); 17—19 — молассовые впадины (17 — Тоджинская, 18 — Тувинская, 19 — Уйменско-Лобедская); 20—21 — антиклинории Горно-Алтайской зоны (20 — Талицкий, 21 — Холзуно-Чуйский); 22 — Коргонский молассовый прогиб; 23 — Салаирская зона; 24 — Алуфско-Чуйская зона; 25 — Кузнецкая впадина; 26 — Томь-Колываньская впадина; 33 — Зербицкий антиклинорий

брийских осадков, широко распространенных в Сангилене, в Танну-Ола, вдоль северного склона Западного Саяна и на западе Восточного Саяна, в Горной Шории. Среди них с инженерно-геологических позиций важно различать два типа формаций: существенно вулканогенных (спилито-кератофировых) и вулканогенно-осадочных и карбонатных, сложенных разнообразными известняками с незначительными прослоями кремнистых сланцев, песчаников и туфогенных пород. Геосинклинальное развитие в этих районах прекратилось в среднем кембрии. Средний кембрий представлен часто лишь нижними горизонтами. Верхний кембрий почти во всех районах отсутствует [83].

Большинство исследователей определяют верхний кембрий — ордовик как орогенный этап развития салаирид Алтае-Саянской области. В это время произошли наиболее крупные процессы складкообразования, создавшие основные структурные элементы Кузнецкого Алатау, Восточного Саяна и Тувы. С этой фазой связано

накопление моласс, наземные излияния лав, метаморфизм кембрийских толщ, магматизм с образовавшим сложными интрузивных комплексов.

На территории Западного Саяна геосинклинальный режим сохранился вплоть до раннего силура. За это время здесь накопилась мощная флишодная толща песчано-сланцевых пород, почти всегда интенсивно расчлененных и кливажированных. Во внутренних частях встречаются мощные горizontы известняков. В Западных Саянах складчатость произошла лишь в силуре.

Весьма своеобразно геологическое строение Горного Алтая. С востока на запад здесь наблюдается омоложение возраста геосинклинальных толщ. Геосинклинальный режим закончился к верхнему девону, что позволяет ряду исследователей относить его к раннегерцинским складчатым сооружениям. В геосинклинальных разрезах Горного Алтая существенно различаются сильно метаморфизованные эффузивные и кварцевые формации докембрия и палеозойские преимущественно терригенные, реже терригенно-карбонатные толщи. Структуры Горного Алтая характеризуются очень напряженной линейной складчатостью.

История геологического развития в раннем палеозое очень напоминает каледониды Восточного Саяна [35]. Здесь широко развиты вулканогенно-терригенно-карбонатные формации кембрия и, в меньшей степени, рифея, весьма ограниченно сохранились осадки верхнего кембрия. Однако в отличие от каледонид восточной половины региона геосинклинальный режим сохранялся здесь в ордовике, силуре, девоне и в раннем карбоне, когда накапливались преимущественно терригенно-карбонатные формации, а на отдельных этапах — кислые эффузивы.

В верхнепалеозойское время завершился и геосинклинальный этап развития Томь-Колыванской зоны.

Герцинский тектонический цикл оказал большое влияние на ранее сформированные складчатые пояса: в их пределах усложнялась складчатость, происходили подвижки по разломам, внедрялись интрузии. Возникли наложенные прогибы, заполненные орогенными формациями — преимущественно эффузивными и молассовыми; на сочленении разновозрастных структур Салаира и Кузнецкого Алатау образовался крупный Кузнецкий прогиб, а в центральной и западной частях каледонского Минусинского прогиба — система Минусинских впадин. Формировались и другие наложенные структуры.

Таким образом, переход от геосинклинальной к орогенной стадии развития происходил в разных частях Алтае-Саянской страны в разное время. Причем, в то время как одни ее части находились еще в стадии геосинклинальных преобразований, в других могло происходить накопление орогенных формаций, а какие-то части, испытав глыбовые или сводово-глыбовые перемещения, превращались в стабильные структуры — массивы или молодые платформы. К началу мезозоя вся Алтае-Саянская страна вступила в платформенную стадию развития.

В мезозое Алтае-Саянская страна подвергалась длительной денудации, а затем испытала обширное сводовое поднятие, на фоне которого на месте Центрально-Тувинского геосинклинального прогиба, Кузнецкого и Минусинского орогенных прогибов предыдущего этапа образуются системы впадин, наследующих отдельные остаточные формы структур и знак их движения. Эти впадины имеют изометричную или неправильную форму в плане. Помимо них возникают впадины-грабены, приуроченные к зонам разломов, рассекающих более древние структуры. В большинстве впадин происходит накопление грубых молассоидных толщ с обилием конгломератов, галечников, песчаников, гравелитов, угленосных алевролитов и аргиллитов, впоследствии смятых в простые складки.

Грубый состав юрских толщ указывает на существование в это время пересеченного горного рельефа. В меловую эпоху большая часть Алтае-Саянской горной страны продолжала подвергаться размыву. Одним из доказательств этого считают, что юрские образования сохранились в обособленных друг от друга впадинах, хотя формировались в более обширных седиментационных бассейнах: верхние их части считаются уничтоженными денудацией.

Характер позднемезозойского рельефа оценивается по-разному. Часто утверждается, что существовал обширный мезозойский или докайнозойский пенеплен, слабо расчлененная денудационная равнина или поверхность выравнивания с холмистым рельефом и превышениями порядка 200—300 м, но эти выводы основаны только на отсутствии достоверных осадков мелового времени. Вероятнее, что полного выравнивания гор в мезозое не происходило. Алтае-Саянская страна к концу мезозоя представляла собой горную страну, осложненную рядом впадин и котловин с равнинным рельефом. Пространственное распределение горных хребтов и межгорных котловин к концу мезозоя грубо соответствовало современному, близки к современным были и высоты. Даже окраинные части Алтае-Саянской страны, такие как Салаир, Горная Шория и Кузнецкий Алатау, уже в юре располагались на высотах 1000 м и более и нет никаких данных, указывающих на их нивелировку путем размыва или нисходящих тектонических движений.

В самом конце мезозоя и на границе мезозоя и кайнозоя в Алтае-Саянском регионе возникают новые разломы, часто не связанные ни положением, ни ориентировкой с более древними разломами, образуются небольшие грабены, опускание которых продолжается в кайнозое — формируются межгорные впадины. Таковы, в частности, Жасатерский разлом и связанные с ним Тархатинская и Самахинская межгорные впадины, развитие и заполнение которых происходило уже в кайнозое.

1.2. Кайнозойские этапы развития Алтае-Саянской горной страны и их влияние на современные инженерно-геологические условия

Геологическое развитие Алтае-Саянской страны в кайнозое происходит в условиях сформировавшегося горного рельефа, весьма

близкого к современному. На западе высоты горных хребтов уже в начале кайнозоя были сопоставимы с существующими ныне, а в восточной части были, по-видимому, несколько ниже современных. Наиболее существенные изменения характера рельефа территории по сравнению с докайнозойским произошли на востоке Алтае-Саянской страны.

Тектоническая активность кайнозоя начала проявляться в разных частях Алтае-Саянской страны неодновременно. Ранее всего — уже в дат-палеоцене — она проявилась на Алтае, в его юго-восточной части. В Восточном Саяне начало неотектонических движений относится к палеоцен-эоцену. При этом активно проявляются как подвижки по глубинным разломам, заложенным на ранних этапах геологической истории, так и по вновь возникающим разломам.

Важнейшим отличием кайнозойских этапов от всех предыдущих является преобладающая роль экзогенных факторов над эндогенными в формировании рельефа и отложений, всех компонентов инженерно-геологических условий территории. Экзогенными процессами обусловлено накопление различных континентальных стратиграфо-генетических комплексов рыхлых отложений, которые концентрируются главным образом в межгорных впадинах и речных долинах. Лишь на востоке территории они дополняются скальными продуктами вулканической деятельности — базальтовыми и туфогенно-осадочными покровами, но и они концентрируются преимущественно в понижениях рельефа. Склоны и водоразделы в течение кайнозоя служат, в основном, источниками поступления обломочного материала или транзитными путями для его перемещения.

Климат региона в кайнозое постепенно сменялся на все более холодный, но эта смена происходила неравномерно: временами наступали кратковременные периоды повышения температур, но никогда не достигался уровень предшествовавших эпох. Наряду с похолоданием происходила аридизация климата, носившая еще более неравномерный характер: на Горном Алтае периоды аридизации отмечаются в позднем эоцене—раннем олигоцене и в раннем миоцене, в Убсунурской впадине — во второй половине олигоцена и в конце миоцена, в Центральной и Западной Туве — в конце олигоцена и первой половине миоцена. Такая смена климатической обстановки сказывалась на характере экзогенных процессов, а также на составе и строении образуемых на соответствующих этапах осадков.

По условиям формирования отложений, определяемых сменой тектонической и климатической обстановок, и характеру тесно с ними связанных комплексов экзогенных процессов, в формировании современных инженерно-геологических условий в кайнозойской истории Алтае-Саянского региона выделяют семь этапов.

Позднемиеловой-палеоценовый этап отличается жарким и влажным тропическим и субтропическим климатом. Преобладающую роль на этом этапе играют процессы химического выветривания, приводящие к формированию мощных кор выветривания; начало процесса коробразования некоторыми исследователями относится

к концу раннего мела и даже к поздней юре. В дат-палеоценовых корях выветривания отчетливо разделяются зона развития каолиновых кор, занимающая большую часть территории, и зона латеритного выветривания юга Тувы и Окинского плато. Тектонические подвижки, имевшие характер медленных дифференцированных поднятий и опусканий, продолжались; с ними связаны активизация склоновых процессов и размыв кор выветривания, вынос продуктов выветривания в депрессии рельефа и седиментации в озерной и болотной обстановке, образование толщ пород, сложенных слабо перемытым выветрелым материалом.

К концу мезозоя—началу кайнозоя относят иногда древний карст в юго-западной периферии Восточного Саяна. При этом допускается синхронное образование карстовых полостей и кор выветривания. В большинстве случаев формирование карстовых полостей в Кузнецком Алатау и Восточном Саяне следует относить, по-видимому, к более раннему периоду, на что указывает нахождение внутри них материала дат-палеоценовых кор выветривания.

Эоцен-раннеолигоценовый этап знаменуется активизацией восходящих движений, проявившейся, вероятнее всего, неодновременно в разных частях Алтае-Саянского региона. Тектонические движения ведут к дальнейшей дифференциации рельефа, продолжается медленное погружение днищ впадин-грабен и формирование котловин, частично заполненных осадочными накоплениями, происходит глубокое врезание ряда речных долин.

Средне-верхнеолигоценовый этап характеризуется затуханием тектонической активности. В котловинах формируются озерно-болотные, преимущественно глинистые угленосные отложения. Вместе с тем в олигоценовых разрезах Чуйской впадины встречаются прослой галечников и гравия, в Джулукульской котловине — прослой и линзы галечно-валунного материала, в Убсунурской впадине — прослой известковистых брекчий, указывающие на существование периодов интенсивного размыва, которые могли быть следствием кратковременных вспышек тектонической активности или резкого увеличения атмосферных осадков.

Нижне-среднемиоценовый этап — один из наиболее важных в кайнозойской истории региона. В течение всего этапа сохраняется влажный и значительно более теплый, чем современный, климат, что приводит к росту числа озер или увеличению размера озер в ранее созданных озерных котловинах. Исчезают различия в климатической обстановке Убсунурской впадины и остальной части Алтае-Саянского региона: в озерах формируются сравнительно близкие по составу карбонатно-глинистые осадки, в составе которых лишь в северных частях региона сокращается значение карбонатов. Вертикальные движения приводят к частичной перестройке рельефа и деформации домиоценовых отложений в зонах подвижек, чаще всего приуроченных к бортам впадин.

В районе современного Окинского плато в раннем миоцене возникают очаги вулканической деятельности и начинают формироваться туфогенно-осадочные и эффузивные породы. Вулканы дей-

ствуют на сравнительно небольшой территории, лишь к концу этапа площадь вулканической деятельности несколько расширяется.

Верхнемиоцен-плиоценовый этап — новый цикл тектонической активности, фиксируемый накоплением грубообломочных отложений ряда свит Горного Алтая, буроватого горизонта Центральной и Западной Тувы, верхней красноцветной толщи Убсунурской впадины, аллювиальных и аллювиально-пролювиальных толщ Минусинских впадин. Вулканическая деятельность в южных частях Восточного Саяна нарастает, охватывая все большие площади: сначала расширение идет за счет включения все более восточных районов, вплоть до границ Тункинской впадины, но с середины плиоцена в восточных районах вулканизм начинает затухать, площади его сокращаются, зато происходит расширение вулканической деятельности на западе этого района, включая значительную часть Тоджинской котловины и верховья р. Малого Енисея. Суммарная площадь проявления вулканической деятельности достигает максимума к концу неогена.

В высокогорных участках в результате взаимодействия с холодными слоями тропосферы начинается промерзание горных пород и возникают участки развития сезонномерзлых и многолетнемерзлых пород (ММП). Размеры таких участков постепенно возрастают, пояс развития многолетнемерзлых пород расширяется, охватывая все более низкие части склонов, одновременно возрастает мощность мерзлых пород на наиболее высоких водоразделах. В связи с возникновением мерзлотных водоупоров происходит перераспределение потока грунтовых вод, формируются мощные безводные подмерзлотные зоны. Наряду с многолетнемерзлыми начинают формироваться многолетнеморозные породы. Одновременно возникают и интенсивно развиваются характерные для криолитозоны криогенные процессы, приводящие к разрушению пород, залегающих на поверхности или вблизи от земной поверхности. На этом этапе, или в начале следующего — плейстоценового, образуются первые высокогорные ледники.

Плейстоценовый этап отличается от предыдущих прежде всего возникновением и развитием оледенений. Тектоническая обстановка также существенно отличается от обстановки предыдущих этапов кайнозоя: продолжается постепенное затухание тектонической активности, крупноглыбовые перемещения сменяются относительными перемещениями мелких блоков и локальными перемещениями по разломам, хотя медленные воздымания отдельных морфоструктур продолжают.

В климатическом отношении плейстоценовый этап представляет эпоху прогрессирующего похолодания. Климат, близкий к современному в начале этапа, сменяется более холодным и сухим, что приводит к практически полному прекращению процессов химического выветривания и возрастанию роли процессов, ведущих к механической дезинтеграции пород, в особенности процессов криогенной дезинтеграции.

В среднем плейстоцене продолжающееся похолодание приводит к разрастанию ледников, которые спускаются по долинам, заполняют отдельные межгорные впадины и перекрывают низкие местные водоразделы. Оледенение развивается неравномерно: то оно распространяется на обширные территории, то ледники отступают и сохраняются лишь в наиболее высоких частях территории; это позволяет выделять собственно ледниковые и межледниковые эпохи, а также интерстадиалы. Число ледниковых эпох оценивается по-разному — от двух до восьми, большинство исследователей считают, что существовало два ледниковья в среднем плейстоцене и два в верхнем. Мощность ледников в период их максимального развития составляет сотни, а возможно и превышает тысячу метров. Наиболее широкое развитие оледенение получает на Горном Алтае, в Тоджинской котловине, а также на наиболее высоких хребтах и в примыкающих к ним районах.

По условиям осадконакопления и характеру экзогенных процессов вся территория Алтае-Саянской страны распадается на собственно ледниковую и перигляциальную зоны. В ледниковой зоне перемещенный и частично переработанный льдами обломочный материал отлагался в виде покровов, гряд и валов. Двигущиеся льды выпаживали троговые долины и сглаживали неровности склонов, создавая характерную экзарационную морфоскульптуру рельефа, а ледниковые новообразования в одних случаях заполняли котловины и впадины, приводя к сглаживанию рельефа, а в других, отлагаясь на выровненных участках, создавали бугристый или грядовый микрорельеф.

В частях перигляциальной зоны, непосредственно примыкавших к районам развития ледников, речные долины оказывались главными путями сброса талых вод ледников, перегруженных обломочным материалом: формировались поля флювиогляциальных отложений и флювиогляциальные террасы. Конечноморенные валы, перегораживая речные долины, создавали условия для образования подпрудных озер, в которых шло накопление озерно-ледниковых комплексов. Спуск таких озер часто происходил в виде катастрофических прорывов, связанных с выносом гигантских масс воды, обладающих огромной эрозионной и транспортирующей способностями, что приводило к созданию новых русел, заполнению старых долин или их отрезков обломочным материалом, интенсивному врезанию рек. В более удаленных перигляциальных районах формировались преимущественно аллювиальные, озерные и склоновые отложения. Наиболее мощный аллювий представлен преимущественно грубыми разностями, что связано с выносом обломочного материала талыми водами ледников, а возникновение сложных чередований различных по мощности и крупности обломочного материала пачек — с неравномерностью такого выноса.

Перегрузка рек обломочным материалом привела к образованию мощных террас, а повышенная в отдельные годы водность рек — к интенсивному их врезанию в свои террасы, к созданию многоступенчатых террас с невыдержанными террасовыми уровнями

ми. Перигляциальные условия привели к формированию лёссовидных толщ, образование которых связывается частично с эоловым выносом тонкого материала из областей оледенения, а большей частью с развитием своеобразного процесса облессования аллювиальных, флювиогляциальных и других пород, развивающегося от поверхности в глубь пород. Возникшие покровы пылеватых суглинков и супесей, прикрывающие с поверхности породы различного генезиса, приобретают просадочные свойства. Перигляциальные области в целом характеризуются наиболее активным проявлением экзогенных процессов, связанных с неустойчивостью и невыдержанностью геодинамических условий.

Вулканическая деятельность в Туве в течение плейстоцена постепенно сокращается и к концу позднего плейстоцена затухает. Один из наиболее активных в среднем плейстоцене районов проявления вулканизма — восточная часть Тоджинской котловины; в периоды оледенений здесь происходили подледные извержения вулканов.

Голоценовый этап отличается заметным потеплением климата. На период 9—4,5 тыс. лет тому назад приходится климатический оптимум — наиболее теплый отрезок времени за весь четвертичный период, после которого опять наступило некоторое похолодание. Потепление привело к сокращению площади развития многолетнемерзлых пород, но не к их полному протаиванию. Тектоническая активность значительно снизилась и проявляется в незначительных дифференцированных блоковых подвижках, вызывающих возникновение землетрясений и проявляющихся в особенностях геоморфологического строения территории (перекосы и «расщепление» террас, сужения и врезы долин и др.). Мощности отложений, сформированных в течение голоцена, обычно измеряются первыми метрами. Лишь осыпные образования и делювиальные шлейфы, вытянутые вдоль основания склонов, могут достигать больших мощностей, но эти типы отложений занимают крайне ограниченные площади.

Общий результат развития Алтае-Саянского региона в кайнозойе представляет собой то, что склоны и водоразделы оказываются сложными с поверхности крепкими скальными породами, нарушенными узкими, но иногда протяженными зонами дробления и тектоническими разломами. Наиболее крупные разломы оказываются совмещенными с долинами рек, врезавшимися наиболее глубоко в ослабленные зоны земной коры, а в крупных межгорных впадинах приближенными к их обрамлению — к основанию горных склонов. Рыхлые породы в водоразделах и склонах сохраняются лишь в виде незначительных по площади останцов коры выветривания и маломощного покрова продуктов выветривания в виде элювиального, делювиального или пролювиального плащей, которые еще не успели переместиться в депрессию рельефа. Межгорные понижения заполнились сложными комплексами рыхлых пород, водоносными вне зоны промерзания.

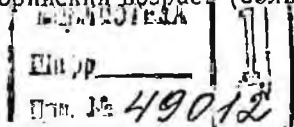
2.1. Докайнозойские геологические формации
и закономерности их распространения

В Алтае-Саянском регионе устанавливаются совершенно определенные ряды геологических формаций, отвечающие основным этапам тектонического развития складчатой системы (рис. 2.1). При этом прослеживается закономерное уменьшение степени метаморфизма и литифицированности горных пород от нижних структурных этажей к верхним. Наиболее широким распространением в регионе пользуются геосинклинальные формации. Большие площади, особенно в палеозойских впадинах, занимают орогенные формации; геологические формации платформенного типа развиты ограниченно. Для региона характерны крупные многочисленные массивы интрузивных пород. Преобладают массивы гранитоидного состава, меньшим распространением пользуются гипербазиты.

С инженерно-геологических позиций существенно различны гранитоидные интрузии докембрийского возраста и палеозойские массивы гранитов. Первые, наиболее характерные для центральной части Восточного Саяна и Сангилены, обычно залегают согласно с вмещающими породами и имеют с ними тектонические контакты; для вторых, наиболее распространенных в салаиридах, характерны интрузивные контакты с вмещающими породами.

Наиболее древние геосинклинальные формации архея и протерозоя, известные в Протеросаяне, Сангилене, Кузнецком Алатау, Туве, Горном Алтае и на Салаире, представлены метаморфическими комплексами, которые по степени метаморфизации разделяются на две группы. Среди образований архея и нижнего протерозоя преобладают толщи, претерпевшие особенно глубокий метаморфизм (формации гнейсов и кристаллических сланцев, графитистых мраморов и амфиболитовых сланцев). Породы позднего протерозоя в тех же регионах обычно метаморфизованы в фации зеленых сланцев (Джебашский антиклинорий Западного Саяна); вулканогенные и вулканогенно-терригенные формации этого возраста в Восточном Саяне и Горном Алтае метаморфизованы в различной степени, но преобладают зеленокаменно измененные породы. Рифей-вендские формации существенно отличаются от более древних. Они представлены слабо метаморфизованными карбонатными, терригенными и вулканогенно-осадочными комплексами пород, близкими по строению и характеру катагенетических преобразований толщам нижнего кембрия.

Наиболее разнообразны по составу и строению палеозойские геосинклинальные формации. В западной части Восточного Саяна, на северном склоне Западного Саяна, в Кузнецком Алатау и Горной Шории они имеют кембрийский возраст (большой частью ран-



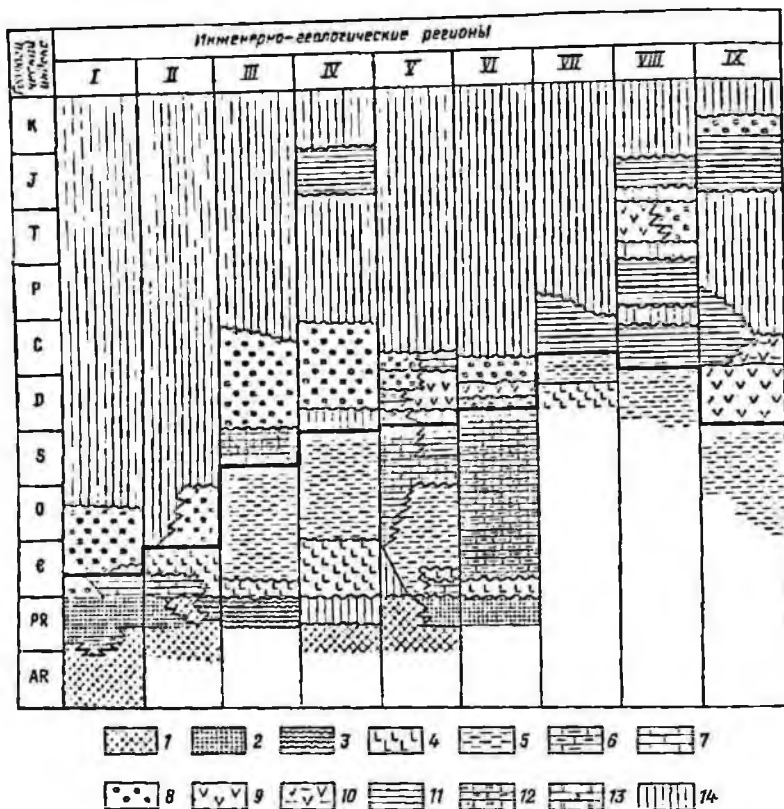


Рис. 2.1. Схема соотношения главнейших типов геосинклинальных и орогенных формаций в инженерно-геологических регионах 2-го порядка (составил Л. И. Розенберг):

Регионы: I — Саяно-Свиголецкий; II — Саяно-Алатауский; III — Западно-Саянский; IV — Тувинский; V — Горно-Алтайский; VI — Саяно-Алтайский; VII — Колывань-Томский; VIII — Кузнецкий; IX — Мисусинский. Геосинклинальные формации: 1 — метаморфические гнейсовые и сланцевые; 2 — метаморфические карбонатные и вулканогенно-терригенно-карбонатные; 3 — зеленосланцевые; 4 — вулканогенные и вулканогенно-осадочные; 5 — метаморфизованные терригенные и флишодные; 6 — терригенно-карбонатные; 7 — карбонатные. Орогенные формации: 8 — меллессонные и меллессонные красноцветные и сероцветные; 9 — вулканогенные и вулканогенно-терригенные; 10 — карбонатно-терригенно-туфитовые; 11 — терригенные угленосные; 12 — меллессонные терригенно-карбонатные; 13 — карбонатные; 14 — отложения отсутствуют или развиты локально. Жирная линия — граница накопления геосинклинальных и орогенных формаций

искембрийский), в Западном Саяне ордовик-раннесилурийский, в Горноалтайско-Салаирском и Тувинском регионах включают весь нижний палеозой. В Саяно-Алатаусском регионе (см. рис. 2.1) широко распространены вулканогенные формации: спилито-кератофировая, сложенная основными эффузивами, и кварц-кератофировая, представленная кислыми эффузивами, а также карбонатные формации, в разрезе которых можно встретить разнообразные известняки, от крупнозернистых мраморизованных до пелитоморфных, глинистых и битуминозных. Для Западного Саяна характерна од-

нообразная флишондная толща огромной мощности (более 15 км), сложенная ритмично переслаивающимися гравелитами, песчаниками и аргиллитами с пачками известняков.

В Тувинском регионе широко распространены следующие формации: 1) зеленокаменная, близкая по составу к спилито-кератофировой; 2) вулканогенно-осадочная, сложенная подводными излияниями эффузивов основного состава, переслаивающимися с терригенными морскими отложениями, с пачками известняков; 3) терригенная, разрез которой слагают песчаники, алевролиты и аргиллиты, близкая к флишондной формации Западного Саяна, но отличающаяся от нее большей грубостью осадков. Изменчивы формационные разрезы Горно-Алтайского и Салаирского регионов. В разных сочетаниях в различных структурно-фациальных зонах здесь развиты все типы осадочных формаций (терригенные, терригенно-карбонатные и карбонатные), разнообразные вулканогенные и вулканогенно-осадочные толщи.

В целом же для ранних каледонид региона более типичны вулканогенные толщи, а для поздних — мощные терригенные. Породы геосинклинальных формаций сложно дислоцированы, смяты в напряженные складки. Инженерно-геологические свойства слагаемых ими массивов в значительной степени зависят от выветрелости пород и их тектонической нарушенности.

Орогенные формации известны в регионе с конца среднего кембрия. В Майском прогибе Восточного Саяна моласса имеет еще более древний — нижнекембрийский (рифейский?) возраст. В Западном Саяне пестроцветная моласса формируется в позднем силуре, где она представлена грубыми обломочными породами, замещаемыми в западном направлении песчано-сланцево-карбонатными отложениями. Наиболее типичные орогенные формации распространены в Минусинских впадинах, Тувинской впадине, в Горном Алтае и на Салаире. Здесь повсеместно их разрез начинается вулканогенной или вулканогенно-осадочной толщей пород девонского возраста, представленной основными или кислыми эффузивами, часто чередующиеся с конгломератами, песчаниками и алевролитами. Породы этих формаций обычно слагают краевые зоны впадин; многие из этих впадин (например, Минусинские) ограничены разломами. В центральных частях впадин развиты красноцветные и сероцветные молассы, сложенные в основном крепкими песчаниками и алевролитами. Для многих из них характерны брахиформные, корытообразные и сундучные складки, формирование которых связывают с глыбовыми подвижками фундамента впадин.

В Минусинской, Тувинской, Кузнецкой впадинах, в Томь-Колываньской зоне докайнозойский разрез завершается терригенными угленосными формациями юры. В Тувинской и Кузнецкой впадинах юрские отложения дислоцированы, в Северо-Минусинской — образуют спокойную мульдугу. Слагающие их породы существенно различаются по инженерно-геологическим свойствам. Песчаники Тувы и Кузбасса, испытавшие значительные напряжения при складчатости, характеризуются высокой прочностью, обусловлен-

ной кварцево-карбонатным цементом; терригенные породы юрской угленосной формации Минусинской впадины представлены в целом слабыми разностями песчаников, плотными глинами.

В заключение подчеркнем, что закономерности размещения геологических формаций, существенно разных по строению, степени метаморфизма и литификации, дислоцированности, инженерно-геологическим особенностям позволяют и в инженерно-геологических целях различать области байкальской, салаирской, каледонской, герцинской складчатости, наложенные и унаследованные палеозойские и мезозойские впадины.

2.2. Стратиграфо-генетические комплексы кайнозоя

Кайнозойские горные породы представлены комплексами скальных вулканогенных образований, сосредоточенных в восточной части Алтае-Саянского региона, и песчальных осадочных несцементированных грунтов, в составе которых по условиям залегания и инженерно-геологическим особенностям различают палеоген-неогеновые отложения, приуроченные главным образом к многочисленным межгорным впадинам, и четвертичные накопления, неравномерно распределенные на всех элементах рельефа. Палеоген-неогеновые отложения могут залежать как под покровом более молодых образований, так и непосредственно на дневной поверхности; чаще всего их выходы приурочены к окраинным частям межгорных впадин. Все четвертичные накопления, как правило, выходят на дневную поверхность.

Вулканогенный комплекс формировался с раннего миоцена до верхнего плейстоцена в Саяно-Саянском и Тувинском регионах. Он представлен туфогенно-осадочными и эффузивными породами. Туфогенно-осадочные породы образуют обычно широкие поля, сложенные пирокластическим материалом, частично смешанным, а частично переслаивающимся с нормально-осадочным материалом. Эффузивы представлены в основном базальтами, образующими сплошные покровы и потоки, выполнявшие понижения древнего рельефа, часто заполнявшие долины; покровы наиболее характерны для центральных и восточных частей области распространения базальтов, а потоки — для ее западных окраин, где они в настоящее время устанавливаются в разрезах высоких террас. Мощность базальтов достигает 700 м, в направлении на запад и восток она снижается до нескольких десятков и первых метров.

Комплекс раннекайнозойских кор выветривания и продуктов их перераспределения чаще всего датируется мел-палеоценом. Он устанавливается во всех частях Алтае-Саянского региона, но участки его развития распределены неравномерно, а занимаемые им площади, ограниченные сохранившимися от последующего размыва участками, сравнительно невелики. В составе комплекса различают собственно коры выветривания и осадочные образования, сложенные продуктами перемиыва и перераспределения выветрелого материала.

Выделяют два типа кор выветривания и соответствующих им перетолженных комплексов: в пределах северного обрамления Убсунурской впадины, в Центрально-Тувинской котловине и на востоке Восточного Саяна преобладают красноцветные — латеритные коры, на остальной территории широко развиты каолиновые. Мощность кор выветривания достигает 30 м.

Перетолженные продукты выветривания по составу близки к корам выветривания, но не связаны генетически с подстилающими породами — и обладают, как правило, слоистым строением, характерным для делювиально-пролювиальных, аллювиально-пролювиальных, болотных или мелководно-озерных формирований. В их основании часто встречаются базальные галечные горизонты, выше — прослой и линзы галек и слабоокатанных обломков, но преобладает в разрезе глинистый материал. Мощность их может достигать 80 м.

Комплекс озерных, озерно-аллювиальных и болотных отложений в эоцен-олигоценовой части разреза представлен пачками алевроитов с прослоями глин, песков и гумусированных глин с конкрециями лимонита, сменяющимися вверх по разрезу глинами, иногда песчанистыми или содержащими гальку, переслаивающимися с песками и галечниками и заключающими в отдельных прослоях сидеритовые конкреции. Породы могут быть смяты в пологие складки и имеют суммарную мощность до 100—130 м. Средневерхнеолигоценовая часть комплекса мощностью до 250 м представлена плотными в основном гидрослюдистыми с примесью хлорита и гидроокислов железа глинами и аргиллитами с обильными включениями рассеянного углистого материала, прослоями и линзами бурых углей и лигнитов, реже песков, алевроитов и карбонатных глин, залегающими, как правило, горизонтально или с небольшим наклоном. В краевых частях впадин породы комплекса могут быть смяты в пологие складки или приобрести наклон до 30—35°.

В нижнем—среднем миоцене формируются преимущественно озерные плотные карбонатные глины с прослоями и линзами мергелей и известняков, которые могут быть слабо гипсоносными, а иногда, в краевых частях впадин, замещаться песками, галечниками и конгломератами. Толща карбонатных глин всегда является региональным водопором (в пределах впадин), мощность ее может достигать 150 м. Озерные отложения верхнего миоцена представлены горизонтально-слоистыми песками и алевроитами с подчиненными прослоями суглинков и глин, иногда с линзами, обогащенными галькой и гравием, а в прибортовых частях впадин песчано-галечными накоплениями мощностью до 60 м.

Комплекс полигенетических грубообломочных отложений верхнего миоцена—плиоцена представлен преимущественно мелкозернистыми, сочетающимися с пролювиальными и перемытыми в прибрежной полосе склоновыми образованиями — грубослоистыми валунно-галечными отложениями, конгломератами, щебнями, реже дресвой, песками или глинами. Суммарная мощность комплекса достигает 100 м.

Комплекс четвертичных ледниковых отложений состоит в основном из морен средне- и верхнеплейстоценового возраста, в меньшей мере из морен голоценовых, камовых и озовых формирований. В составе морен преобладает грубообломочный материал — глыбы, щебни, валуны, галька, песок, иногда почти без заполнителя, по чаще перемешанные с глинистым, суглинистым, или песчано-глинистым материалом в самых разнообразных соотношениях, изредка встречается «глинистая морена», почти не содержащая обломков. Морены выполняют понижения рельефа, залегают на склонах, но иногда представлены обрывочными нагромождениями, встречаемыми чаще всего на плоских водоразделах, обладают бугристой или бугристо-западинной поверхностью, мощностью их от нескольких до десятков метров. Камы представляют собой холмоподобные высотой до 30—60 м нагромождения крупнообломочного, часто хорошо промытого, материала. Озы сложены преимущественно песчаным материалом с примесью хорошо окатанных галек, имеют форму валов, вытянутых на сотни и тысячи метров, высотой до 20 м со склонами крутизной 20—30°, постепенно, по мере удаления от центра оледенения уменьшаются по высоте.

Собственные ледниковые и описанные ниже аллювиально-делювиальные отложения, переработанные солифлюкционными процессами, как и констративные фации горного аллювия, часто не могут быть уверенно различимыми между собой из-за близости механического состава и строения.

Комплекс плейстоценовых водноледниковых (флювиогляциальных, озерно-ледниковых отложений). Флювиогляциальные отложения близки по составу к моренам, отличаясь грубослонистым строением, меньшим содержанием глинистого материала и большим — песчаного, количество которого возрастает по мере удаления от моренных полей, промытостью и наличием в них водоносных горизонтов. Эти отложения выполняют долины, слагая наклонные террасы. Их мощность, которая может измеряться десятками метров, постепенно уменьшается вниз по долине и они постепенно сменяются аллювиальным комплексом. Озерно-ледниковые отложения представлены суглинками, реже глинами, часто имеющими ленточное строение, содержащими прослойки, обогащенные галькой, гравием и дресвой, иногда валунами и глыбами, которые могут встречаться и в виде включений.

Комплекс аллювиальных отложений плейстоценового, голоценового, а иногда и плиоценового возраста слагает речные террасы, реже принимает участие в строении равнин в межгорных впадинах. Это преимущественно песчано-галечные образования с прослойками суглинистого, реже глинистого, материала. В пределах горных массивов и по крутосклонному обрамлению межгорных впадин за счет пополнения делювиально-пролювиальным, осыпным, селевым материалом, аллювий содержит много крупных обломков, глыб и валунов. Наряду с констративным аллювием здесь часто формируются смешанные типы отложений: аллювиально-пролювиальные, аллювиально-делювиальные, аллювиально-селевые,

обладающие чертами как аллювия, так и склоновых типов отложений. В межгорных впадинах аллювий имеет более тонкий состав — переслаивание песков с включением гравия и мелких галек, с суглинистыми образованиями. Для аллювия характерно слоистое, иногда линзовидно-слоистое строение, хорошая проницаемость, обычно отложения водоносны. Мощность аллювия может измеряться несколькими метрами и возрастая в высоких террасах до десятков метров.

Комплекс озерных отложений четвертичного возраста главным образом голоценового встречается на территории Алтае-Саянского региона не очень часто. Эти отложения выполняют небольшие озерные впадины. Чаще всего они представлены слоистым песчано-глинистым материалом, но иногда в них встречаются галечные горизонты, а в горных озерах комплекс может быть представлен уплощенными крупными гальками с очень небольшим количеством песчаного или глинистого заполнителя. Мощность озерных отложений невелика, обычно не превышает первых десятков метров.

Комплекс лёссовидных покровных суглинков плейстоценового возраста встречается только на севере Алтае-Саянской горной страны в пределах Салаирского, Кузнецкого и Минусинского регионов. Это субаэральные суглинки и супеси часто пылеватые, иногда с прослоями глины и горизонтами, обогащенными гравием и мелкой галькой и с горизонтами погребенных почв, или такого же состава и строения породы, возникшие за счет облессования верхних горизонтов аллювиальных, озерно-аллювиальных, озерных и ледниковых отложений. В общем случае мощность покровных суглинков находится в пределах 10—30 м.

Комплекс склоновых и элювиальных отложений голоценового возраста представлен делювиальными, пролювиальными, делювиально-пролювиальными, осыпными, обвальными, элювиальными, солифлюкционными и другими, в том числе и смешанными, типами образований. В их составе преобладают обломки, глыбы, щебень, в разных пропорциях сочетающиеся с полуокатанными и окатанными обломками, суглинками, дресвой и гравием, глиной. Состав обломочных пород зависит от состава исходных коренных пород, крутизны и протяженности склонов, длительности переработки обломочного материала. Почти все виды склоновых отложений в процессе переноса концентрируются в промоинах, логах, а в основании склонов образуют конуса выноса, сливающиеся в сплошные подгорные шлейфы. Они могут перекрывать речные террасы, смешиваться с аллювием, перерабатываться речным потоком. Мощность комплекса на склонах возрастает сверху вниз от долей и первых метров до нескольких метров, а в конусах и шлейфах может достигать нескольких десятков метров. Солифлюкционные отложения отличаются обилием глинистой составляющей, обеспечивающей текучесть пород в переувлажненном состоянии: породы перемещаются на сравнительно близкие расстояния и концентрируются на выположенных частях склонов в виде фестончатых террас, часто образующих ступенчатые склоны; мощность этих отло-

женный чаще всего измеряется несколькими метрами, но может достигать 10—20 м.

2.3. Основные закономерности строения рельефа

Алтае-Саянский регион соответствует большей части единой геотекстуры, из состава которой исключена (включена в примыкающий с запада инженерно-геологический регион) ее крайняя западная часть. Это горная страна, сформированная в процессе многократного неоднородного воздействия эндогенных процессов, что привело к созданию сложного сочетания морфоструктур, часто не совпадающих по площади и по ориентировке с геологическими структурами. Значительную роль в образовании большинства морфоструктур сыграли восходящие блоковые движения или куполовидное воздымание центральных частей регионов, меньшую, но заметную роль — горизонтальные сдвиги и надвиги. Важный этап в создании рельефа — конец палеозоя и мезозой — период, в течение которого почти не создавались новые формации осадков. Конец мезозоя и кайнозоя — этап формирования морфоструктуры, т. е. активного воздействия на рельеф экзогенных процессов, результаты которого отчетливо прослеживаются в современных формах рельефа.

Таким образом в пределах Алтае-Саянской горной страны возникло сочетание горных систем, самыми крупными из которых являются Алтай, Восточный и Западный Саян, Кузнецкое и Каа-Хем-Сангиленское нагорья. Хотя Алтае-Саянская горная страна в целом вытянута с запада на восток, здесь развиты как широтно ориентированные, так и меридиональные хребты, а также хребты северо-западного и северо-восточного простирания. В ее строении много высоких и средних по высоте гор, вершины которых достигают 4—4,5 км, ограниченно распространены низкогорные массивы. Общая картина осложняется рядом межгорных впадин, неравномерно распределенных по площади, и характеризующихся равнинным или почти равнинным рельефом. Максимальные абсолютные высоты отмечены на юге Горного Алтая и в Восточном Саяне; наиболее низкие части региона — Минусинская и Кузнецкая впадина и Томь-Кольванская возвышенность расположены на севере, а Убсунурская и Централью-Тувинские впадины — на юге.

Горный Алтай — самая сложная морфоструктура региона, которая представляет собой возможно не одну, а несколько горных морфоструктур первого порядка, традиционно рассматриваемых как единое целое. Эти морфоструктуры образованы сочетанием сложных антиклинорий, синклинорий с выступами докембрийских пород, наложенными орогенными прогибами и разновозрастными интрузиями, разбитыми многочисленными глубинными разломами. Характерная черта Горного Алтая — обилие межгорных впадин и озер ледникового и смешанного происхождения.

Салаирский кряж — морфоструктура, сформированная на месте одноименного мегантиклинория. Это обширное плоскогорье с абсолютными высотами на юге 400—500 м, снижающимися к северу до 300—350 м, а на северо-запад до 200—300 м. В южной половине его возвышаются холмы, гряды и отдельные вершины, высотой над поверхностью плоскогорья до 250 м. Поверхность плоскогорья расчленена небольшими речками и балками.

Томь-Колываньская возвышенность возникла как обращенная морфоструктура на месте девонского прогиба и отделяется от прилегающей к ней с юга Кузнецкой котловины Томским надвигом. Формирование ее в качестве положительной морфоструктуры, с которой происходит снос терригенного материала, началось в триасе. В настоящее время это приподнятая равнина с абсолютными отметками от 300 до 100 м, плавно понижающимися в сторону Западно-Сибирской низменности. Лишь на отдельных ее участках возвышаются сопки, достигающие абсолютной высоты 390 м.

Кузнецкая котловина, вытянутая на северо-запад на 335 км при ширине 80—100 км, представляет собой унаследованную морфоструктуру, сформированную на месте средне- и позднепалеозойских прогибов, выполненных толщей угленосных отложений карбона, перми, триаса и юры. Это полого понижающаяся на северо-запад холмисто-увалистая равнина с абсолютными отметками 200—400 м, т. е. располагающаяся почти на тех же высотах, что и прилегающий к ней с запада Салаирский кряж. От Салаирского кряжа она отделена четко выраженным в рельефе тектоническим уступом высотой до 100 м, на северо-западе ограничена надвигом.

Кузнецкое нагорье — глыбово-сводовая морфоструктура, сложенная в основном метаморфизованными отложениями палеозоя и интрузивными породами. В ее составе выделяют ряд морфоструктур второго порядка: Кузнецкий Алатау, Горную Шорию, Бийскую Гриву и Абаканский хребет. В центральной части нагорья высота достигает 2000 м и более, к северу она уменьшается до 300 м. Преобладают низкие водоразделы, над которыми возвышаются отдельные хребты и вершины среднегорного типа. В целом нагорье отличается сильнорасчлененным рельефом, для южной его части характерны альпийские и альпийские формы, сочетающиеся с платообразными участками, покрытыми каменными россыпями. Западные склоны хребтов обычно короче и круче, чем северо-восточные.

Хребты Западный и Восточный Танну-Ола, как и нагорье Сангилен, являются частью водораздела между бассейном Ледовитого океана и Центрально-Азиатским бессточным бассейном. Это широко вытянутая на 375 км горстовая морфоструктура.

Убсунурская впадина входит в пределы СССР своей крайней северной частью, в пределах которой сочетаются равнинный рельеф и сложный рельеф предгорных шлейфов, развитые на кайнозойских образованиях. Центрально-Тувинские впадины — Хемчикская и Кызыльская сформировались на месте более древних прогибов.

На протяжении всего кайнозоя впадины заполнялись осадками и представляют собой аккумулятивные равнины с локальными участками денудационного рельефа.

Западный Саян — глыбовая морфоструктура, сформированная на каледонском основании: это система широтно-ориентированных хребтов, разделенных глубоковрезанными долинами, вытянутыми на северо-восток более чем на 600 км при ширине около 240 км. В осевой части располагается высокогорье с альпийскими хребтами, гольцовым рельефом с частыми гребневидными водоразделами и обнаженными крутыми склонами. К северу их сменяет низко- и среднегорный рельеф с высотами 1400—2300 м, с преобладанием более пологих склонов и развитых долин с аккумулятивными террасами. На юге доминируют плоскогорные массивы высотой 2500—2800 м с одиночными гольцовыми вершинами и отдельными хребтами, с пологими водоразделами.

Сангиленское нагорье — морфоструктура, представляющая собой сочетание мозаично-блоковых поднятий, развитых на метаморфических образованиях и гранитоидах докембрия и первой половины палеозоя. Это система плоскогорий, расчлененных глубоковрезанными долинами рек, часто имеющими характер ущелий, и осложненных рядом хребтов и гольцовых вершин и мелких впадин — грабенов. На севере выделяется Каахемское нагорье с массивными хребтами и куполовидными вершинами, а на юге — плоскогорье Сангилен с обширными плоскими водоразделами, на которых возвышаются одиночные вершины и редкие хребты.

Таджикская впадина — сложная морфоструктура, возникшая в результате прогибания каледонских структур; она отделена от прилегающих к ней с севера и юга морфоструктур глубинными разломами. В ее пределах обособляются динша и система среднегорных хребтов, образующих своеобразную ступень, отделяющую впадину от крутых склонов высокогорного обрамления. Днище, наклоненное в целом с востока на запад, представляет собой низкогорье, сформированное при участии денудационных, аккумулятивных, а на востоке впадины и эффузивных процессов. Большую роль в формировании рельефа впадины сыграли плейстоценовые ледники, оставившие после себя экзарационные и ледниково-аккумулятивные скульптуры.

Восточный Саян — сложная морфоструктура, сформированная на древнейших образованиях Алтае-Саянского региона, развивавшихся в качестве положительных структур начиная с палеозоя. Это — сводовое поднятие, унаследовавшее элементы каледонского структурного плана, разбитое на блоки, образующие в рельефе ярусное чередование плоскогорий. Многочисленные хребты с высотами до 3100 м и отдельными более высокими вершинами обладают альпийским рельефом с каньонообразными долинами и трапецидальными обрывистыми склонами. На северо-западе и северо-востоке располагаются средневысотные (1800—2400 м) горы со сглаженными очертаниями. Часто встречаются плоские вершинные поверхности с невысокими куполовидными гольцами на них.

Минусинские впадины — серия морфоструктур, приуроченных к единой области древнего погружения. Границы кайнозойских впадин и древних структур не совпадают, в целом кайнозойские впадины занимают меньшие площади, чем древние прогибы. Наиболее северная из впадин — Назаровская представляет собой предгорную равнину, сливающуюся с равнинами Западной Сибири; Северо-Минусинская впадина (Чулымо-Енисейская) — холмистую равнину, Сыдо-Ербинская (Средне-Минусинская) — чередование долинообразных понижений и куэстовых гряд, а Южно-Минусинская — расчлененную равнину, в которой развиты аллювиально-пролювиальные поверхности и денудационные уплощенные междуречья. Поверхность равнин в целом наклонена с юга на север от 500—520 до 250—300 м.

Морфоструктуры оказывают влияние на характер речных долин, пересекающих их. В пределах неоструктур, характеризующихся наиболее интенсивным поднятием в течение кайнозоя, долины рек глубоко врезаются, имеют крутые склоны, отличаются непостоянством продольных уклонов, обилием порогов и перекатов, в их пределах отсутствуют террасовые комплексы или устанавливаются останцы высокоподнятых (40—90 м) цокольных террас, часто встречаются участки всячих долин. В тектонических блоках, находившихся в течение кайнозоя в состоянии относительного покоя, долины рек хорошо выработаны, их продольные профили имеют плавный характер и близки к профилю равновесия, в их пределах широко развиты комплексы террас. В опускающихся блоках, развиты равнинные участки с широкими извилистыми руслами рек, аккумулятивными террасами, сливающимися на боргах впадин с делювиально-пролювиальными конусами, в них встречаются заболоченные поймы и озера-старичья. Широко развиты молодые разломы находят отражение в рисунке гидросети: устанавливается множество прямолинейных участков долин, приуроченных к линиям разломов: наиболее чувствительны к расположению разломов притоки высоких порядков — они прямолинейны, обладают крутыми изгибами русел, протекают по границам локальных неоструктур.

2.4. Основные закономерности мерзлотных условий Алтае-Саянского региона

Широким развитием в пределах Алтае-Саянского региона пользуется криолитозона, обширные территории которой заняты ММП, имеющими сплошное прерывистое или островное распространение, а территории, свободные от многолетнемерзлых пород, подвержены сезонному промерзанию. Мощности сезонномерзлых пород измеряются долями метра или несколькими метрами, а мощности многолетнемерзлых пород могут превышать 600 м и, быть может, достигают 1 км. Наиболее обширные поля развития многолетнемерзлых пород находятся на Горном Алтае, Восточном Саяне и Сангиленском нагорье, к этим же районам приурочены их наибольшие

мощности. Как правило, одновременно с ростом мощности мерзлых пород понижаются их среднегодовые температуры, достигающие -10° , а возможно и -15°C .

Во всех частях Алтае-Саянской горной страны существует вертикальная геокриологическая поясность: одновременно с ростом абсолютной высоты возрастает, как правило, сплошность многолетнемерзлых пород и их мощность, понижаются их среднегодовая температура, уменьшаются как количество, так и размеры талников. В связи с этим пояс сплошного развития многолетнемерзлых пород в каждом из районов занимает более высокое гипсометрическое положение, чем пояс прерывистого их распространения, а островная мерзлота располагается еще ниже. Высотное положение этих поясов, как и границ между ними, может существенно изменяться как в соседствующих горных системах, так и в пределах одного хребта в зависимости от ориентировки его склонов. Наиболее низко эти границы опускаются на северных склонах, охлаждающихся зимой под воздействием арктического антициклона, и поднимаются на южных, получающих большее количество солнечного тепла. На западных и северо-западных склонах Горного Алтая и Саян, перехватывающих влагу из воздушных масс, перемещающихся летом со стороны Атлантики, эти границы располагаются значительно выше, чем на восточных.

В межгорных впадинах, в замкнутых и полузамкнутых котловинах могут скапливаться и долго сохраняться холодные массы воздуха, что приводит к формированию зон температурной инверсии и создает условия для промерзания горных пород и длительного сохранения мерзлоты в них. Благоприятны для развития и существования многолетнемерзлых пород высокогорные плоскогорья и нагорные, в том числе инвальные террасы, часто заболоченные.

Мерзлотные условия во многом обусловлены климатическими особенностями территории. В их число входят как региональные, так и микроклиматические характеристики: среднегодовые, среднемесячные и экстремальные температуры воздуха, направление перемещения воздушных масс, количество и характер распределения осадков. Отрицательные среднегодовые температуры воздуха в Чуйской, Бертекской, Джулукульской и других впадинах, а также на высоких водоразделах способствуют сохранению многолетнемерзлых пород.

В ряде межгорных впадин количество осадков составляет 100--200 мм/год, а зимой их выпадает не более 20 % от годовой суммы, в результате чего в них не бывает сплошного снежного покрова, что способствует глубокому промерзанию грунтов. В тех районах, где снежный покров формируется рано и достигает значительной мощности, породы промерзают незначительно.

В формировании криолитозоны особенно выделяется роль болот. В Алтае-Саянском регионе наряду с пойменными, террасовыми и низинными болотами широко развиты нагорные и высокогорные болота, практически всегда связанные с многолетнемерзлыми породами, залегающими в их основании. Эти болота в значитель-

ной мере возникли благодаря широко развитому процессу криогенного болотообразования, но эти же болота, действуя в качестве фактора охлаждения подстилающих пород, приводят к возникновению мерзлоты и значительному расширению площадей развития многолетнемерзлых пород.

Подземные воды могут способствовать сохранению многолетнемерзлых пород и росту их площадей, но могут выступать в качестве отепляющего фактора, приводящего к деградации многолетнемерзлых пород. Особенно ярко проявляется отепляющая роль подземных вод, восходящих по разломам и выносящих к поверхности подземное тепло; с ними связано повышенное количество таликов в зонах разломов, а также уменьшение мощности многолетнемерзлых пород в ряде районов, насыщенных разломами. Так, практически полное отсутствие многолетнемерзлых пород в центральной части Курайской впадины, окруженной зоной многолетнемерзлых пород мощностью 400 м и более можно предположительно объяснить обилием разломов в дне впадины, что обеспечивает поступление сюда теплых глубинных вод.

В геологическом строении Алтае-Саянского региона участвуют породы, обладающие разными теплофизическими характеристиками и фильтрационными свойствами, различной величиной альбедо, что должно сказываться на условиях теплообмена и развития мерзлых пород, но какие-либо данные об этом по региону отсутствуют.

В заключение следует подчеркнуть, что закономерности распределения мерзлых пород в регионе обусловлены также историей их формирования. Устанавливается определенная связь ареалов распространения многолетнемерзлых пород с древними оледенениями; так, на Горном Алтае нижняя граница распространения их опускается до высоты 1200 м в долине р. Мен и в Абайской степи, до высоты около 1300 м в бассейне р. Яломан. Эти гипсометрически наиболее низко расположенные участки развития многолетнемерзлых пород находятся вблизи от наиболее низких находок следов древнего оледенения, несколько ниже их. Связь площадей современного распространения многолетнемерзлых пород с районами плейстоценового оледенения установлена также в Центральной Туве.

2.5. Основные закономерности гидрогеологических условий

Алтае-Саянский инженерно-геологический регион по своему гидрогеологическому строению отвечает единой гидрогеологической складчатой области, представляющей собой сложную систему гидрогеологических, криогидрогеологических и криогеологических массивов с мелкими артезианскими и адартезианскими бассейнами (рис. 2.2).

Гидрогеологические массивы, сложенные осадочными и метаморфическими породами докайнозойского возраста и интрузивными

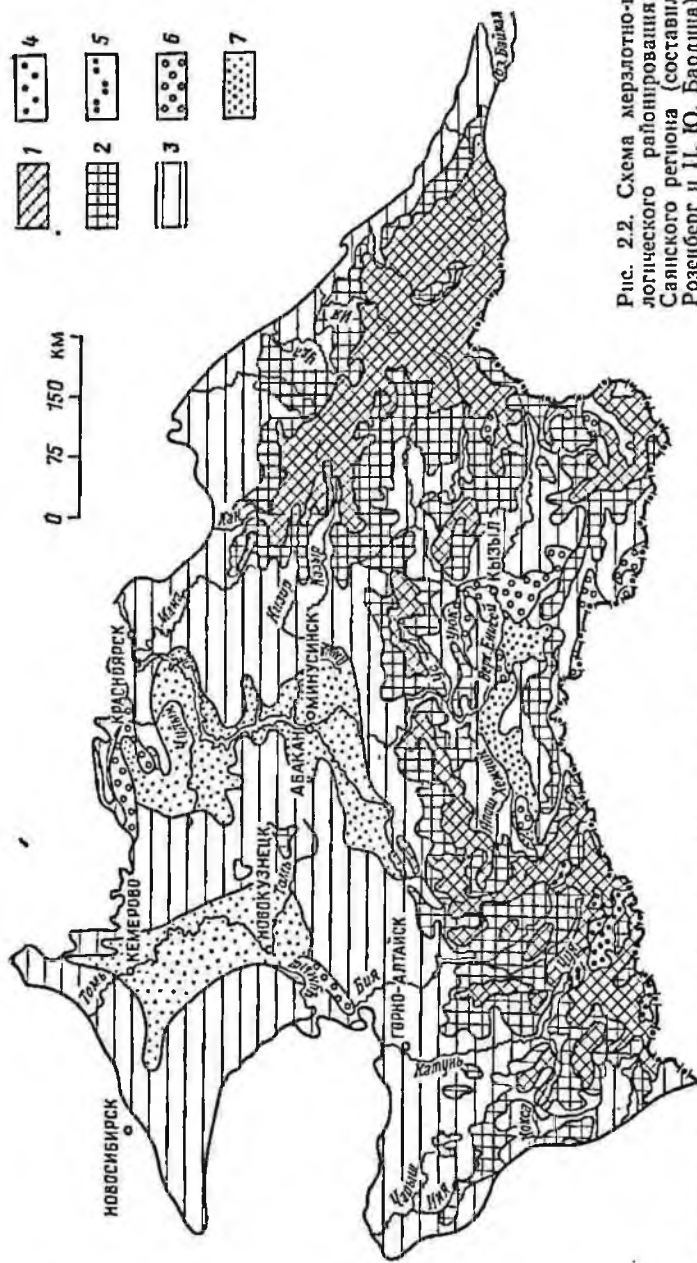


Рис. 2.2. Схема мерзлотно-гидрогеологического районирования Алтайско-Саянского региона (составили Л. И. Розенберг и П. Ю. Бардина):

1 — криогидрогеологические массивы с участками криогидрогеологических массивов, 2 — с участками криогидрогеологических массивов, 3 — с островами ММП; 4 — арктические бассейны соответственно со сплошным, прерывистым и островным развитием ММП; 5 — адвезиальные бассейны с прерывистым и островным развитием ММП; 6 — арктические бассейны соответственно со сплошным, прерывистым и островным развитием ММП; 7 — адвезиальные бассейны с прерывистым и островным развитием ММП

ми породами, содержат трещинно-поровые воды зоны трещиноватости скальных пород, трещинно-карстовые воды в районах развития карбонатных разностей и трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений.

Наиболее развиты по площади воды зоны приповерхностной трещиноватости, на большей части территории имеющей мощность не более 100 м, но иногда достигающей 150 м и более. Глубина залегания трещинных вод изменяется от долей до 50—60 м. В связи с различной степенью трещиноватости пород воды распределены неравномерно как по площади, так и в разрезе. Многие высоко поднятые в рельефе участки, особенно сложенные интрузивными породами, сдренированы на всю мощность трещиноватой зоны и водоносны лишь во время дождей. Преобладающая водообильность пород невелика: дебиты родников 0,1—3 л/с, лишь иногда достигают 10 л/с.

Трещинно-карстовые воды широко распространены в Саяно-Саянском регионе и на Кузнецком Алатау в карбонатных толщах нижнего кембрия и верхнего протерозоя. В зависимости от рельефа местности и степени закарстованности пород трещинно-карстовые воды встречаются на глубине до 400 м и образуют различные и весьма неустойчивые во времени скопления в известняках, мраморах, доломитах. Дебит родников, достигающий 600 л/с, а иногда и более, может резко изменяться во времени.

Трещинно-жильные воды, приуроченные к зонам тектонических нарушений, часто выходят на поверхность в виде восходящих родников с дебитом до 5—10 л/с, а дебиты скважин достигают 50 л/с. От других типов вод отличаются минерализацией и солевым составом: встречаются гидрокарбонатные натриево-кальциевые и гидрокарбонатные натриевые, сульфатные натриевые, сульфатно-хлоридные натриевые, азотные кремнистые, сероводородные воды. Обычно это холодные, иногда термальные воды, пресные, солоноватые с минерализацией до 3 г/л, реже соленые. В них чаще, чем в других типах вод, встречаются агрессивные по отношению к бетону и металлам воды.

Криогидрогеологические массивы отличаются от описанных, широким, практически сплошным, развитием многолетнемерзлых и многолетнеморозных пород, мощность которых, как правило, превышает мощность зоны трещиноватости. На территориях с прерывистым развитием многолетнемерзлых горных пород могут присутствовать участки как гидрогеологических, так и криогидрогеологических массивов со всеми присущими им особенностями. В криогидрогеологических массивах поровые и трещинные воды могут быть встречены только в сезонно-талом слое пород, в подрусловых и подозерных таликах, а также в таликах, приуроченных к интенсивно закарстованным участкам и зонам тектонических нарушений.

Воды сезонно-талого слоя имеют локальное распространение и незначительную мощность, питание их происходит за счет оттаивания многолетнемерзлых пород и атмосферных осадков, движение осуществляется по мерзлому водоупору вниз по склону, а раз-

грузка в виде источников и пластовых выходов у подножий склонов и террас. Таликовые зоны — коллекторы подземных вод. Их питание происходит за счет атмосферных осадков и поверхностных вод, области питания, движения и разгрузки часто совпадают. С таликовыми зонами, приуроченными к закарстованным участкам и тектоническим нарушениям, часто связаны крупнодебитные, а иногда и термальные источники. На некоторых участках при небольшой мощности многолетнемерзлых пород могут присутствовать подмерзлотные трещинные воды в зоне криогенной дезинтеграции скальных пород. Криогеологические массивы располагаются, как правило, внутри обширных территорий криогеологических массивов и приурочены к участкам глубоко расчлененных горных сооружений, представлены они морозными породами и не содержат подземных вод.

Артезианские бассейны приурочены к межгорным впадинам, в строении которых наряду с рыхлым покровом принимают участие отложения древних скальных пород. В них развиты как поровые и порово-пластовые, так и трещинно-пластовые и трещинные воды. Поровые и порово-пластовые воды приурочены к кайнозойским отложениям различного генезиса и возраста и по своим характеристикам не отличаются от таких же вод артезианских бассейнов. Трещинно-пластовые — приурочены преимущественно к мезозойским породам, в разрезе которых наиболее водообильны угленосные отложения, прослон гравелитов и конгломератов. Дебиты скважин в них достигают 4 л/с.

Артезианские бассейны приурочены к межгорным впадинам, выполненным рыхлыми кайнозойскими отложениями, в меньшей мере формациями мезозоя. Подземные воды развиты в породах всего чехла каждого из бассейнов. Основные запасы подземных вод сосредоточены в наиболее древних водоносных комплексах, выполняющих впадину: это трещинно-пластовые воды юрских отложений, порово-пластовые и поровые воды палеогеновых, неогеновых и четвертичных комплексов. В строении артезианских бассейнов участвуют также воды зон разломов, а в бассейнах со сплошным развитием многолетнемерзлых пород — надмерзлотные воды сезонно-талого слоя, подмерзлотные воды, сквозных и несквозных подруслых и подозерных таликов, встречаются и межмерзлотные воды.

В долинах крупных рек водоносные горизонты мощностью 2—7 м приурочены к аллювиальным пескам и галечникам, глубина их залегания изменяется от 0,5—8 м на поймах до 5—12 м на низких террасах и до 15—30 м, а иногда и больше, на средневысоких и высоких террасах. Годовая амплитуда уровня грунтовых вод достигает 1—2,5 м, наиболее высокое его положение отмечается в конце мая — начале июня. Удельные дебиты скважин в песчано-гравийно-галечниковых отложениях пойм и низких террас близки к 1,5 л/с.

Подземные воды озерно-аллювиальных отложений приурочены к песчано-гравийно-галечниковым пачкам, залегающим на глубине

10—25 м, или к прослоям и линзам лесков, залегающим среди водоупорных пород на различной глубине. Часто они имеют спорадический характер, во многих случаях обводнены незначительно. Дебиты скважин, вскрывающих воды озерно-аллювиального комплекса, не превышают долей литра в секунду.

Подземные воды делювиально-пролювиальных и аллювиально-пролювиальных образований, слагающих предгорные шлейфы и конусы выноса, встречаются на глубине 5—50 м. Водоносность пород крайне неравномерна, преобладают слабОВОдоносные породы, но в отдельных случаях отмечаются выходы родников с дебитами до 5 л/с.

Важные инженерно-геологические особенности подземных вод Алтае-Саянского региона изучены недостаточно. Особенно плохо изучена агрессивность подземных вод. Имеются указания на изменения агрессивности грунтовых вод и верховодки в зависимости от сезона. Трещинные воды могут значительно осложнять проходку горных выработок при разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых, а подземные воды межгорных впадин затруднить сооружение котлованов, карьеров и подземных горных выработок.

2.6. Основные закономерности развития современных геологических процессов

Характер современных геологических процессов Алтае-Саянского региона определяется морфоструктурными особенностями территории, широким распространением скальных пород, залегающих непосредственно на дневной поверхности или под маломощным покровом обломочных образований, широким развитием многолетне-мерзлых и сезонно-мерзлых пород, ландшафтно-климатическими особенностями и, в меньшей мере, современной тектонической активностью. В регионе развиты криогенные, гравитационные, эрозийные, эоловые, сейсмогенные, карстовые процессы, но относительная роль их в преобразовании рельефа, формировании отложений и воздействии на инженерные сооружения не одинакова; наиболее широко развиты разнообразные криогенные процессы. По масштабам возможных разовых разрушений, на первом месте находятся сели, лавины и землетрясения.

В целом Алтае-Саянский регион относится к областям повышенной тектонической активности: землетрясения возможны на всей его территории. Здесь часты землетрясения различной силы, достигающие иногда 8—10 баллов. Наибольшая частота и мощность землетрясений приурочены к субширотной полосе, проходящей вдоль южной части территории. По мере продвижения на северо-восток частота и интенсивность землетрясений убывает. Наиболее опасны по частоте и силе возможных землетрясений зоны, примыкающие к глубинным разломам, и участки, расположенные

на пересечении тектонических зон, возникших в каледонскую и герцинскую эпохи. Так, повышенной сейсмичностью характеризуется зона вдоль сброса Тырган, отделяющего Салаир от Кузнецкого прогиба. Основная масса эпицентров зафиксированных землетрясений образует сейсмические пояса: субмеридиональный, приуроченный к хребтам Цаган-Шибету и Шалшальскому, и северо-восточный, включающий хребты Горного Алтая, Талну-Ола, Куртушбинский и Восточный Саян. Первый пояс характеризуется более частыми и более слабыми землетрясениями. Прогнозы сейсмологов позволяют ожидать для наиболее активных сейсмогенных районов землетрясений 15-го энергетического класса с периодом повторения на площади 10 тыс. км² в 35—40 лет.

Криогенные процессы и явления, тесно связанные с слоем сезонного промерзания и оттаивания или с протанваннем многолетнемерзлых горных пород, наиболее активны в районах островного развития многолетнемерзлых пород, т. е. на площадях, где мерзлота неустойчива. Высотное положение рельефа — ведущий фактор, определяющий районы проявления криогенных процессов, по которому устанавливают пояс развития криогенных процессов. Верхняя граница пояса располагается примерно на уровне средне-многолетней снеговой границы, а положение нижней изменяется в разных районах и улавливается с трудом, так как с понижением высоты активность одних криогенных процессов снижается быстрее, других медленнее, а третьи характерны только для сравнительно малых высот.

Условия развития и вид доминирующих криогенных процессов зависят также от крутизны горных склонов и наличия на них рыхлых образований. На самых крутых склонах, лишенных, как правило, рыхлого покрова, развиваются преимущественно морозное растрескивание и криогенное выветривание пород, на более пологих склонах с рыхлым покровом — курумы, солифлюксии, внутригрунтовый вынос. Плоскогорья, нагорные террасы, речные долины и межгорные впадины, закрытые чехлом рыхлых пород, представляют собой площади наиболее активного и многообразного проявления криогенных процессов, причем различия в их характере и интенсивности возникают в зависимости от наличия или отсутствия многолетнемерзлых пород, строения криолитозоны и приуроченности этих поверхностей к тому или иному высотному поясу. Для высокогорных плоскогорий характерны каменные полигоны, морозная сортировка, криогенное заболачивание, различные формы пучения. Для речных долин на первое место выступают наледообразование, бугры пучения, термокарст, а иногда и термоэрозия. В высокогорных межгорных впадинах могут быть встречены практически все известные виды криогенных процессов; типичный пример — Чуйская впадина.

Лавины и сели наиболее характерны для высокогорных районов, но довольно часты и в среднегорье. Закономерна сравнительно низкая пораженность ими западных частей региона по сравнению с

восточными: на Горном Алтае районы с высокой лавинной и селевой опасностью распространены ограниченно, а на Восточном Саяне их очень много. Основные очаги питания селей расположены в нивальной зоне, главным источником питания являются морены, а в среднегорье и продукты выветривания коренных пород. В селевых потоках доля твердого материала составляет от 10—15 до 60—70 %, объем разового (в течение десятков минут) выноса в низовья селевых русел составляет десятки и сотни тысяч кубических метров твердого материала.

Обвально-осыпные процессы наиболее характерны для высокогорных районов, делювиально-пролювиальные — типичны для средне- и низкогорья.

Мощности осыпей и обвалов зависят от состава пород, условий их залегания и характера рельефа. Наиболее активны склоновые процессы в зоне тектонических нарушений, особенно на узлах пересечения разломов. В долинах крупных рек в пределах межгорных впадин наряду с обвально-осыпными явлениями известны оползни.

Широко распространены карстовые явления, встречающиеся практически повсюду, где развиты карбонатные формации. Карстовые пещеры и воронки во многих случаях представляют собой безусловно докайнозойские образования: в некоторых из них найдены раннекайнозойские отложения. Это позволяет считать, что преобладающим развитием в Алтае-Саянском регионе пользуется древний карст, но развитие карстовых форм продолжается и в настоящее время: группы современных воронок и карстовых озер располагаются в верховьях р. Китоя, современное карстообразование отмечается на Горном Алтае, в Восточном Саяне. Широкое развитие мерзлоты в горных районах несколько снижает скорость выщелачивания карбонатных пород, но не прекращает процесса карстования.

Эоловые процессы наиболее широко развиты в межгорных впадинах: в Чуйской, Тувинской и Южно-Минусинской котловинах они приводят к выдуванию почв и пыльным бурям. Просадочные явления известны в лессовидных покровах Салаира, Томь-Колываньской возвышенности, Кузнецкой и Минусинской впадин. Во впадинах Горного Алтая развито засоление почв и грунтов.

В числе геологических процессов надо отметить современное оледенение: на территории Алтае-Саянского региона установлено более 1300 ледников общей площадью более 980 км².

Помимо рассмотренных на территории Алтае-Саянского региона развиваются антропогенные процессы, особенно в районах интенсивной хозяйственной деятельности. Наиболее часты нарушения криогенной обстановки, приводящие к деградации или новообразованию многолетнемерзлых пород и активизации всевозможных криогенных процессов и явлений. Наибольшие изменения на поверхности вызывают горные работы: проседания и провалы, породные отвалы и терриконы, хвостохранилища, разнос техногенных

грунтов временными и постоянными водотоками. Строительные работы в горных районах (подрезка склонов дорожными выемками, вырубка растительности и т. д.) часто вызывают активизацию гравитационных процессов. По берегам водохранилищ и в зонах их воздействия происходит переформирование берегов, развиваются обвалы, осыпи и оползни, подтопляются и заболачиваются прилегающие долины. Подробно антропогенные процессы будут рассмотрены ниже.

2.7. Общие региональные закономерности пространственных изменений инженерно-геологических условий

Приведенные выше данные об основных закономерностях изменения всех компонентов инженерно-геологических условий геологического строения, геоморфологических особенностей, гидрогеологических и геокриологических условий, геодинамической обстановки в Алтае-Саянском регионе наиболее отчетливо проявляются при сравнении их в складчатых зонах, межгорных прогибах и наложенных мульдах (см. рис. 1.1).

Для складчатых сооружений типичны: полиминеральный состав и «многопородность» осадочных формаций; широкое распространение метаморфических, вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований; большая изменчивость разреза; существенно разное строение разновозрастных комплексов в различных структурно-фациальных зонах; обилие интрузивных пород, особенно гранитоидного состава, в том числе крупных плутонов с обширными ореолами контактово-измененных пород; слоистая дислоцированность как пликвативная, так и дизъюнктивная; значительная тектоническая трещиноватость. Для них характерна неотектоническая активность, расчлененный горный рельеф, повышенная сейсмичность территории. Среди кайнозойских отложений преобладают склоновые накопления, обычно глыбово-щебнистые и щебнистые, а также морены грубого состава. Обводненность в целом незначительная, развиты преимущественно трещинные воды; лишь в карбонатных формациях она существенно возрастает, а подземные воды приобретают трещинно-карстовый характер. Широко распространены криогенные процессы, типичные для горных районов и скальных грунтов, на крутых горных и речных склонах формируются обвалы, осыпи, осывы выветрелого материала; многие районы должны быть отнесены к селеопасным и лавинопасным. Отчетливо прослеживается вертикальная поясность в строении рельефа, характере поверхностных отложений, развитии экзогенных процессов.

Отмеченные закономерности наиболее характерны для байкало-Восточного Саяна и Сангилене, зон салаирской и каледонской складчатости Восточного и Западного Саяна, Кузнецкого Алатау и Горной Шории. Вместе с тем, каждая из названных складчатых областей в чем-то индивидуальна. Так, байкало-Восточного Саяна сложены древнейшими глубокометаморфизованными формация-

ми; в геологическом строении Сангиленского и Тувинского массивов преобладают гранодиориты; в палеозойских структурах Восточного Саяна и Кузнецкого Алатау широко распространены карбонатные породы, а в Западном Саяне — флишондные толщи. Заметно отличаются от палеозойских зоны герцинской складчатости региона — Салаирская и Томь-Колываньская. Здесь отсутствуют карбонатные породы, много вулканогенно-терригенных образований, преобладают денудационные холмистые возвышенности и низкие горы.

Существенно иные инженерно-геологические условия характерны для межгорных прогибов и впадин, выполненных палеозойскими отложениями: Северной и Южной Минусинских, Кузнецкой, Тувинской. Во внутренней структуре их прослеживается определенная однотипность в смене формационных разрезов: в краевых зонах значительная роль принадлежит эффузивным покровам, во внутренних частях преобладают красноцветные молассы, а завершают разрез угленосные толщи. Регионально-метаморфизованные породы отсутствуют, но степень литификации осадочных пород очень высока; преобладают скальные грунты. Лишь аргиллиты и угли угленосных формаций характеризуются сниженными значениями показателей физико-механических свойств, быстрой выветриваемостью, формированием весьма подвижных осыпей. Среди гидрогеологических структур преобладают адартезианские бассейны трещинно-пластовых вод пестрой минерализации. Относительно спокойный тектонический режим в кайнозое с преобладанием слабых поднятий обусловил преобладание в рельефе структурно-денудационных форм, умеренную расчлененность, незначительные мощности кайнозойских осадков на водораздельных поверхностях и склонах.

Центральные части ряда палеозойских впадин (Северо-Минусинской, Тувинской, Кузнецкой) осложнены наложенными мезозойскими мульдами. Они выполнены умеренно литифицированными терригенными угленосными отложениями. Территория их относительно погружена по сравнению с обрамляющими плато, преобладают цокольные равнины. Мощность четвертичных отложений может достигать 40—60 м. Генезис и литология четвертичных осадков различны. В южных впадинах преобладают перигляциальные аллювиально-пролювиальные песчаные и лёссовые грунты, в северных — озерно-аллювиальные, существенно глинистые, часто лёссованные.

Речные долины во впадинах разработанные, террасированные, в разрезах аллювия практически всегда хорошо выделяются нижние русловые, обычно песчаные фации и верхние, пойменные супесчано-суглинистые. В большинстве впадин вечная мерзлота отсутствует или носит островной характер, но глубины сезонного промерзания очень велики, особенно в южных впадинах с весьма незначительным количеством зимних осадков.

Отмеченные закономерности нашли выражение в рассматриваемой ниже схеме инженерно-геологического районирования.

ГЛАВА 3 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Алтае-Саянский регион первого порядка, выделенный в соответствии с общей схемой инженерно-геологического районирования территории СССР, в геолого-структурном отношении представляет собой гетерогенное образование. Он включает байкалиды Восточного Саяна и Сангилену; ранние каледониды (салаириды) складчатых сооружений Восточного Саяна, северного фаса Западного Саяна и Кузнецкого Алатау, поздние каледониды Западного Саяна и Горной Шории, сложные, переходные складчатые структуры Горного Алтая, герциниды Салаирской и Колывань-Томской зоны. Регион включает также эппалеозойские Минусинские, Тувинскую и Кузнецкую впадины. В геологической литературе эта обширная территория обычно называется Алтае-Саянской горной страной. Также в настоящем издании из нее достаточно условно исключена западная часть — герцинские структуры Рудного Алтая.

Дальнейшее разделение Алтае-Саянского региона на таксоны 2-го порядка учитывает как геолого-структурные особенности территории, так и особенности ее морфоструктуры, так как при любых видах инженерного освоения территории не меньшее значение, чем состав и строение пород, будут иметь высотное положение территории и особенности строения ее поверхности — крутизна и расчлененность склонов. Длительная перестройка привела к образованию морфоструктур, не всегда совпадающих с более древними геологическими структурами, а иногда являющимися новообразованиями, поэтому границы инженерно-геологических таксонов более высоких порядков могут существенно отличаться от контуров геологических структур, выделяемых на схемах тектонического районирования.

В основу разделения Алтае-Саянского региона на регионы 2-го порядка положен структурно-тектонический принцип, учитывающий возраст складчатости, т. е. время завершения геосинклинального режима, и состав преобладающих формаций. Хотя замыкание геосинклинальных прогибов и складчатость происходили не одновременно даже в сравнительно близко расположенных зонах, смежная более древних складчатых сооружений более молодыми прослеживается достаточно последовательно с востока на запад. Всего в пределах Алтае-Саянского региона выделено 9 инженерно-геологических регионов 2-го порядка: Саяно-Сангиленский, Саяно-Алатауский, Салаирский, Тувинский, Горно-Алтайский, Западно-Саянский, Колывань-Томский, Кузнецкий, Минусинский (рис. 3.1).

Саяно-Сангиленский регион объединяет наиболее древние складчатые структуры Восточного Саяна (Дербинский антиклинорий) и древние глыбы (горсты) Сангиленской и Тувинской зон. Преобладающим развитием здесь пользуются архейские и протерозойские метаморфические, преимущественно зеленосланцевые



Рис. 3.1. Схема разделения Алтае-Саянского региона на инженерно-геологические регионы 2-го порядка:

1 — Саяно-Саянгиленский; 2 — Саяно-Алатауский; 3 — Салаирский; 4 — Тувинский; 5 — Горно-Алтайский; 6 — Западно-Саянский; 7 — Колывань-Томский; 8 — Кузнецкий; 9 — Милусинский

формации и протерозойские гранитоиды, постоянно присутствуют мраморы, мраморизованные доломиты и кристаллические известняки, количество которых возрастает в направлении на юго-восток. Характерная черта — интенсивная дислоцированность пород, преобладают линейно вытянутые складки. В Восточном Саяне наблюдается северо-западная, согласная с общим простиранием структуры, ориентировка региональных разломов, сопровождающихся обширными зонами дробления. Многочисленные гранитоидные интрузии залегают согласно с вмещающими породами и, как правило, имеют с ними тектонические контакты.

В качестве региона 3-го порядка, по-видимому, следует выделять расположенный в Центральном антиклинории Восточного Саяна Манский прогиб, выполненный вендской молассой и карбонатной формацией кембрия. В Саянгиленском массиве развиты терригенно-карбонатные, вулканогенно-карбонатные формации, гнейсы и кристаллические сланцы; особенностью его является насыщенность гранитоидными интрузиями, что позволяет рассматривать Саянгиленский массив в качестве плутоиогена — структуры негеосинклинального (орогенного) ряда, развивавшейся в преобладающей континентальной обстановке. В целом регион соответствует морфоструктурам Восточного Саяна, восточной части хр. Академика Обручева и Саянгиленского нагорья. На водоразделах и склонах развиты многокилометровые россыпи и курумы, на приводораздельных склонах — морозносолифлюкционные накопления. Сплошным распространением пользуются многолетнемерзлые породы, мощность которых в горах может превышать 300 м.

Саяно-Алатауский регион охватывает структуры Кузнецкого Алатау и Горной Шории, складчатые структуры западной оконечности Восточного Саяна и сочленяющую их узкую полосу северно-

го фаса Западных Саян, отвечающие салаирской фазе тектогенеза и сложенные преимущественно эвгеосинклинальными эффузивно-осадочными и карбонатными формациями кембрийского возраста, собранными в сложные складки, нарушенными многочисленными разломами. Менее распространены орогенные, существенно континентальные формации верхнего кембрия и ордовика.

Главные морфоструктуры региона имеют простирание, согласное с простиранием основных тектонических структур. Горные склоны крутые, с ними связаны интенсивные гравитационные процессы, особенно в зонах тектонических разломов. Преобладают продольные речные долины, приуроченные к новейшим впадинам. Часто массивы горных пород дренированы на всю глубину эрозионного вреза, в районах развития карбонатных пород развит карст, к закарстованным массивам приурочены обильные трещинно-карстовые воды.

Салаирский регион отвечает асимметричному дугообразно изогнутому мегантиклинорию, сформированному в несколько этапов. В его строении участвуют преимущественно протерозойские метаморфические, раннепалеозойские карбонатные и терригенно-карбонатные формации, а в наложенных прогибах — орогенные, эффузивно-осадочные. Современный структурный план возник в герцинскую эпоху в результате существенной переработки более древних структур, им определяется современная морфоструктура Салаира, полностью совпадающая по площади с выделяемым инженерно-геологическим регионом.

Тувинский регион соответствует среднепалеозойскому Тувинскому прогибу с прилегающими к нему Тувинской и Убсунурской мезо-кайнозойскими впадинами, т. е. морфоструктурам Центрально-Тувинской, Тоджинской, Танну-Ола и Убсунурской. Здесь развиты палеозойские эффузивно-осадочные и терригенно-осадочные породы, прорванные гранитными интрузиями, а в ряде наложенных мезозойских впадин — дислоцированные угленосные формации юры. Инженерно-геологические особенности региона — значительное развитие пролювиальных и делювиально-коллювиальных шлейфов у подножий склонов, значительные площади развееваемых песков во впадинах, высокая сейсмичность (>7 баллов), островное развитие многолетней мерзлоты.

Горно-Алтайский регион представляет собой крупный мегантиклинорий, в строении которого участвуют массивы допалеозойских пород, геосинклинальные образования палеозоя и выполненные орогенными формациями прогибы. Формирование его произошло в результате многоэтапного геосинклинального развития в палеозое: седиментационные циклы завершались фазами складчатости, проявившимися в среднем кембрии, раннем ордовике, силуре, среднем и верхнем девоне. Каждый из этапов сопровождался интрузивными циклами, приведшими к созданию кембрийских гипербазитовых поясов, салаирского, каледонского и раннегерцинского (девонского) гранитоидных комплексов. В результате возникло несколько структурно-фациальных зон, образованных на разных этапах кале-

донского и герцинского тектогенеза, разделенных глубинными разломами и отличающихся различными сочетаниями слагающих их формаций горных пород. Преимущественным развитием в Горно-Алтайском регионе пользуются породы метаморфической флишеидной, терригенной, терригенно-карбонатной и карбонатной формаций раннего палеозоя и среднепалеозойских эффузивно-осадочной, эффузивной и терригенной формаций, образующие несколько структурных этажей. Горный Алтай — типичная высокогорная складчатая страна с современным оледенением, молодым эрозионно-денудационным рельефом, глубокими речными врезами.

Западно-Саянский регион представляет собой асимметричный каледонский мегантиклинорий, включающий Джебашский и Куртшубинский антиклинории и Центрально-Саянский синклинорий, частично разрушенный последующими сводово-глыбовыми поднятиями, приведшими к образованию современной морфоструктуры Западного Саяна. В его строении доминируют многокилометровые толщи терригенных метаморфизованных пород от позднего протерозоя до силура, сложнодислоцированных, разбитых многочисленными разрывными нарушениями. Регион характеризуется высокой, до 8-ми баллов, сейсмичностью. Горный, глубоко и резко расчлененный рельеф преобладает, но сохранились и крупные останцы древней поверхности выравнивания, покрытые щебнисто-глыбовым элювием.

Колывань-Томский регион соответствует прогибу, завершившему свое формирование в герцинскую складчатую эпоху, на месте которого в мезозое возникла положительная морфоструктура, вытянутая по простиранию древних складчатых сооружений, испытывавшая давление со стороны Западно-Сибирской платформы и наведенная на структуры примыкающей с юго-востока Кузнецкой впадины. Главное место в его строении занимают породы угленосной, терригенной и залегающей в их основании эффузивной формаций. Коренные породы перекрыты сплошным покровом лёссовых грунтов, инженерно-геологические особенности которых являются определяющими при всех видах массового строительства.

Кузнецкий регион соответствует одноименной морфоструктуре — котловине, сформированной на месте девонского прогиба, выполненного угленосными формациями верхнего палеозоя и мезозоя и испытывавшего во второй половине мезозоя сжатие со стороны Салаира и Томь-Колываньской дуги. В его строении преобладают моноклинали, пологие и крутые брахиформные складки, в подчиненном количестве распространены линейные складчатые и складчато-разрывные структуры. Инженерно-геологический облик региона определяется требованиями угледобывающей промышленности, повсеместным изменением ландшафтов, гидрогеологических условий, физико-механических свойств грунтов.

Минусинский регион отвечает раннепалеозойскому межгорному прогибу того же наименования, выполненному в позднем палеозое и мезозое молассаами и молассоподобными толщами, краевые его части сложены вулканогенно-осадочными породами быскарской се-

рини девона, центральные — осадочными прочносцементированными породами среднего и верхнего палеозоя, а в наложенных мезо-кайнозойских впадинах — юрскими угленосными и разнообразными кайнозойскими отложениями. Девонские и каменноугольные отложения смяты в пологие брахискладки, юрские породы образуют пологие мульды. Обширные площади покрыты четвертичными осадками различного генезиса. С юга на север пролювиально-аллювиальные песчаные отложения и лёссовые водноледниковые грунты сменяются существенно глинистыми накоплениями озерно-аллювиального генезиса.

Раздел II РЕГИОНАЛЬНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА

ГЛАВА 4 СЯНО-САНГИЛЕНСКИЙ РЕГИОН

Саяно-Сангиленский инженерно-геологический регион 2-го порядка, занимающий восточную часть описываемой территории (см. рис. 3.1) представляет собой сочетание хребтов и плоскогорий, образующих морфоструктуры Восточного Саяна (без западного окончания), Сангилену и восточной части хр. Академика Обручева.

Хребты Восточного Саяна, вытянутые в северо-западном направлении, наиболее высокие на крайнем востоке (Мунку-Сардык — 3284 м, Китойские и Туинские гольцы до 3260 м) и в центральной части горной системы (пик Топографов — 3044 м), в направлении на северо-запад понижаются в Канском Белогорье до 2—2,3 тыс. м, а в Манском Белогорье до 1,5—1,6 тыс. м. Одновременно происходит смена крутосклонного альпийского рельефа более сглаженным, иногда плосковершинным, рельефом. В высокогорных районах часто встречаются ледники. В восточной части Восточного Саяна располагается расчлененное полого наклонное на север Окинское плоскогорье с высотами 2—1,5 км. Для склонов окаймляющих гор характерен ступенчатый рельеф. В целом Восточный Саян представляет собой сводовое поднятие, несколько «перекошенное» в направлении с востока на запад и разбитое на блоки, образующие в рельефе ярусное чередование плоскогорий.

Хр. Академика Обручева отделяет Тоджинскую котловину от морфоструктур Сангилену. Это система горных хребтов, возвышающихся до 2895 м, с крутыми изрезанными склонами.

Сангиленская морфоструктура состоит из двух частей. Северная — Каахемское нагорье — сильно расчлененная среднегорная страна с высотами 1800—2500 м. Южная часть — Сангиленское плато — глубоко расчлененное плоскогорье, слабо наклоненное на

север. На его поверхность на 500—1000 м возвышаются отдельные хребты и одиночные горные вершины высотой до 3000 м. Часты здесь каменные столбы высотой до 15—20 м — останцы выветривания.

Все реки региона относятся к бассейну р. Енисея. Долины их ограничены, как правило, крутыми склонами высотой в десятки метров. В узких ущельях они имеют V-образный характер, на Сангиле не часто имеют вид каньонов с отвесными стенками. В более широких долинах развиты поймы, а иногда и низкие террасы, прикрытые в тыловых частях осыпями.

В целом Саяно-Сангиле некий регион представляет собой наиболее древнюю часть Алтае-Саянской горной страны, которая практически непрерывно, начиная с кембрия, испытывала преобладающие восходящие движения, постоянно оставаясь сушей и столь же постоянно подвергаясь денудации. Формирование различных морфоструктур в его пределах произошло за счет дифференциации блоковых подвижек.

Саяно-Сангиле некий регион отличается суровым климатом: длительной малоснежной зимой и жарким летом, в течение которого выпадает основная масса осадков. Среднегодовые температуры воздуха всюду отрицательны (-2° ... -8° C).

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Саяно-Сангиле некий регион характеризуется неоднородным мозаичным тектоническим строением, наиболее отчетливо проявленном в разделении его на две части — две протяженные складчатые дуги. Северная — Восточно-Саянская дуга выделяется выдержанным северо-западным простиранием слагающих ее структур, напряженным планом внутренних структур, часто изоклиальной складчатостью, вергентностью. Южная — Хамар-Дабан — Сангиле некая складчатая дуга имеет невыдержанное общее простирание и переменное простирание локальных структур (на Сангиле не — северо-восточные, северо-западные и субширотные), полнонапряженную складчатость в одних районах и идиоморфную в других, вергентность отсутствует. На сочленении этих ветвей часть изометричные структуры.

Крупнейшие структурные элементы Саяно-Сангиле некого региона — Восточно-Саянский антиклинорий, расположенный на севере и, примыкающие к нему с юга Окнянский, Ильчирский и Иркутский синклинории и Бийхемский антиклинорий, имеющие в плане форму овала. В регион входят также Прибайкальский антиклинорий, Манский, Сисимский и Кизир-Казырский синклинории, а также несколько антиклинальных и синклинальных структур, образующих Сангиле некое нагорье.

Характерная черта региона — участие в его строении крупных блоков-глыб архей-протерозойского возраста. Важное инженерно-геологическое значение имеют глубинные разломы, крупнейшими из которых являются Главный Восточно-Саянский и Восточно-Саянский. Многие разломы контролируют размещение разновозрастных гранитоидов и вулканитов, а также орогенных структур. Так,

Главный Восточно-Саянский разлом, как и опережающие его нарушения, контролирует размещение большого количества раннекаледонских и герцинских массивов щелочных и субщелочных гранитоидов, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов. Вдоль глубинных разломов происходили горизонтальные смещения крупных блоков земной коры. Например, левосторонние сдвиги и надвиги установлены вдоль Главного Восточно-Саянского разлома.

Саяно-Сапгиленский регион практически нацело сложен геосинклиналиными формациями — метаморфической гнейсовой архей-раннепротерозойской и метаморфической вулканогенно-терригенно-карбонатной протерозойской, а также магматическими (интрузивными и эффузивными) формациями. Ограниченно развиты орогенные формации — молассовая нижнекембрийская, карбонатная нижнекембрийская, молассовая красноцветная кембро-ордовикская, терригенно-карбонатная, ордовик-силурийская и вулканогенно-терригенная девонская. Породы этих формаций в неветрелом и ненарушенном состоянии характеризуются весьма высокими значениями показателей физико-механических свойств и относятся к высокопрочным и прочным скальным грунтам. Их поведение во взаимодействии с инженерными сооружениями определяется тектонической нарушенностью, трещиноватостью и выветрелостью, а для карбонатных толщ — закарстованностью.

Метаморфическая гнейсовая архей-раннепротерозойская формация залегает в структурах северо-западной ориентировки — Шарыжалгайском выступе, Бельско-Китойской и Гарганской глыбах. Она представлена роговообманковыми, пироксен-роговообманковыми, двупироксеновыми и другими гнейсами, амфиболитами, а также мраморами, кальцифирами, чарнокитами (Шарыжалгайская серия). Все породы формации обладают высокой прочностью (сопротивление сжатию гнейсов превышает $1200 \cdot 10^5$ Па), а устойчивость их в массиве обусловлена степенью их тектонической раздробленности и выветрелости, часто весьма значительными.

Метаморфическая вулканогенно-терригенно-карбонатная формация протерозоя состоит, по существу, из двух близких по составу формаций: раннепротерозойской и позднепротерозойской, имеющих примерно равную мощность в 8—9 км каждая. Нижняя — раннепротерозойская часть формации (дербинская серия) в средней и северной частях Восточного Саяна представлена толщей графитистых мраморов, кварцитов, иногда амфиболитов и биотитовых гнейсов, которые вверх по разрезу сменяются углеродистыми кремнистыми и кварц-известковистыми сланцами, а затем филлитовыми сланцами, слюдястыми песчаниками, известняками и филлитизированными известково-глинистыми сланцами. Метаморфизм этой части формации отвечает гранулитовой, амфиболитовой и, в меньшей степени, зеленосланцевой фациям. Выше залегают преимущественно вулканогенные формирования — порфириты и туфы, пересланцающиеся с известняками, углеродистыми, кремнистыми и известково-глинистыми сланцами с прослоями железистых кварцитов; для этой части формации наиболее характерен мета-

морфизм зелено-сланцевой и эпидот-амфиболитовых стадий. На Сангилене это толща однородных графитистых крупно- и среднезернистых мраморов, перекрытая толщей переслаивающихся графитистых мраморов, бескарбонатных гнейсов, биотитовых и серпичитовых сланцев, кварцитов (чартысская свита мощностью 3 км).

Верхняя — позднепротерозойская — часть этой формации выступает на поверхность в антиклинорных зонах и в относительно устойчивых массивах — блоках. В ее основании часто залегают конгломераты, гравелиты, сменяющиеся песчаниками. Выше доминируют карбонатные породы — мраморизованные известняки, слюдисто-карбонатные, известковые и филлитовидные сланцы, которые в удалении от выступов более древнего фундамента сменяются слюдисто-кварцевыми сланцами и кварцитами. Эти породы вверх по разрезу постепенно замещаются вулканитами, сначала чередующимися с песчаниками, а затем доминирующими в разрезе; преобладают зеленокаменно измененные базальтовые, андезит-базальтовые и риолит-дацитовые лавы и их туфы. Породы формации относятся к классу скальных грунтов, но их поведение в массивах различно: разнообразные сланцы легко выветриваются, образуя на склонах мощные подвижные осыпи, по которым формируются узкие крутые промоины, а кварциты и песчаники имеют массивное сложение, выветриваются плохо, для них характерны крупноглыбовые обрушения на склонах.

В направлении на юго-запад роль мраморов в составе вулканогенно-терригенно-карбонатной формации возрастает и ее место в разрезе занимает метаморфическая карбонатная формация протерозоя, состоящая на 80—100 % из мраморов, мраморизованных известняков и доломитов. Эта формация наиболее характерна для Сангилена (нарынская свита), но она встречается и в других частях региона. Массивные мраморы, образующие в разрезе километровые, а иногда многокилометровые пачки, часто обладают крупнокристаллическим строением, содержат чешуйки графита. Иногда они разобцены пачками мелкокристаллических мраморов или пачками рассланцованных кристаллических известняков, карбонатных или графитисто-кремнистых сланцев мощностью 30—600 м, значительно реже встречаются прослойки мощностью не более 60 м измененных пород спилито-диабазового состава, сливных кварцитов, гнейсов или кварц-слюдистых сланцев.

В некоторых районах в верхах формации обособляются толщи мощностью до 2—3 км, отличающиеся меньшей степенью метаморфизма карбонатных пород и сложенные преимущественно мраморизованными известняками, битуминизированными известняками и доломитами, местами чередующимися с гнейсами или сланцами или различными амфиболитизированными породами. В целом для формации характерно преобладание сравнительно простых куполовидных складок, но в некоторых местах, например на Сангилене, можно встретить чередование мелких (сотни метров) складок с крутым падением крыльев. Суммарная мощность формации достигает 3—5 км.

Главный Восточно-Саянский разлом, как и оперяющие его нарушения, контролирует размещение большого количества раннекаледонских и герцинских массивов щелочных и субщелочных гранитоидов, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов. Вдоль глубинных разломов происходили горизонтальные смещения крупных блоков земной коры. Например, левосторонние сдвиги и надвиги установлены вдоль Главного Восточно-Саянского разлома.

Саяно-Саяно-Саянский регион практически нацело сложен геотектоническими формациями — метаморфической гнейсовой архей-раннепротерозойской и метаморфической вулканогенно-терригенно-карбонатной протерозойской, а также магматическими (интрузивными и эффузивными) формациями. Ограниченно развиты орогенные формации — молассовая нижнекембрийская, карбонатная нижнекембрийская, молассовая красноцветная кембро-ордовикская, терригенно-карбонатная, ордовик-силурийская и вулканогенно-терригенная девонская. Породы этих формаций в невыветренном и ненарушенном состоянии характеризуются весьма высокими значениями показателей физико-механических свойств и относятся к высокопрочным и прочным скальным грунтам. Их поведение во взаимодействии с инженерными сооружениями определяется тектонической нарушенностью, трещиноватостью и выветрелостью, а для карбонатных толщ — закарстованностью.

Метаморфическая гнейсовая архей-раннепротерозойская формация залегает в структурах северо-западной ориентировки — Шарыжалгайском выступе, Бельско-Китойской и Гарганской глыбах. Она представлена роговообманковыми, пироксен-роговообманковыми, двупироксеновыми и другими гнейсами, амфиболитами, а также мраморами, кальцифирами, чарлокитами (Шарыжалгайская серия). Все породы формации обладают высокой прочностью (сопротивление сжатию гнейсов превышает $1200 \cdot 10^5$ Па), а устойчивость их в массиве обусловлена степенью их тектонической раздробленности и выветрелости, часто весьма значительными.

Метаморфическая вулканогенно-терригенно-карбонатная формация протерозоя состоит, по существу, из двух близких по составу формаций: раннепротерозойской и позднепротерозойской, имеющих примерно равную мощность в 8—9 км каждая. Нижняя — раннепротерозойская часть формации (дербинская серия) в средней и северной частях Восточного Саяна представлена толщей графитистых мраморов, кварцитов, иногда амфиболитов и биотитовых гнейсов, которые вверх по разрезу сменяются углеродистыми кремнистыми и кварц-известковистыми сланцами, а затем филлитовыми сланцами, слюдяными песчаниками, известняками и филлитизированными известково-глинистыми сланцами. Метаморфизм этой части формации отвечает гранулитовой, амфиболитовой и, в меньшей степени, зеленосланцевой фациям. Выше залегают преимущественно вулканогенные формирования — порфириты и туфы, переслаивающиеся с известняками, углеродистыми, кремнистыми и известково-глинистыми сланцами с прослоями железистых кварцитов; для этой части формации наиболее характерен мета-

морфизм зелено-сланцевой и элидот-амфиболитовых стадий. На Сангилене это толща однородных графитистых крупно- и среднезернистых мраморов, перекрытая толщей пересланцающихся графитистых мраморов, бескарбонатных гнейсов, биотитовых и серицитовых сланцев, кварцитов (чартысская свита мощностью 3 км).

Верхняя — позднепротерозойская — часть этой формации выступает на поверхность в антиклинорных зонах и в относительно устойчивых массивах — блоках. В ее основании часто залегают конгломераты, гравелиты, сменяющиеся песчаниками. Выше доминируют карбонатные породы — мраморизованные известняки, слюдяно-карбонатные, известковые и филлитовидные сланцы, которые в удалении от выступов более древнего фундамента сменяются слюдяно-кварцевыми сланцами и кварцитами. Эти породы вверх по разрезу постепенно замещаются вулканитами, сначала чередующимися с песчаниками, а затем доминирующими в разрезе: преобладают зеленокаменно измененные базальтовые, андезитобазальтовые и риолит-дацитовые лавы и их туфы. Породы формации относятся к классу скальных грунтов, но их поведение в массивах различно: разнообразные сланцы легко выветриваются, образуя на склонах мощные подвижные осыпи, по которым формируются узкие крутые промоины, а кварциты и песчаники имеют массивное сложение, выветриваются плохо, для них характерны крупноглыбовые обрушения на склонах.

В направлении на юго-запад роль мраморов в составе вулканогенно-терригенно-карбонатной формации возрастает и ее место в разрезе занимает метаморфическая карбонатная формация протерозоя, состоящая на 80—100 % из мраморов, мраморизованных известняков и доломитов. Эта формация наиболее характерна для Сангилена (нарынская свита), но она встречается и в других частях региона. Массивные мраморы, образующие в разрезе километровые, а иногда многокилометровые пачки, часто обладают крупнокристаллическим строением, содержат чешуйки графита. Иногда они разобщены пачками мелкокристаллических мраморов или пачками рассланцованных кристаллических известняков, карбонатных или графитисто-кремнистых сланцев мощностью 30—600 м, значительно реже встречаются прослои мощностью не более 60 м измененных пород спилито-диабазового состава, сливных кварцитов, гнейсов или кварц-слюдяных сланцев.

В некоторых районах в верхах формации обособляются толщи мощностью до 2—3 км, отличающиеся меньшей степенью метаморфизма карбонатных пород и сложенные преимущественно мраморизованными известняками, битуминизированными известняками и доломитами, местами чередующимися с гнейсами или сланцами или различными амфиболитизированными породами. В целом для формации характерно преобладание сравнительно простых куполовидных складок, но в некоторых местах, например на Сангилене, можно встретить чередование мелких (сотни метров) складок с крутым падением крыльев. Суммарная мощность формации достигает 3—5 км.

Орогенные формации нижнепалеозойского структурного этажа развиты главным образом в северо-западной части региона — в Манском наложенном синклинии и Агульско-Удинском прогибе.

Молассовая формация нижнего кембрия (койская и агастьянская свиты) в Манском прогибе представлена мощной (до 3,8 км) толщей переслаивающихся мелко- и среднегалечных конгломератов, граувакковых песчаников, глинистых и слюдисто-песчаных сланцев с прослоями кварцитов, доломитов и песчаных известняков. Преобладают высокопрочные породы, выветрелые, как правило, незначительно: мощность выветрелых пород обычно измеряется первыми метрами. На Саягиленском нагорье эта формация представлена преимущественно сильно выветрелыми крупногалечными конгломератами, имеющими мощность всего в десятки метров.

Карбонатная нижнекембрийская формация мощностью около 2,2 км слагает центральную часть Манского синклиория. Это переслаивание глинистых, мергелистых и доломитистых известняков и доломитов с прослоями глинистых сланцев, алевролитов, мергелей. Преобладают высокопрочные, но сильно закарстованные породы. На Саягилене аналог этой формации — вулканогенно-карбонатная формация кембрия.

Красноцветная верхнекембрийско-ордовикская формация развита как по окраинам Манского прогиба, так и в узкой полосе вдоль центральной части Восточного Саяна (Агульско-Удинский прогиб). Это толща чередующихся крепких песчаников и конгломератов.

Терригенно-карбонатная ордовик-силурийская формация встречается лишь в локальных прогибах, например в Окинском. Это толща серых и черных карбонатных, глинистых, а иногда углеродистых сланцев и филлитов, переслаивающихся с черными известняками и преобладающими в верхах разреза кремнистыми породами. Местами присутствуют кислые эффузивы, их туфы и фосфориты.

Вулканогенно-терригенная девонская формация распространена преимущественно на северо-западе Восточного Саяна, где она имеет, как правило, трехчленное строение. Формация очень близка к аналогичной формации примыкающего с запада Минусинского региона, где она изучена значительно лучше (см. гл. 12).

Магматические формации региона представлены прежде всего гранитоидами различного возраста (докембрийскими, среднепалеозойскими), слагающими как крупные батолиты, так и различной формы (штоки, жилы и т. д.) мелкие интрузии. Среди них встречаются гнейсовидные, крупно- и мелкокристаллические граниты, гранодиориты, диориты, граносениты, аплиты, пегматиты. К зонам разломов приурочены пласты, штоки и дайки габбро-перидотитового ряда — серпентиниты, перидотиты, пироксениты, габбро-нориты, в подчиненном количестве амфиболиты, дуниты. Наиболее прочные среди них — мелкокристаллические интрузивные породы, не подвергшиеся гидротермальным изменениям, вре-

менное сопротивление сжатию неизменных гранитоидов составляет $(1000 \div 1300) \cdot 10^5$ Па. При инженерно-геологической оценке гранитоидных массивов важное значение имеет их строение на контактах с вмещающими породами. Для докембрийских гранитоидов характерны тектонические контакты с обширными зонами повышенно трещиноватых пород; палеозойские массивы имеют, как правило, нормальные интрузивные контакты, с ореолами прочных роговиков.

Кайнозойский структурный этаж представлен вулканогенными неоген-четвертичными образованиями, различными типами склоновых формирований, аллювиальными, озерными и ледниковыми отложениями.

Вулканогенные образования неоген-четвертичного возраста широко развиты в пределах Окинского нагорья и в прилегающих к нему районах. Они представлены преимущественно базальтами, часто имеющими многослойное строение, с прослоями туфов, туфопесчаников суммарной мощностью до 300 м. Преобладают плитчатые, часто ноздреватые базальты. На поверхности плато размещаются глыбовые элювиальные россыпи мощностью в несколько метров, а в основании крутых склонов — нагромождения обвалившихся глыб.

Аллювиальные отложения распространены ограниченно, но имеют важное значение, так как к долинам рек приурочены наибольшие объемы строительства, главные дороги, линии связи. Мощность аллювия по наиболее крупным рекам превышает 10 м, а во впадинах может достигать 100—200 м. В составе аллювия преобладают грубые образования — галечно-валунные и гравийно-галечные.

Делювиальные, осыпные, обвальные и другие типы склоновых образований распространены практически повсеместно, как и элювиальные образования на водоразделах. Чаще всего они представлены различными сочетаниями грубообломочного материала (глыб, щебня, дресвы) с подчиненным количеством песков, супесей и суглинков. В ряде случаев, что наиболее характерно для делювиальных шлейфов, суглинки могут доминировать в составе пород, а мощность отложений превышать 20 м.

Ледниковые отложения, главным образом морены, встречаются спорадически. Как правило, это песчано-валунные неслоистые образования, максимальные мощности которых достигают 150 м, но обычно близки к 5—10 м. Следует отметить также неоген-раннеплейстоценовые озерные отложения, которые известны в Терехольской и Бусингольской впадинах: это иловатые суглинки с прослоями пылеватых песков мощностью 50—120 м. Озерные отложения, как более древние, так и современные иногда обладают плывунными свойствами. На плоских водоразделах и междуречьях Восточного Саяна часто встречаются болотные отложения, содержащие как слабо, так и хорошо разложившийся торф.

Мерзлотно-геологические условия. Большая часть Саяно-Сангиленского региона занята многолетнемерзлыми породами. Они

имеют сплошное распространение на высоких хребтах, плато и водоразделах (рис. 4.1). Максимальные мощности криолитозоны (многолетнемерзлых, морозных и охлажденных пород) 400—600 м, а может быть и более, относятся к наиболее высоким хребтам Восточного Саяна, хр. Академика Обручева и нагорью Сангилен. На участках, где криолитозона достигает максимальных мощностей, температура горных пород на нижней границе зоны сезонных колебаний может составлять $-7 \div -9$ °С или быть более низкой. Одновременно с уменьшением мощности криолитозоны, но не пропорционально этому уменьшению, температура горных пород повышается и в районах островного развития мерзлых пород находится в пределах $+1 \div -1$ °С.

Многочисленные скважины в районе Боксонских месторождений показали, по данным Сковрцова, что мощность криолитозоны в долинах рек составляет 150—180 м, а на междуречьях — 170—190 м, т. е. возрастает к водоразделам незначительно. Бурение же в районе Зун-Холбинского месторождения (Китойские гольцы), как сообщает Л. Н. Соловьева, показало, что в долинах рек с отметками около 2000 м мощность криолитозоны составила 150 м, в нижней части юго-восточного склона на высотах 2145—2280 м она изменяется от 150 м до 200 м, а под вершиной гольца на высоте 2350 м составляет 400 м, т. е. заметно увеличивается с высотой.

Более отчетливо прослеживается зависимость строения криолитозоны от экспозиции склонов: на северных склонах мощность ее больше, чем на южных, а температура пород на тех же абсолютных отметках ниже.

Следует отметить, что нагорные болота, часто встречающиеся на выровненных водоразделах и плоскогорьях, расположенных значительно ниже главнейших хребтов региона, приурочены, как правило, к глубоко промерзшим породам.

Имеются указания на зависимость мощности криолитозоны от состава пород. Так, по данным Г. Г. Сковрцова, на междуречных пространствах, сложенных доломитами и известняками, на высоте 1900 м мощность ее составила 170—190 м, а на тех же высотах под покровами базальтов достигала 200 м и более.

Сезонное промерзание и оттаивание горных пород — характерные явления для всего региона. Промерзание начинается в основном в октябре, а оттаивание сезонно-мерзлого слоя и протаивание многолетнемерзлых пород в апреле. Мощность сезонно-мерзлого слоя в долинах и на пологих склонах с рыхлым покровом на западной окраине Сангилена оценивается в 1,1—5 м, более грубые отложения промерзают на большую глубину. Озерные песчаные отложения с включением гравия и дресвы в Терехольской котловине промерзают на 5—6 м. Мощность сезонного слоя в многолетнемерзлых породах может измеряться несколькими сантиметрами, а также достигать 3—4 м. По данным С. В. Концова, в бассейнах рек Агула, Гутары, Большой Бируссы она возрастает на южных, крутых ($25-30^\circ$) и хорошо дренированных склонах и уменьшается на северных склонах и плоских водоразделах.

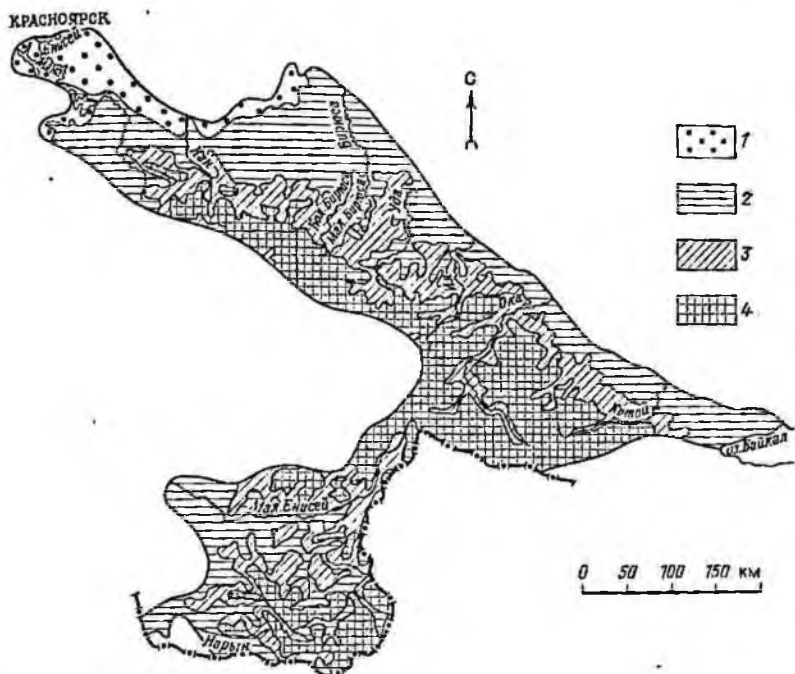


Рис. 4.1. Схема распространения многолетнемерзлых пород Саяно-Сангиенского региона (составил Л. И. Розенберг на основе, подготовленной Н. И. Труш): Районы: 1 — сезонного промерзания горных пород, развития перелетков и редких островов многолетнемерзлых пород; 2 — островного развития многолетнемерзлых пород; 3—4 — прерывистого и сплошного развития многолетнемерзлых и морозных пород

Особенности гидрогеологического строения региона в значительной мере обусловлены ее криогенными условиями. В районах сплошного и прерывистого развития многолетнемерзлых пород в рыхлых отложениях встречаются надмерзлотные воды, существование которых связано с развитием сезонно-талого слоя; с ними могут быть связаны малодобитные источники, носящие сезонный характер. В районах отсутствия многолетнемерзлых пород или их островного развития с четвертичными и неогеновыми отложениями связаны маломощные (3—15 м, в межгорных впадинах до 75 м) горизонты поровых безнапорных вод, залегающие на глубине 1—10 м. Под островами мерзлоты они могут приобретать местные напоры; удельные дебиты скважин составляют 0,1—2,5, дебиты родников 0,01—8 л/с (преобладают 0,1—1 л/с). Воды гидрокарбонатные кальциевые, реже магниевые-кальциевые и натриево-кальциевые с минерализацией до 1 г/л, надмерзлотные воды гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией 0,1—0,3 г/л.

К метаморфическим и магматическим породам приурочены трещинные воды, развитые до глубины 100—150 м, трещинно-карстовые — до глубины 230—300 м, трещинно-жилльные — до глубины

600 м, возможно и более. Трещинно-жилые и трещинно-карстовые воды под многолетнемерзлыми породами имеют напоры от 2—10 до 50—150 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 1—50 м, в понижениях рельефа могут располагаться на 3—5 м выше поверхности земли. Удельные дебиты скважин 0,01—1 л/с, а в карстованных породах, зонах разломов и на контактах с интрузиями до 10 л/с, дебиты источников соответственно от 1—6 до 50—600 л/с. С гранитами связаны ультрапресные воды гидрокарбонатного натриевого состава. К разломам приурочены источники с минерализацией до 1,6 г/л и с повышенным содержанием сульфатов и хлоридов, а к глубинным разломам — термальные воды с минерализацией 0,3—0,6 г/л кремнисто-сероводородные, сульфатно-гидрокарбонатные, натриевые, с температурой 10—84 °С. Дебиты скважин на курорте Уш-Бельдир 8—73 л/с.

В криогеологических массивах верхняя грешниоватая зона выветривания проморожена и практически безводна. Подземные воды в них встречаются в подруловых, подозерных и приразломных таликах. На Окинском плато подмерзлотные воды вскрыты скважинами в карбонатных породах нижнего палеозоя на глубине 170—180 м; воды напорные, максимальные напоры 180—188 м установлены в речных долинах, где скважины часто фонтанируют. В долинах рек Боксона, Дибби, Китоя, Оки и других постоянно действующие восходящие источники подмерзлотных вод имеют дебиты до 200—300 л/с, в местах их выходов зимой образуются огромные наледы; температура вод в течение года остается постоянной (1,5—2,5°).

Подмерзлотные воды связаны с поверхностными через сквозные подруловые и подозерные талики, являющиеся путями их питания и разгрузки. Сквозные талики отмечены также вдоль зон молодых тектонических нарушений: в их пределах встречаются высокодебитные (до 1000 л/с) источники минеральных и термальных гидрокарбонатных натриевых вод с минерализацией до 3 г/л. Таковы источники Холон-Узун (+29°), Аршан-Хойтогол (+34°) и другие, расположенные в краевой части Окинского плато.

Современные геологические процессы и явления. Развитие геологических процессов и явлений в Саяно-Сангиленском регионе контролируется многочисленными факторами (геологическим строением, гидрогеологическими и климатическими особенностями и т. д.), но ведущими среди них являются криогенное строение территории и характер рельефа. Саяно-Сангиленский регион — территория повышенной сейсмической опасности. Только на самом его северо-западе имеются районы, сила возможных землетрясений в которых не превышает 5 баллов. В направлении на юг и юго-восток возрастает возможная частота и интенсивность землетрясений, достигающая в районе хр. Большой Саян и на востоке Сангиленского нагорья 9 баллов и более (рис. 4.2).

Наибольшую опасность по своей разрушительной силе представляют лавины, широко, но неравномерно распространенные на Восточном Саяне. Наиболее лавиноопасны центральные части Во-

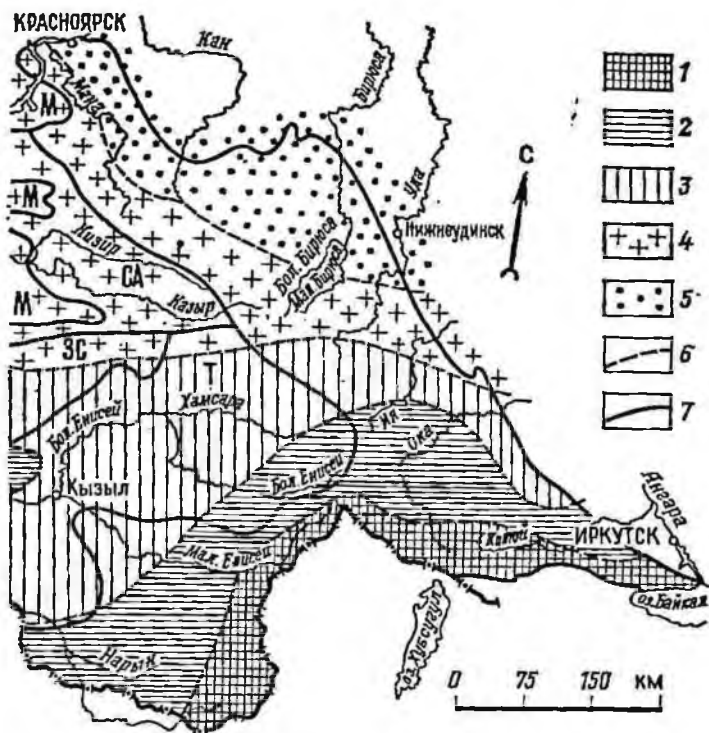


Рис. 4.2. Схема сейсмического районирования Саяно-Саингенского региона и прилегающих частей Минусинского (М), Саяно-Алатауского (СА), Западно-Саянского (ЗС) и Тувинского (Т) регионов (составлена на основе карты сейсмического районирования, 1983 г.):

Зоны вероятных землетрясений с интенсивностью в баллах: 1—9 и более; 2—8; 3—7; 4—6; 5—6 и менее; 6—примерные границы зон; 7—границы инженерно-геологических регионов

сточного Саяна, наибольшее число лавин приурочено к южным и юго-восточным склонам и сильно расчлененному высокогорью с узкими гребнями и крутыми склонами (рис. 4.3). В среднегорье чаще встречаются участки со средней лавинной опасностью.

В районах сильной лавинной опасности более половины логов и долин представляют собой пути схождения лавин, причем наиболее мощные лавины характерны для выветрелых и увлажненных склонов, объем лавин изменяется от 2 до 100 тыс. м³, иногда достигает больших величин, а сход их возможен осенью, зимой и весной. В районах средней лавинной опасности менее половины логов являются путями схода лавин. Если такая сеть редка, лавины сходят лишь в годы с повышенной снежностью, объем их обычно не превышает 1 тыс. м³, а сход происходит зимой и весной. В районах слабой лавинной опасности лавиноопасны лишь небольшие участ-



Рис. 43. Схема лавинной опасности Саяно-Сагилденского региона и прилегающих частей Алтае-Саянской горной страны (составлена на основе карты лавинно-опасных районов СССР масштаба 1:7 500 000 под редакцией Г. К. Тушинского, 1971):

Районы лавинной опасности: 1 — значительной, с густой лавинной сетью и ежегодным сходом лавин; 2 — средней, с разреженной лавинной сетью, где лавины сходят не ежегодно; 3 — слабой, в которых отдельные лавины сходят в многоснежные годы. Остальная территория не лавинноопасна

ки в наиболее крутых частях склонов подветренных экспозиций и пригребневые части хребтов, где лавины сходят только в многоснежные годы, объем их не превышает 100 м^3 .

Лавины эродировать склоны, формируют гигантские прямолинейные «просеки» в лесах, покрывающих склоны, сносят в долины рек огромное количество снего-каменной массы, перемешанной с древесной растительностью. В результате на отдельных участках ручьи и небольшие реки оказываются погребенными под грубообломочным материалом и протекают здесь, выходя на поверхность лишь при паводковом подъеме воды. Развитию лавин способствуют сведение лесов, подрезка склонов, взрывные работы.

Селеопасны многие районы Восточного Саяна, в большинстве случаев те же, которые считаются лавинноопасными. Распространены сели значительно реже, чем лавины и изучены много хуже. Часто сели сходят по тем же путям, что и лавины. Наиболее вероятными накопителями воды здесь являются морены и солифлюкционные отложения, а наиболее селеопасны долины рек и ручьев на

крутых склонах хребтов со скоплениями грубообломочного материала, лишенные древесной растительности. Часты сели, первопричиной которых служат обвалы, перекрывающие русла рек, в результате чего возникают крупные подпрудные озера. Прорыв таких плотин высвобождает огромные массы воды, а обломки пород, слагающих эти плотины, служат твердой составляющей селевых потоков. В бассейнах рек, стекающих с Восточного Саяна на север, один раз в 5—10 лет отмечаются дождевые паводки, переходящие в селевые потоки. К районам с сильной селевой опасностью относятся южные склоны хребтов Окинского, Джуглымского, Кропоткина, Тункинские гольцы и Агульские Белки. Селопасными здесь считается более 50 % врезов долин, а катастрофические сели повторяются раз в 15—20 лет.

Обломочный материал, вовлекаемый в лавинные и селевые процессы, как и для описанных ниже курумов, создается в значительной мере в результате морозного выветривания и морозобойного растрескивания. *Морозное выветривание* повсеместно развито в гольцовых районах. Этим процессом практически полностью охвачен весь нивальный и гольцовый пояс, т. е. не менее 30 % территории региона. Скорость морозного выветривания сокращается на больших высотах, где отрицательные температуры сохраняются большую часть года, и на высотах менее 900 м, где породы охлаждаются ниже 0° реже. На Восточном Саяне в зависимости от экспозиции склонов в результате морозного выветривания на склонах южной экспозиции формируются 2,5 кг/м² обломочного материала, на восточных склонах 2,3, на западных 1,5, а на северных 0,6 кг/м². По тем же данным за счет морозного выветривания за год в гольцовой зоне образуется 0,7—2,6 кг обломочного материала с 1 м², в высокогорье 0,8—2,4 кг, в лесной зоне 0,9—3 кг [40]. Большой диапазон приведенных величин связан со степенью тектонической трещиноватости горных пород, их структурой и текстурой, литологией. В результате морозного выветривания формируются криогенный элювий, щебнисто-глыбовые россыпи, образуются нагорные террасы.

Солифлюкция развита на водоразделах и склонах крутизной до 20°, наиболее активно проявляется на высотах 1400—2500 м. В результате медленного солифлюкционного течения грунтов образуются оплывины, создающие микроступенчатость склонов. Крупные, длительно развивающиеся оплывины, переходят в солифлюкционные террасы, полностью сложенные рыхлым материалом и имеющие ширину 5—50 м, длину до 100—200 м при высоте уступа 1—2, редко 5—12 м. В гольцовом поясе солифлюкционные террасы имеют обычно подково- или языкообразную форму и четкие очертания, а в лесном поясе приобретают расплывчатую форму. Скорость смещения материала, слагающего террасы, не превышает 3—5 см/год [40]. Объем сплывов изменяется от десятков до нескольких тысяч кубических метров. Они вызывают перекрытие русел и способствуют образованию селей, приводят к формированию «пьяных» лесов. Наибольшую опасность представляют микросели и со-

лифлюкционно-селевые потоки, зарождающиеся на крутых склонах и не отличающиеся по своему действию от обычных селевых потоков: такие потоки наблюдались в Восточном Саяне [40] и в горах Сангилен.

Курумы занимают около 7—8 % площади склонов гольцового и горно-лесного поясов Восточного Саяна. В гольцовой части они имеют форму широких полей, в лесной поясе — узких каменных потоков. Мощность курумов увеличивается вниз по склону от 1,5—2 до 4—5 м. Центральная их часть обычно сложена более крупными обломками, края и фронтальная части — более мелкими. На глубине 1—2,5 м глыбы и щебень сменяются супесчано-дресвяным слоем, который большую часть года, а иногда и круглый год, находится в мерзлом состоянии. Наибольшая скорость перемещения каменного материала отмечается в средней части курума, а наименьшая — по его краям. В Восточном Саяне на склонах крутизной 40—45° скорость движения в центральной части курумов достигает 145 см/год на склонах в 30°—90, а при уклонах поверхности в 10°—30 см/год. Скорость перемещения обломков в краевых частях курумов в 5—6 раз ниже. Во время землетрясений и длительных ливней возможны катастрофические подвижки курумов, они в таких случаях могут явиться источником формирования селевых потоков. Стабилизированные курумы могут сохраняться в неподвижном состоянии десятки или сотни лет, но могут неожиданно активизироваться и начать движение, приобретая все свойства подвижных курумов.

Каменные глетчеры встречаются в хр. Большой Саян и в районе массива Мунку-Сардык, возможно есть и в других районах. На Большом Саяне они приурочены, как правило, к днищам каров и не выходят за их пределы, имеют форму коротких языковидных выпуклых натеков с утолщенными лопастными концами, ограниченными уступами высотой до 30 м, наклон которых совпадает с углом естественного откоса слагающего их крупнообломочного материала. Каменные глетчеры Мунку-Сардыка вытягиваются на 1—1,5 км и завершаются фронтальным уступом, высота которого может превышать 100 м; приурочены они обычно к поясу гор от орографической снеговой линии вниз на 400—600 м до верхней границы леса, чаще всего встречаются на склонах северной экспозиции, всегда связаны с поясом сплошного развития криолитозоны. В составе каменных глетчеров доминирует крупнообломочный материал, в разрезе встречается погребенный лед. Лед встречается и в пустотах среди обломков пород. Движение каменных глетчеров имеет прерывистый характер, наиболее активны они в период сезонного протавнения.

В высокогорной гольцовой части региона широко развиты обвальоосыпные процессы. *Обвалы* наиболее часто приурочены к крутым склонам каров, цирков, трогов. Обвальные языки, иногда накладываясь друг на друга, образуют системы четких ступеней или гряд с крутыми (40—45°) фронтальными уступами высотой до 30 м и более. Обычно обвалы имеют объем 15—20 м³), но иногда дости-

гают 1000 м³. В районах развития метаморфических и изверженных пород они представлены беспорядочно нагроможденными глыбами размером до нескольких метров в поперечнике, а в области развития сланцевых пород — щебенкой. Чаще всего обвалы происходят весной и летом. Многие из них приурочены к зонам тектонических нарушений. Резко выделяются сейсмогенные обвалы, отличающиеся громадным объемом обвальной массы, достигающим иногда нескольких миллионов кубических метров, а также большим размером глыб. Обвальный материал играет существенную роль в формировании обломочных масс лавин и селей.

Осыпи формируются как в тех же районах, что и обвалы, так и в среднегорье на крутых обнаженных склонах. Они образуют конусы, которые зачастую сливаются в единый шлейф вдоль основания склонов. На подвижных осыпях перемещение обломочного материала происходит в основном в верхних слоях мощностью 1—2 м, а уже на глубине 2,5—3 м обломки пород практически неподвижны. Скорость перемещения материала в осыпных конусах по некоторым данным близка к 8 см/год, а скорость продвижения нижней границы осыпи достигает 15 см/год. При этом осыпи глубоко выдвигаются в долины, нарушая дороги, часто проходящие вдоль долин, отклоняют основные русла долин и участвуют в формировании констративного аллювия. При прохождении по долинам селей они вовлекаются в водный поток, пополняя твердую составляющую левой массы.

Наледи ежегодно образуются на большинстве рек и ручьев региона и в местах выхода на поверхность подземных вод. На днищах широких долин и межгорных котловин образуются наледные поля. Часто наледи образуют цепочки, вытянутые на расстояние до 70 км. Наледи в бассейнах рек Гутары, Уды, Мурхоя, Иркуты, по данным В. Р. Алексеева, имеют длину 0,2—7 км (преобладают 0,5—2 км) при ширине от первых метров до 300 м, площадь 0,3—88 тыс. м², объем 2—1760 тыс. м³, но чаще всего до 250 тыс. м³. Ключевые наледи располагаются в основном в средней части горных склонов и у их подножий, а также по тальвегам оврагов и ушей в местах разгрузки подземных вод и выхода родников и имеют форму извилистых лент, натеков, небольших террас, уступов, лопастей, на крутых склонах приобретающих всяческий характер, а в ущельях образующих ледяные каскады. Средняя мощность речных и ключевых наледей на высотах ниже 1000 м близка к 1 м, максимальная 2,4 м, на высотах 1000—2300 м — 2 м, максимальная 10,6 м, относительная наледность, объем и мощность льда наиболее велики на высотах 1200—1600 м.

Наращение наледей происходит с октября—ноября по март—апрель, таяние с апреля—мая до середины августа. Лед ключевых и грунтовых наледей отличается от речных массивностью и большей плотностью (от 0,6—0,65 г/см³ до 0,76—0,82 г/см³). Коэффициент таяния наледей изменяется от 1 до 8 мм/град., составляя в среднем для речных наледей 5 мм/град., для ключевых и грунто-

вых 3,1—3,6 мм/град. Преобладают сезонные наледи, многолетние встречаются в высокогорье на северных затененных склонах или в глубоких ущельях.

Среди других современных геологических процессов, развитых в Саяно-Сангиленском регионе, надо отметить морозную (криогенную) сортировку, морозобойное растрескивание, морозное лучение, криогенное заболачивание.

Широким развитием в Саяно-Сангиленском регионе пользуется карст в протерозойских и нижнепалеозойских мраморах, мраморизованных известняках, доломитизированных известняках и известняковых конгломератах. Формы карстопоявления различны: установлены современные карстовые воронки, пещеры, карры, каверны, котловины, ныряющие и исчезающие реки. В целом для региона на характерно преобладающее развитие подземного карста: в отдельных районах, например в долине р. Бирюсы, число пещер достигает 25—35 на 1 км²; пещеры могут быть многоярусными, а глубина их достигает 120—140 м, отдельные гроты имеют объем до 10 000 м³. В ряде пещер располагаются подземные озера, часто в пещерах залегают многолетние льды. Однако таких районов широкого развития карста не так уж много. На северных склонах Восточного Саяна в истоках рек Туманшет, Бирюса, Уда, Ия выявлены лишь единичные проявления карста — отдельные воронки, небольшие пещеры, карстовые озера, провалы.

Известны древние карстовые формы. Так, в бассейне р. Уды развиты погребенные, вероятно докайнозойские, карстовые воронки диаметром до 60 м и глубиной до 10 м, заполненные ожелезненным глинистым материалом, часто фосфатоносным. К неогену относятся формирование пещер в склоне долины р. Уды на уровне наиболее высоких ее террас. Шире развит карст на Сангиленском нагорье. В Манском прогибе развиты в основном поверхностные формы карста, причем плотность воронок составляет в среднем 195 на 1000 км², а в наиболее закарстованных частях прогиба, достигает 280 на 1000 км². Современный карст наиболее активно развивается в осевых частях антиклинальных структур, на участках повышенной трещиноватости и вдоль контактов карстующихся пород с нерастворимыми. Естественным препятствием для развития карста служит мерзлота, ограничивающая поступление циркулирующих вод в ненарушенные массивы карбонатных пород и снижающая скорость выщелачивания известняков.

Антропогенные процессы в Саяно-Сангиленском регионе развиты мало, что обусловлено крайне низкой освоенностью территории: здесь имеются лишь единичные рудники, отдельные автодороги и сравнительно небольшое число поселков сельского типа. Значительно большее воздействие на территорию оказывают промышленные сооружения, расположенные за пределами региона, особенно те, что уже построены и строятся к западу от его границ (например КАТЭК), а также (в меньшей степени) горно-промышленные предприятия Иркутско-Черемховского бассейна. Постоянно дующие летом с запада, а зимой с севера ветры уже переносят и будут

переносить в дальнейшем громадное количество пыли, образующейся при ведении строительных работ, и дымовые выбросы работающих предприятий. Хребты Восточного Саяна представляют собой район, где осаждаются и будет осаждаться их основная масса. Зимой это приводит к загрязнению снега, а значит и уменьшению альбедо поверхности и возрастанию роли поглощенной радиации, т. е. к раннему схождению снегового покрова и более интенсивному прогреванию пород. Это может привести к увеличению мощности сезонно-талого слоя и последующему сокращению мощности и площадей распространения многолетнемерзлых пород — явлению, которое неизбежно вызовет активизацию всех криогенных, а затем и связанных с ними гравитационных процессов. В летнее время пылевые выбросы, и особенно вредные вещества, содержащиеся в дымах, будут губительно действовать на растительный покров, что в одних случаях может способствовать появлению новообразований мерзлоты, а в других — ее деградации, т. е. также приведет к резкой активизации криогенных процессов. Кроме того, уничтожение растительности как под воздействием загрязненной атмосферы, так и в результате рубок в районах, примыкающих к промышленным зонам, способствует развитию склоновых процессов.

ГЛАВА 5 САЯНО-АЛАТАУСКИЙ РЕГИОН

Саяно-Алатауский регион, принадлежащий в административном отношении Кемеровской области и Красноярскому краю, располагается в северной части Алтае-Саянской горной страны (см. рис. 3.1). В него входят Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Бийская Грива и Абаканский хребет, образующие Кузнецкое нагорье, а также западная часть Восточного Саяна и узкая низкогорная ступень Западного Саяна. В Кузнецком нагорье высоты более 2000 м приурочены к его центральной части, к северу они уменьшаются, составляя у северной оконечности нагорья около 300 м абс. высоты. Преобладают низкие водоразделы, над которыми возвышаются отдельные вершины и хребты среднегорного типа. В целом нагорье отличается сильно расчлененным рельефом, для южной его части характерны альпийские формы рельефа. На Кузнецком Алатау имеются небольшие ледники, нижняя граница которых располагается на высоте 1250—1450 м. В отличие от хребтов Кузнецкого нагорья, вытянутых с юга на север, горные хребты и водоразделы Восточного Саяна ориентированы в широтном направлении, абсолютные высоты водоразделов постепенно нарастают с запада (700—800 м на окраинах Минусинской впадины) на восток (до 2000 м), доминируют плоские или полого-выпуклые водоразделы. Ориентировка современных хребтов региона повторяет в основном ориентировку древних геологических структур.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород Саяно-Алатауский регион характеризуется сложным и неоднородным тектоническим строением. В одних его частях пре-

обладают крупные изометричные антиклинальные и синклинальные структуры, осложненные мелкой складчатостью, в других разбиты широкие и протяженные зоны мелких, разнообразных по форме и ориентировке складок, среди которых могут быть встречены как сильно сжатые гребневидные складки, так и пологие брахи-складки. Все эти структуры разбиты большим количеством разломов преимущественно северо-западного, северо-восточного и субширотного направлений, а также мелкими зонами дробления и зонами смятия пород.

Регион практически нацело сложен образованиями геосинклинальных формаций протерозоя и кембрия, дополненных палеозойскими интрузиями. Это метаморфическая гнейсовая формация нижнего протерозоя, метаморфическая зеленосланцевая формация протерозоя, терригенно-карбонатная формация верхнего протерозоя, карбонатная формация нижнего кембрия, вулканогенно-терригенная формация среднего и верхнего кембрия (см. рис. 2.1). Ограниченно развиты также некоторые другие формации, отмеченные выше.

Метаморфическая гнейсовая формация нижнего протерозоя слагает сравнительно небольшие блоки. Ее образуют темно-серые амфиболовые, амфибол-плагноклазовые, кварц-полевошпатовые и другие гнейсы, амфиболовые сланцы и мраморы, а также толщи песчаников, кварцитов, кварц-полевошпатовых и слюдястых сланцев, близких по своему инженерно-геологическому облику аналогичной формации Саяно-Сангиленского региона (см. гл. 4).

Метаморфическая зеленосланцевая формация верхнего протерозоя представлена зеленокаменно-измененными вулканитами — актинолит-альбит-хлоритовыми, альбит-хлорит-серицитовыми и другими сланцами, среди которых встречаются прослои мраморизованных известняков, и глинисто-кремнистых сланцев общей мощностью около 2 км. Она более широко распространена в Западно-Саянском регионе, характеристика которого описана более подробно в гл. 6.

Метаморфическая терригенно-карбонатная формация верхнего протерозоя и карбонатная формация нижнего кембрия пользуются широким распространением. Облик обеих формаций в значительной мере определяется характером карбонатных пород. В протерозойской формации они представлены мраморами, мраморизованными и доломитовыми известняками с прослоями углеродистых кремнистых, альбитовых, хлоритовых и других сланцев, а в нижнекембрийской — тонкослоистыми известняками, доломитами, известково-глинистых сланцев, известковистых песчаников и алевролитов. Текстуры карбонатных пород очень разнообразны: встречаются массивные, слоистые, пятнисто-полосчатые, сланцеватые и другие разновидности, иногда они кавернозные, часто закарстованы. Наиболее прочны массивные, микро- и мелкокристаллические разновидности (сопротивление сжатию $1100 \div 2400 \cdot 10^5$ Па), резко снижается прочность в рассланцованных породах. Прочность может резко (в 2—4 раза)

снижаться после многократного замораживания и оттаивания. Роль терригенных пород в протерозойской формации значительно более велика, чем в кембрийской, но и здесь отдельные пачки с преобладанием терригенного материала могут достигать мощности 2 км.

Вулканогенно-терригенная средневерхнекембрийская формация имеет очень невыдержанный состав: в одних районах она почти цело сложена различными вулканитами, в других андезитовые и базальт-андезитовые порфириты и их туфы чередуются с песчаниками, алевролитами, песчано-глинистыми сланцами, но встречаются разрезы, в строении которых вулканиты содержатся лишь в виде подчиненных прослоев. По своему составу и строению эта формация близка к терригенно-вулканогенной формации нижнего кембрия Западного Саяна (см. гл. 6), свойства слагающих ее пород многократно изучены и описаны [26].

Молассоидная формация ордовика распространена преимущественно на западном склоне Кузнецкого Алатау, в других местах ею сложены очень небольшие участки. Это орогенная формация мощностью до 3 км, выполнявшая небольшие прогибы. Она всегда залегает на подстилающих породах с угловым несогласием и содержит в основании конгломераты. В строении ее доминируют песчаники, песчано-глинистые или известковистые сланцы, конгломераты, иногда с ними сочетаются известняки, базальтовые порфириты, трахитовые и фельзитовые порфиры. Породы формации смяты в линейные складки.

Ограниченным распространением пользуется спилито-кератофировая нижнекембрийская формация, имеющая однообразный и выдержанный по площади состав: диабазы, спилиты, порфириты, редко туфы и туфобрекчи, иногда линзы мраморов. Также незначительно развита вулканогенная орогенная формация девона, сложенная чередованием кислых, средних и основных эффузивов и их туфов. Породы этих формаций обладают высокой прочностью ($680-1000 \cdot 10^5$, иногда до $1700 \cdot 10^5$ Па) и низкими значениями водопоглощения (0,18—0,26 %).

Магматические формации представлены локально развитыми гипербазитами нижнего палеозоя, образующими небольшие тела, и гранодиоритами силура и девона. Встречаются разнообразные тела гранодиоритов — батолиты, штоки, дайки, в крупных телах петрографический состав может существенно изменяться от их апикальных частей к центральным. Широко развито ороговикование вмещающих пород, мощность зон экзоконтактных изменений достигает 1,5 км [26]. Наиболее прочны породы группы гранодиоритов (сопротивление сжатию в среднем составляет $1900 \cdot 10^5$ Па).

Комплексы кайнозойских отложений распространены широко, но существенной роли в строении региона не играют.

Комплекс склоновых отложений занимает наибольшие площади в регионе по сравнению с другими кайнозойскими отложениями. В его составе делювиальные, пролювиальные, осыпные, смешанные типы отложений, образующие иногда сплошной, а иногда прерыви-

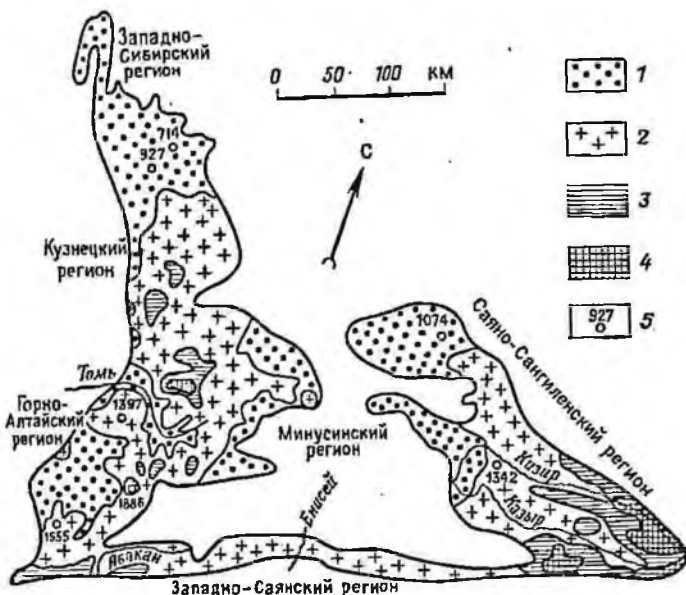


Рис. 5.1. Геокриологические условия Саяно-Алатауского региона (составил Л. И. Розенберг с использованием материалов Н. И. Труш и М. М. Шаца):

1 — районы развития редких островов мерзлоты, переделков и сезонного промерзания; 2—4 — районы развития многолетнемерзлых пород (2 — островного, 3 — прерывистого, 4 — сплошного), 5 — главные высотные отметки, м

стыль, но всегда маломощный покров на склонах, постепенно перемещающийся вниз по склону до накопления в местах перегибов склонов — на выровненных поверхностях или в ложбинах, долинах, где их мощность может достигать 10—20 м. Состав их очень разнообразен: могут встречаться глыбы и валуны, щебень разной формы, пески и дресва, суглинки, реже глины, сочетающиеся во всевозможных комбинациях. Все пологие формы рельефа Кузнецкого Алатау покрыты плащом бурых лёссовидных суглинков плейстоцена, часто обладающих просадочными свойствами.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Более половины территории Саяно-Алатауского региона входит в зону развития многолетнемерзлых пород (рис. 5.1). Наиболее широко распространены районы островного развития мерзлоты, в пределах которых острова мерзлых пород могут занимать до 50 %. В осевой части Кузнецкого Алатау и на востоке региона располагаются обширные районы прерывистого и сплошного развития многолетнемерзлых пород, т. е. территории, более 50 % которых заняты многолетнемерзлыми и многолетнеморозными толщами. Мощность мерзлых толщ в районах их сплошного развития достигает 300 м и более, в районах прерывистого развития — 150 м, а в районах островного развития не превышает 50 м. Окраины саянской части региона и Кузнецкого Алатау, прилегающие к Минусинской впадине, а также северная

часть Кузнецкого Алатау входят в зону сезонного промерзания пород, в пределах которой суммарное количество островов многолетнемерзлых пород не превышает, по-видимому, 10 % площади, но возможно существование перелетков.

По существующим в настоящее время оценкам температура многолетнемерзлых пород в подошве слоя годовых колебаний вне речных долин близка к -4°C , а по мере приближения к границе зоны сезонного промерзания постепенно приближается к 0°C .

Геокриологические условия Саяно-Алатауского региона весьма незначительно сказываются на условиях формирования, движения и разгрузки подземных вод региона, сосредоточенных главным образом в гидрогеологических массивах.

Поровые безнапорные воды, приуроченные к аллювиальным отложениям с очень хорошими фильтрационными свойствами, залегают на глубине 1—10 м; мощность водоносного горизонта не превышает первых метров. В склоновых отложениях воды имеют преимущественно спорадический характер. Зимой воды склонового комплекса и, в значительной мере, воды аллювия промерзают и сток их сокращается.

К скальным грунтам приурочены безнапорные воды зоны выветривания мощностью до 100 м, часто напорные трещинно-жилые и трещинно-карстовые, реже пластово-трещинные. Все воды пресные (до 0,6 г/л) или ультрапресные (в гранитах до 0,06 г/л) гидрокарбонатные кальциевые, реже магниевые, натриевые или смешанного катионного состава. На глубине 100—150 м встречаются сульфатные или сульфатно-гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией до 7 г/л, а глубже 500 м — хлоридно-сульфатные и хлоридные натриевые с минерализацией до 11 г/л. На глубине 700—800 м воды насыщены сероводородом, метаном, тяжелыми углеводородами, содержат бром и йод. Дебиты родников не более 0,5 л/с, резко возрастают (до 260 л/с) в зонах тектонических нарушений и карста. Удельные дебиты скважин изменяются от долей до нескольких литров в секунду.

Современные геологические процессы и явления. Широким развитием на территории Саяно-Алатауского региона пользуются карстовые, криогенные и склоновые процессы, проявляющиеся в очень разных по форме и характеру геологических явлениях, но изученные значительно хуже, чем в других регионах Алтае-Саянской горной страны.

Карст в той или иной форме может быть обнаружен практически в любых частях региона (рис. 5.2), что обусловлено широким развитием карбонатных формаций. Так, в пределах Кузнецкого Алатау площадь, занятая карбонатными породами, превышает 5 тыс. км², встречаются как древние, так и современные формы карста. Развитие карстовых процессов и характер их проявлений в Кузнецком Алатау и Горной Шории близки к карсту Салаира (см. гл. 9). Формы проявления карста очень разнообразны. Часто, как например в водораздельной части Абаканского хребта, воронки расположены группами, диаметр их достигает 4—5 м, глубина



Рис. 5.2. Схема распространения закарстованных пород и карстовых явлений Кузнецкого Алатау и Западного Саяна (по материалам Ж. Л. Цыкиной):

1 — закарстованные карбонатные породы; 2—6 — карстовые образования (2 — воронки, котловны и озера, 3 — пещеры, 4 — пустоты, вскрытые скважинами, 5 — родники)

2—3 м. В припешейской части Восточного Саяна плотность воронок составляет 20—25 на 1 км². Подземные формы карста представлены кавернами и пещерами. Глубина проникновения карста, как это установлено в районе п. Кабырзы, достигает 300 м. В настоящее время наиболее интенсивны процессы карстообразования вблизи речных долин, в зонах воздействия искусственных водохранилищ и в тектонических зонах дробления карбонатных пород.

Криогенные процессы развиты на всей территории региона, но изученность их очень низка. В общих чертах по своему разнообразию и характеру проявления криогенные процессы Кузнецкого нагорья похожи на значительно лучше изученные криогенные процессы Горного Алтая (см. гл. 8), развивающиеся в аналогичных природно-климатических условиях, а криогенные процессы восточной (Саянской) части региона — на процессы, развитые в Восточном Саяне (см. гл. 4). В Саяно-Алатауском регионе распространено морозное выветривание, приводящее к образованию каменных, преимущественно крупноглыбовых, россыпей, покрывающих выровненные поверхности в гольцовом поясе. Как в высокогорье, так и в верхней части горно-таежного пояса распространены процессы нивации, приводящие к выработке нагорных террас, площадок, ниш и карообразных котловин. На поверхности таких террас и площадок зимой формируются снежники, срывы которых приводят к возникновению лавин. В процессе таяния снежников возникает избыточное увлажнение, приводящее к развитию на поверхности террас нагорных болот. Нагорные болота способствуют возникновению и длительному сохранению многолетнемерзлых пород.

Тепловое и дымовое (пылевое) воздействие со стороны строительных и промышленных объектов Кузбасса уже оказывает и будет оказывать в дальнейшем значительно большее влияние на территорию Саяно-Алатауского региона, чем на склоны Восточного Саяна (см. гл. 4). Эффект от тепло-, газо-, дымопереноса из сосед-

них регионов в Саяно-Алатауский тем более опасен, что регион расположен в зоне неустойчивой мерзлоты, не имеющей по преимуществу сплошного распространения, часто с довольно высокими (близкими к 0°C) температурами. Этот эффект неизбежно будет усиливаться непосредственным воздействием на поверхность при сопутствующем строительству и освоению территории рубках леса, прокладке дорог, линий связи и электропередач, возникновении свалок. Все это приведет в одних случаях к деградации мерзлоты, а в других к ее новообразованиям, поскольку влага, образующаяся за счет протайки в одних местах, может концентрироваться на соседних участках, прикрытых плохочащающимися лёссовидными суглинками. В результате резко возрастает интенсивность криогенных процессов во всех высотных поясах региона.

Наиболее яркими примерами роста активности криогенных процессов в результате деятельности человека являются многочисленные случаи возникновения наледей и наледных полей при недостаточном количестве или размерах водопропускных сооружений на дорогах и возникновение большого числа пучин на дорогах, особенно проложенных в пониженных переувлажненных местах.

Широко распространенные в Кузнецком Алатау курумы, по оценке В. С. Федотова, разделяют на два типа, особенности которых предопределены различиями областей их питания. Наиболее часто встречаются курумы, получающие питание из каменных россыпей на вершинах гольцов и скальных водоразделах, распространенные преимущественно в нивальном и гольцовом поясах. Многочисленными языками, достигающими в ширину 500—700 м, они вытягиваются на расстояние более километра, проникая в горно-таежный пояс до высоты 900—1000 м на севере Кузнецкого Алатау и до 1100—1200 м на юге.

Курумы, получающие питание из скалистых выступов на склонах, распространены реже, имеют меньшие размеры и сложены менее крупным материалом. Они приурочены к подгольцовому и горно-таежному поясам, т. е. районам, расположенным гипсометрически ниже, чем районы развития курумов первого типа. Эти курумы имеют форму треугольника с вершиной у скального выступа и с основанием у подножия склона, т. е. напоминают по своей форме обычные осыпи.

Курумы обоих типов имеют мощность до 10 м, редко больше. На склонах с наклоном в $10\text{--}20^{\circ}$ и более курумы находятся в движении. По единичным замерам скорость их перемещения при крутизне склонов $30\text{--}35^{\circ}$ в краевых частях составляет 13—15 см/год. Продвигаясь в таежный пояс курумы постепенно уничтожают древесную растительность. В долинах рек Томи, Усу, Бель-Су, Израс, Черный и Белый Июс и других курумы перекрывают не только надпойменные террасы, но и пойму и даже русла рек.

Обломки, слагающие подвижные курумы, обычно не связаны, пустоты между ними лишь по краям каменного потока частично заполнены щебнисто-суглинистым материалом, в центральной части

курума преобладают открытые пустоты. Под курумами часто протекают сезонные водотоки, выносящие мелкозем и дресву за пределы фронтальной части курумов.

В горно-таежном поясе Кузнецкого Алатау на высотах 600—1000 м на пологих склонах (менее 10°) встречаются стабилизированные неподвижные курумы, давно прекратившие развитие. Они задернованы, заросли прямоствольным лесом, а пустоты между глыбами заполнены мелкоземом.

Прочие процессы склонового ряда, характерные для всех горных районов, такие как сели и лавины, пролювиальный и делювиальный смыв, осыпи и обвалы, а также водно-эрозионные процессы развиты в пределах региона, но имеют меньшее значение. Оползневые процессы, в общем не характерные для региона, начинают активно развиваться при сооружении насыпей и выемок. Чаще всего они проявляются в виде сплывов суглинистых пород, происходящих как в результате переувлажнения пород из-за нарушения естественного стока, так и в результате неравномерных процессов сезонного промерзания и протавания, перегрузов откосов балластом и выбрацей, возникающих при движении железнодорожного и автомобильного транспорта. Сплывы захватывают откосы на глубину до 2 м. Более крупные оползни возникают при подрезке древнеоползневых склонов и переувлажненных склонов, покрытых щебнисто (глыбово)-глинистыми образованиями.

ГЛАВА 6 ЗАПАДНО-САЯНСКИЙ РЕГИОН

Западно-Саянский регион располагается на южной окраине Красноярского края и частично включает в себя крайние северные части Тувинской АССР (см. рис. 3.1). Территория региона богата магнетитовыми, кобальто-висмутоникелевыми и колчеданными месторождениями, в большинстве своем еще не разрабатываемыми. Регион малоосвоен и слабо населен, пересекается лишь единичными автодорогами, по которым осуществляется связь с Тувой. Для развития региона большое значение имеет сооружение Саяно-Шушенской ГЭС.

В географическом и структурном отношении регион соответствует морфоструктурам Западного Саяна и Шапшальской. Это сложная и неоднородная горная система, представленная сравнительно узкими хребтами, разделенными глубокими речными долинами, вытянутая в целом в восток-северо-восточном направлении. В ее пределах отчетливо выделяется три орографических пояса. В центральном поясе преобладает высокогорный рельеф, наиболее высокая его часть располагается к западу от р. Енисей, где высоты превышают 2,8—3 км, к востоку от р. Енисей высоты постепенно снижаются до 2 км, а затем повышаются до района сочленения с Восточным Саяном. Для наиболее высоких (более 2000 м) хребтов характерны альпийские формы, в водораздельных частях со-

хранились остатки древних поверхностей выравнивания. Превышение хребтов над долинами достигает 900—1300 м, отдельные вершины возвышаются над перевалами на 500—800 м. Долины рек глубоко врезанные, V-образные или троговые, часто осложнены водопадами, на отдельных участках протекают в ущельях.

К северу располагаются районы развития средне- и низкогорного рельефа с высотами 1400—2300 м, обилием пологих склонов, развитыми долинами рек с аккумулятивными террасами. К югу от центрального пояса плоскогорные массивы Алашского нагорья имеют высоты 2500—2800 м, осложнены одиночными гольцовыми вершинами и отдельными хребтами с пологими водоразделами. Западный Саян разделен на две примерно равные части долиной р. Енисей. Большинство долин остальных рек ориентировано с юго-запада на северо-восток — в соответствии с доминирующими структурами; все реки региона входят в систему водосбора р. Енисей.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Западный Саян представляет собой каледонское антиклинорное сооружение, образующее крупное сводово-блоковое поднятие между Центрально-Тувинской и Минусинской впадинами. С севера он ограничен Кандатским, а с юга — Саяно-Тувинским глубинными разломами. Наиболее крупными его структурами являются Джебашский антиклинорий на севере и Куртушубинский — на юге, разделенные Западно-Саянским синклизорием. В результате кайнозойских деформаций в строении Западного Саяна обособилась центральная часть, представленная Саянским сводово-глыбовым поднятием, и примыкающие к ней северный и южный склоны, состоящие из линейно вытянутых косонаклонных блоков, ступенчато спускающихся к Минусинской и Тувинской впадинам.

Преобладающим развитием в регионе пользуются геосинклинальные метаморфические формации протерозоя, раннего палеозоя и палеозойские интрузивные (гранитоидные) формации. Ряд больших по площади наложенных впадин выполнен орогенными формациями среднего палеозоя и юры. По долинам, в локальных межгорных понижениях, а также в виде маломощного прерывистого чехла на склонах и водоразделах распространены кайнозойские отложения.

Метаморфическая формация протерозоя представлена мощной (более 8 км) однородной толщей зеленых сланцев с подчиненным участием эффузивов (джебашская серия), сплошной, почти беспрерывной полосой вытянутой вдоль северного склона Западного Саяна. В ее составе преобладают кварцево-хлорит-серицитовые или кварцево-альбит-хлоритовые сланцы, часты линзы и прослои кварцево-альбито-актинолитовых сланцев, железистых кварцитов, мраморов. Породы могут быть насыщены густой сетью тонких кварцевых или кальцитовых прожилков. Преобладают интенсивно рассланцованные или листоватые разности пород, сильно перемятые, мелкоскладчатые, иногда плейчатые.

В целом они слагают узкие линейные складки с падением крыльев в $70-90^\circ$. Породы формации обладают высокой прочностью (временное сопротивление сжатию превышает $4370 \cdot 10^5$ Па), сжимающейся при нагрузке параллельно сланцеватости, в линзах мраморов, в зонах тектонической трещиноватости и в поверхностной зоне выветривания. Зоны выветривания наибольшей мощности приурочены к тектоническим нарушениям.

Терригенно-вулканогенная формация нижнего кембрия (чингинская серия) представлена сложным переслаиванием кремнистых, глинисто-кремнистых и углисто-кремнистых сланцев, кварцитов, туфов, туффитов, а также известняков с прослоями зеленокаменно-измененных эффузивов общей мощностью до 5 км. Груборассланцованные разности преобладающих в составе формации сланцев имеют угол внутреннего трения 37° , сцепление $170 \cdot 10^5$ Па, временное сопротивление сжатию $1700 \cdot 10^5$ Па [26]. Наибольшей прочностью обладают маломощные прослои кварцитов (временное сопротивление сжатию до $2300 \cdot 10^5$ Па). К породам формации приурочены линейно вытянутые массивы гипербазитов.

Флишодная формация среднего кембрия-ордовика соответствует целому ряду свит, слагающих Западно-Саянский синклиорий и Куртушубинский антиклинорий. В ее разрезе переслаиваются различные сланцы, песчаники, алевролиты, горизонты кварцитов, образующие толщу мощностью до 15 км, в нижней части которой доминируют сильно перемятые сланцы, а вверх по разрезу возрастает роль более грубых пород, преимущественно песчаников с отдельными прослоями гравелитов и конгломератов. Породы формации, как и предыдущей, смяты в пологие синклинали и антиклинали, приближающиеся к брахискладкам и коробчатым складкам, иногда осложнены более мелкой складчатостью и нарушены множеством мелких разломов.

Терригенно-карбонатная орогенная формация силура (отукская серия) выполняет синклинальные прогибы и блюдцеобразные мульды, занимающие незначительную часть территории региона и отличающиеся от более древних образований преимущественно глыбовыми структурами. В составе формации мощностью до 2 км преобладают известняки и мергели, присутствуют пестроцветные песчаники и алевролиты, реже конгломераты и аргиллиты.

Молассоидная орогенная формация девона-карбона также развита ограниченно: ею выполнены разобщенные наложенные грабены, мульды, грабен-синклинали. Она представлена чередованием невыдержанных по мощности и по форме пачек, линз, прослоев конгломератов и песчаников, алевролитов, аргиллитов, иногда известняков, слагающих в целом пологие складки или куполовидные структуры. Наиболее прочными среди них являются песчаники с кремнистым цементом (временное сопротивление сжатию до $1100 \cdot 10^5$ Па), на 20—40 % снижается прочность в породах с железистым (кремнисто-железистым и карбонатно-железистым) цементом, наименее прочны породы с карбонатным цементом, в том числе мергели, а также аргиллиты.

В составе магматических формаций преобладают гранитоиды палеозоя, образующие крупные батолиты вытянутой в плане формы, а также множество мелких массивов. В крупных телах доминируют кислые породы, в мелких — наряду с кислыми развиты средние разности гранитоидов. В большинстве своем это прочные и высокопрочные массивные породы, прочность которых резко снижается в зонах разломов и различного рода трещиноватости, а также в зоне поверхностного выветривания. К глубинным разломам приурочены пояса ультрамафитов, сложенных серпентинитами или серпентинизированными перидотитами или гарцбургитами, а также — в подчиненных количествах — амфиболитами, дунитами, верлитами; это та же ультраосновная формация верхнего кембрия, что отмечена выше в пределах Восточного Саяна.

Кайнозойские формирования в Западно-Саянском регионе не занимают существенного места. Наиболее распространены элювиальные и склоновые образования мощностью от долей метра до первых метров, встречаются практически повсюду. Они представлены щебнями, глыбами, дресвой в ряде случаев с супесчаным или суглинистым заполнителем.

Ледниковые средневерхнеплейстоценовые отложения представлены главным образом моренами, распространенными по площади неравномерно. Мощность их может достигать 60 м, состав крайне неоднороден. В одних случаях это валунные морены с крайне небольшой примесью суглинистого материала, в других — суглинистая масса с включениями глыб и валунов. В целом породы обладают хорошей несущей способностью, устойчивы даже в отвесных стенках искусственных выемок.

Аллювиальные отложения имеют, как правило, небольшие мощности (2—7 м, изредка до 15 м), ширина аллювиальных террас в большинстве случаев не превышает десятков метров. Аллювий часто имеет двучленное строение: гравийно-галечный нижний горизонт и супесчано-суглинистый — верхний. В регионе встречаются также аллювиально-пролювиальные, делювиально-пролювиальные, озерные отложения, а иногда и остатки древних кор выветривания.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Западно-Саянский регион — район широкого развития многолетнемерзлых и многолетнемерзлых пород. Они занимают более 50 % площади региона (рис. 6.1). В осевой части региона мерзлота имеет сплошное или прерывистое распространение, на северной и южной его периферических частях — островное. Мощность пород, постоянно имеющих отрицательную температуру, в осевых частях хребтов достигает 200 м и более. На склонах и плоскогорьях возрастает число таликов, мерзлота приобретает прерывистый характер. Лишь в долинах рек многолетнемерзлые породы распространены в виде островов. Сезонномерзлые породы развиты в «окнах» немерзлых пород и в таликах в зоне островного и прерывистого развития многолетней мерзлоты.

Температура горных пород —1 ... —3° в районах сплошного развития многолетнемерзлых пород, но местами может быть и ня-

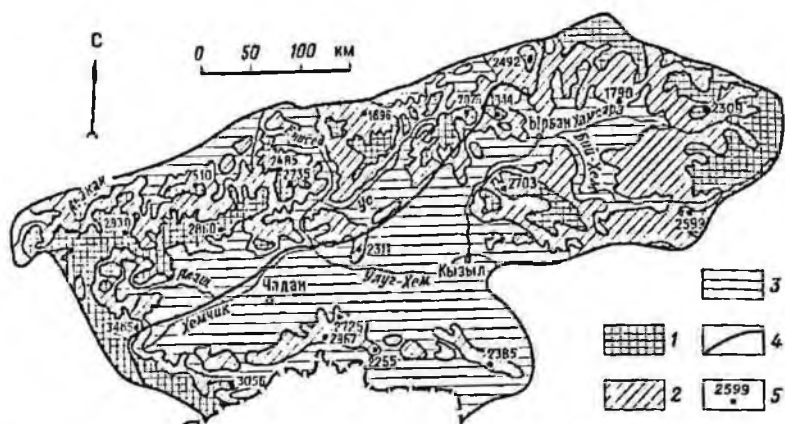


Рис. 6.1. Схема распространения многолетнемерзлых пород на территории Западно-Саянского и Тувинского регионов (составил Л. И. Розенберг с использованием материалов Н. И. Труш и М. М. Шаца):

1—2 — районы развития многолетнемерзлых и многолетнемерзлых пород (1 — сплошное, 2 — прерывистое); 3 — районы островного развития многолетнемерзлых пород; 4 — границы инженерно-геологических регионов; 5 — высотные отметки горных вершин, м

же. В районах прерывистого развития многолетнемерзлых пород преобладающая их температура $-0,5 \dots -2^\circ$, а в районах островного развития $-1 \dots 0^\circ$.

Сезонное промерзание пород в значительной мере связано с мощностью снежного покрова. Мощность сезонно-мерзлого слоя на Алашском плато, установленная непосредственными наблюдениями, достигает 2—3 м, но, по-видимому, может и превышать эту цифру. Сезонное протаивание начинается в наиболее низких частях региона в апреле и продолжается на всей территории региона по сентябрь. Глубина сезонного протаивания многолетнемерзлых пород может измеряться сантиметрами, редко превышает 2—3 м.

Мерзлотными условиями в значительной мере обусловлены гидрогеологические особенности региона. На большей части территории грунтовые воды формируются в зоне сезонного протаивания, т. е. являются спорадическими; мощность таких горизонтов постепенно (в ходе протаивания мерзлых пород) нарастает, но обводненность пород в большинстве случаев незначительна.

Широко распространены подземные воды, приуроченные к приповерхностной зоне трещиноватости в скальных грунтах мощностью до 150 м, трещинно-жильные и трещинно-карстовые воды. В зависимости от рельефа глубина залегания этих вод составляет от 1—10 до 80 м, а островерхние водоразделы и горные вершины могут быть полностью сдренированы. Удельные дебиты скважин изменяются от сотых (десятые) долей до 1 л/с; дебиты источников в алевролитах и сланцах не превышают 0,3—0,5 л, а в песчаниках и гранитах до 10 л/с. С закарстованными породами и с зонами тектонических нарушений связаны источники с дебитами до 35 л/с, а с зонами контактов гранитных интрузий с вмещающими породами — до 80 л/с.

К аллювиальным отложениям приурочены грунтовые воды, тесно связанные с поверхностными потоками, легко промерзающие зимой. Под прослоями глин и под мерзлыми породами могут приобретать местный напор. Обычно они залегают на глубине 2—6 м, иногда до 10 м, дебиты связанных с ними источников составляют 0,5—2 л/с, иногда достигают 5—10 л/с.

Современные геологические процессы и явления. Западный Саян относится к району с повышенной сейсмической опасностью; возможная сила землетрясений — 6—7 баллов (см. рис. 5.1). Наибольшее число зафиксированных эпицентров землетрясений располагается в пределах Шапшальского и Куртушубинского хребтов, но в целом эта территория недостаточно изучена в сейсмическом отношении. Землетрясения малой мощности происходят здесь достаточно часто и с ними могут быть связаны сеймотектонические обвалы и обрушения и сейсмогенные оползни. Главное место в регионе занимают склоновые и криогенные процессы. Чаще всего они действуют совместно, но на участках крутосклонного сильно расчлененного рельефа преобладают склоновые, главным образом осыпные и обвальные процессы, а на плоскогорных участках и на выположенных водоразделах — криогенные.

В зависимости от состава и текстуры разрушаемых пород образуются глыбовые, щебнистые или дресвяные накопления, которые затем перемещаются вниз по склону. Для Западного Саяна типичны крупные обвалы, часть из которых может быть сеймотектоническими. Так, Л. К. Зятыкова (1973) отмечает, что на правом берегу р. Енисей у устья р. Казыр-Сук выявлены каменные завалы с четко выраженными стенками обрывов — циркообразных и отвесных скальных бортов высотой 200—250 м; обрушенный материал лежит на поверхности I надпойменной террасы, а размер отдельных глыб достигает 5—8 м. Следы таких же обвалов отмечены и в других местах, причем число их, как представляется в настоящее время — на данной стадии изученности, возрастает с высотой рельефа.

Наряду с обвалами в южной части региона в долине р. Енисей отмечены оползни-обвалы, особенно частые в зоне Саяно-Тувинского разлома. Ожидается, что одним из результатов заполнения водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС будет активная абразивная подработка оползневых склонов и (в результате теплового воздействия водохранилища) протавнение ММП в зоне, примыкающей к водохранилищу, что неизбежно повлечет за собой резкую активизацию склоновых процессов.

Большая часть Западного Саяна относится к территориям с повышенной лавинной и селевой опасностью (см. рис. 4.3), но эти процессы здесь практически не изучены.

Криогенные процессы, развитые в регионе, крайне разнообразны. Морозное выветривание приводит к образованию каменных россыпей на водоразделах, на плоскогорьях формируются каменные тундры. Один из результатов комплексного воздействия кри-

огненных процессов — криогенное заболачивание — формирование нагорных болот.

Для западного Саяна характерно очень широкое развитие наледей: практически во всех долинах рек и ручьев, за исключением самых крупных долин, с декабря начинают расти наледы. Это связано с глубоким промерзанием аллювия и формированием мощного ледового покрова на реках и ручьях. Встречаются и грунтовые наледы. Наледообразование продолжается, как правило, по март, а схождение отдельных наледей может растянуться до августа. На поймах рек и ручьев и на поверхности их террас встречаются термокарстовые воронки, часто заполненные водой, и бугры лущения.

Тепловое воздействие Саяно-Шушенского водохранилища приведет к возникновению на северных склонах Западного Саяна и склонах гор, обращенных к водохранилищу, зон протаивания многолетнемерзлых пород и резкой активизации криогенных процессов. В то же время подтопление приустьевых частей рек, впадающих в р. Енисей, в результате затопления Саяно-Шушенского водохранилища, может привести к заболачиванию обширных участков их долин, а это в свою очередь, к возникновению многолетней мерзлоты там, где ее ранее не было, и новых, не типичных для данной территории, криогенных процессов.

ГЛАВА 7 ТУВИНСКИЙ РЕГИОН

Тувинский инженерно-геологический регион полностью входит в состав Тувинской АССР, занимая большую ее часть. Это система межгорных котловин, разобщенных хребтами или относительно невысокими поднятиями. Крупнейшими из котловин являются Хемчикская, Кызыльская, Убсунурская и Тоджинская. Наиболее крупными водоразделами между ними служат хр. Танну-Ола и западная часть хр. Академика Обручева. Все котловины обладают равнинным или близким к равнинному рельефом: Хемчикская и Кызыльская — плоские равнины с абсолютными высотами 470—1000 м, наклоненные на север; Тоджинская — холмистая равнина с высотами 740—1000 м, постепенно уменьшающимся с востока на запад, местами осложненная низкогорными массивами, с широкими долинами и множеством озер; Убсунурская котловина, входящая в пределы СССР лишь своим северным обрамлением, представлена в этой части наклонным на юг грядово-холмистым рельефом. Тоджинская котловина отделена от окружающих ее высоких хребтов полосой низких и средних гор.

Хр. Танну-Ола с высотами до 2900 м отличается характерными привершинными выровненными поверхностями, ограниченными резко выраженными уступами, участками альпийского рельефа с острыми зубчатыми водораздельными гребнями, карами и цирками, а также продольными депрессиями, расчленяющими хребет на отдельные гольцовые гряды; днища депрессий имеют равнинный, сла-

борасчлененный рельеф, они заполнены дислоцированными отложениями кайнозоя.

Хр. Академика Обручева и его северное продолжение хр. Таскыл в пределах региона вытянуты на северо-запад. Они представляют собой узкое крутосклонное сооружение с гребневидными подразделами и абсолютными высотами до 2700 м.

Большая часть региона располагается в бассейне р. Енисей и дренируется реками Ка-Хем, Бий-Хем, Енисеем, Хемчик и их многочисленными притоками. Лишь Убсунурская впадина относится к бессточному бассейну Центральной Монголии: на крайнем юго-востоке Тувинского региона протекает р. Тес-Хем, впадающая в оз. Убсу-Нур.

Для Центрально-Тувинских впадин характерна резкая континентальность климата: зимой обычны температуры $-25 \dots -35^\circ$, но они могут достигать -60° , летом температуры воздуха близки к $+17 \dots +20^\circ$, максимум до $+40^\circ$, годовое количество осадков 200—300 мм, 70—80 % их приходится на лето. Мощность снежного покрова в Кызыльской и Хемчикской впадинах не превышает 20—30 см.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Тувинский регион имеет сложное и неоднородное строение, обусловленное многоэтапной историей его формирования, не расшифрованной полностью до сих пор.

Преобладающим развитием в регионе пользуются геосинклинальная терригенная ордовик-силурийская, орогенные молассоидная среднедевонская-каменноугольная и угленосная юрская формации. В приподнятых блоках на поверхность выходят породы геосинклинальной вулканогенно-осадочной кембрийской, а также гранитоидной формаций. Широко представлены разнообразные кайнозойские отложения (палеогеновые, неогеновые) и четвертичные (аллювиальные, озерные, склоновые, ледниковые, эоловые и сложного (смешанного) генезиса).

Терригенная ордовик-силурийская формация (мощностью до 7 км) наиболее распространена в регионе. В целом для формации характерна быстрая фациальная смена пород и постоянное присутствие пачек и прослоев конгломератов и гравелитов среди доминирующих песчаников и алевролитов (рис. 7.1). Известняки в нижних толщах встречаются редко, а в верхней они постоянно присутствуют в виде отдельных пластов и линз органогенных известняков в западной части региона и прослоев мергелей или известняков-ракушнякав на его северо-востоке. Преобладающие в составе формации песчаники, чаще средне- и мелкозернистые, реже крупнозернистые, имеют преимущественно аркозовый состав, содержат обломки эффузивов, сланцев, кремнистых пород. Для структуры формации характерны линейные гребневидные антиклинальные складки, вытянутые на значительные (до 70 км) расстояния, с углами падения на крыльях $60-70^\circ$, а вблизи многочисленных согласных разломов и еще более крутыми, между которыми толщи смяты в крупные открытые синклинальные складки.

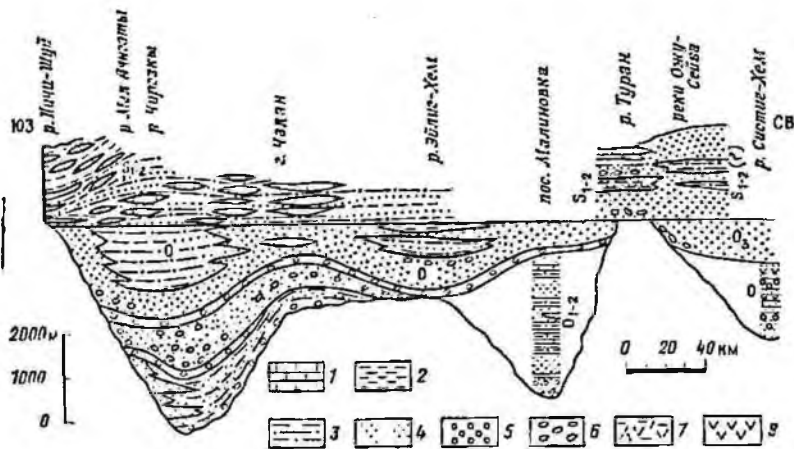


Рис. 71. Литологический профиль терригенной ордовик-силурийской формации Тувы (составил Э. Н. Янов, по материалам Е. В. Владимирской и А. В. Кривободровой, 1983):

1 — известняки; 2 — аргиллиты; 3 — алевролиты; 4 — песчаники; 5 — гравелиты; 6 — конгломераты; 7—8 — эффузивы соответственно кислые, средние и основные)

Молаассондная (песчаник-конгломератовая) среднедевонская — каменноугольная формация во многих местах выходит на поверхность, но часто залегает в основании разреза: она подстилает юрские угленосные образования Улугхемской впадины и образует, по-видимому, наряду с гранитоидами основание Кызыльской впадины. Мощность ее превышает 4 км. Формация крайне неоднородна по строению: преобладающие в ее составе алевролиты, конгломераты, грубые песчаники могут быть известковистыми, в низах и середине разреза могут содержать прослои и пачки мергелей, туфов, основных и кислых эффузивов, отдельные разрезы или части их выделяются ритмичным строением.

Угленосная (конгломерат-песчаник-алевролитовая) юрская формация выполняет Кызыльскую и Улугхемскую впадины, мощность ее достигает 2 км, но на значительных площадях она скрыта под покровом кайнозойских отложений. Формацию слагают мелко-водно-морские, аллювиальные и пролювиальные слабосортированные песчаники, алевролиты, разногальчниковые конгломераты с невыдержанными прослоями алевролитов, аргиллитов, углисто-глинистых пород и углей. В целом грубость материала уменьшается вверх по разрезу и в верхних горизонтах доминируют песчаники. Толща фациально изменчива, чередующиеся в ее строении пласты часто выклиниваются. Прочность доминирующих в составе формации песчаников изменяется от $500 \cdot 10^5$ до $1300 \cdot 10^5$ Па, уменьшаясь в водонасыщенных горизонтах и возрастая в зонах интенсивной послетюрской складчатости [26].

Вулканогенно-осадочная формация кембрия в северных районах представлена кислыми эффузивами с прослоями песчаников и известняков; в верхах разреза увеличивается роль известняков и доломитов. Южнее в составе формации возрастает количество конгломератов и туфо-конгломератов с прослоями фельзит-порфиров и кварцевых порфиров. На западе (Хемчикская зона) преобладают измененные диабазы и базальтовые порфириты, их туфы, туфопесчаники, туфобрекчии, кремнистые сланцы, сменяющиеся вверх по разрезу карбонатными породами — известняками, известково-глинистыми сланцами, песчаниками, алевролитами, появляются конгломераты. На Танну-Ола, где мощность формации достигает 6—7 км, доминируют спилиты, кератофиры, реже встречаются альбитофиры, базальтовые порфириты и их туфы, часть из которых подвергнута зеленокаменным изменениям. По всему разрезу встречаются горизонты и линзы известняков (обычно мощностью в несколько, изредка до 240 м), часто образующих тонкое переслаивание с песчаниками и алевролитами, а иногда мраморизованные известняки. Породы формации смяты в складки: на севере преимущественно линейные с углами падения на крыльях 50—80°, на юге складки более сложные, чаще разбиты на системы блоков, перемещенных друг относительно друга. Породы формации часто рассланцованы.

Гранитоидная формация в пределах хр. Танну-Ола представлена в основном гранодиоритами и кварцевыми диоритами, в подчиненном количестве диоритами и габбро. В пределах крупных массивов породы более кислого состава тяготеют к их центральным частям, а к периферии массивов и останцам кровли сменяются породами повышенной основности. Встречаются тела вытянутой формы, приуроченные к зонам разломов. Породы формации массивные, очень крепкие и крепкие, трещиноватые лишь в приповерхностной зоне, обладают матрацевидной, параллелепипедальной или глыбовой отдельностью. При выветривании образуется дресва, глыбы или плиты размером до 2,5 м.

Кайнозойские отложения широко распространены в Тувинском регионе, но состав и строение их в разных частях региона существенно отличаются; наиболее резко эти различия отражены в строении межгорных впадин. Кызыльская впадина формировалась на месте юрского Улугхемского прогиба: нижняя ее часть выполнена угленосными юрскими образованиями, а выше — полный разрез кайнозоа; суммарная мощность рыхлых кайнозойских отложений, лежащих практически горизонтально, может достигать нескольких сот метров, но роль собственно четвертичных отложений в этом разрезе невелика: они сосредоточены в основном по краям впадины. Наибольшей мощности кайнозойские отложения достигают в Убусурской впадине, но в пределы СССР входит только северная ее окраина, где развита лишь часть разреза: суммарная мощность этих отложений превышает 500 м, преобладающая часть их имеет палеоген-неогеновый возраст.

В Хемчикской впадине присутствуют, по-видимому, также все части кайнозойского разреза, но доминируют четвертичные отложения, а суммарная мощность его измеряется чаще всего десятками метров, лишь изредка достигая 100—200, может быть и 300 м; большую роль здесь играют делювиально-пролювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения. В Тоджинской впадине кайнозойские отложения имеют прерывистое распространение: в локальных впадинах второго и третьего порядков их мощность может достигать 100—200 м и более, но чаще она составляет 20—30 м, доминируют здесь ледниковые образования плейстоцена. Инженерно-геологические свойства всех этих пород обусловлены в первую очередь их механическим составом и характером обводненности, а при залегании их на поверхности или вблизи от поверхности — мерзлотными условиями (см. ниже), т. е. крайне непостоянны, резко меняются от района к району и даже на небольших расстояниях.

Озерные и озерно-аллювиальные палеогеновые отложения обнажены вдоль южных склонов хр. Танну-Ола. Это толща пестроокрашенных глин, суглинков и песков, насыщенная большим количеством обломков, часто сцементированных в брекчию, мощностью до 330 м, перекрытая пачкой глин, глинистых алевроитов и глинистых песков с прослоями известковистых брекчий мощностью около 120 м. Залегают они наклонно, а частично смяты в складки, оси которых вытянуты параллельно хр. Танну-Ола.

Озерные неогеновые, часто плиоценовые, отложения развиты в Центрально-Тувинской и Убсунурской впадинах, где они залегают либо на поверхности, либо под покровом четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений. Это преимущественно глины бурые или коричневые, сменяющиеся в Кызыльской впадине на глубине 30—40 м синевато-серыми. Глины плотные, вязкие, отдельные горизонты их содержат включения щебня, гальки, гравия, встречаются прослой песка мощностью до 10 м. На западе Центрально-Тувинской впадины глины замещаются щебнисто-глинистой толщей. Суммарная мощность озерных неогеновых отложений достигает 280 м.

Аллювиально-пролювиальные образования среднего плейстоцена—голоцена широко распространены вдоль подножий всех горных хребтов, но наиболее обширные поля образуют на юге Хемчикской впадины, местами в пределах Тоджинской котловины и вдоль южного обрамления Кызыльской впадины. Мощность их здесь достигает 50 м. Представлены они плотными суглинками с включениями песка, гальки, щебня, дресвы, слагающими грубо-слоистые толщи с неправильной линзовидной слоистостью, почти всегда наклоненной в сторону впадин.

Делювиально-пролювиальные отложения также распространены широко, они постоянно образуют узкие шлейфы или валы, вытянутые вдоль основания склонов. Наиболее широко они развиты в Турано-Уюкской впадине, где представлены песчано-глинистыми образованиями, перекрывающими водоразделы между протоками

р. Уюк, где лишь останцы скальных пород выступают из-под рыхлого чехла.

Элювиально-делювиальные супеси в районе г. Кызыла обладают просадочными свойствами до глубины 2 м при дополнительных нагрузках и увлажнении. Такие супеси довольно широко распространены по окраинам Кызыльской впадины, а также в Хемчикской впадине; следует ожидать, что они повсюду могут оказаться просадочными.

Ледниковые отложения среднего—верхнего плейстоцена мощным покровом (до 15, местами до 30 м и более) перекрывают восточную половину Тоджинской котловины, а также встречаются на хребтах Академика Обручева, Танну-Ола и в других местах. В их составе, наряду с моренами, присутствуют водноледниковые главным образом флювиогляциальные отложения. Встречаются также озерно-ледниковые, камовые, озовые и другие типы ледниковых отложений. Все ледниковые отложения отличаются грубым составом, часто обильным глинистым заполнителем. В водноледниковых преобладают галечники и пески, реже в их составе участвуют супеси и суглинки. Обычно водноледниковые отложения террасированы, занимают небольшие площади.

В речных долинах и озерных понижениях Тоджинской впадины, чаще в южной ее половине, встречаются небольшие участки развития болотных отложений, сложенных торфами, илами, супесями преобладающей мощностью 0,5—2,5 м, но иногда достигающими 6 м; эти отложения часто формируются на поверхности мерзлых пород и в летнее время могут быть обводнены с поверхности или с глубины 0,3—0,5 м.

На востоке Тоджинской котловины обширные поля заняты базальтами плиоцена, нижнего (может быть среднего) плейстоцена, имеющими мощность от первых до сотен метров: они образуют платообразные поверхности, лавовые и шлаковые купола, в направлении на запад сменяющиеся останцами древних лавовых потоков; в долинах Бий-Хема и Ка-Хема базальтами перекрыты высокие и средние террасы. В основании комплекса преобладают пирокластические породы, переслаивающиеся с лавами, в верхах его — базальты. Базальты очень разнообразны по текстуре: встречаются мелко-, среднезернистые и витрофировые базальты, массивные или пузырчатые, иногда миндалекаменные. Преобладают очень крепкие разновидности, но в приповерхностной зоне они часто трещиноваты и могут быть разборными. На поверхности базальтовых потоков часто залегают глыбы пористого базальта, хаотически наваленные друг на друга. Вулканы Кропоткина и Перетолчина, по данным М. Г. Гроссвальда, сложены пемзовидными шлаками.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Тувинский регион отличается широким, но неравномерным развитием многолетнемерзлых пород (см. рис. 6.1). В горах, окружающих Тоджинскую котловину, они имеют практически сплошное распространение. К ним примыкает обширная неправильной формы полоса прерывистого развития мерзлых пород. Лишь в центральной и западной частях

Тоджикской котловины, т. е. примерно на 30—35 % ее территории, ММП имеют островное распространение, причем здесь часто встречаются «острова» площадью от 10—15 до 50—80 км². В юго-западной части региона только в осевой части хр. Танну-Ола многолетнемерзлые и морозные породы имеют сплошное и прерывистое распространение, а в Хемчикской и Кызыльской впадинах и в окраинной части Убсунурской впадины ММП образуют разной формы и густоты «острова».

Такое распределение мерзлых толщ связано с особенностями рельефа: наибольшей сплошностью и наибольшей мощностью во всех случаях обладает мерзлота, приуроченная к осевым частям наиболее высоких хребтов. Зона прерывистого распространения мерзлых пород занимает относительно пониженные хребты и части хребтов, а днища котловин вместе с холмистыми предгорьями входят в зону островного развития ММП.

Максимальные мощности ММП достигают, по-видимому, многих сотен метров, имеются сведения лишь по единичным пунктам. Так, по наблюдениям в горных выработках Арыпского и Аксугского месторождений, мощность криолитозоны достигает 200 м. Мощность мерзлых пород в центральной части Тоджикской котловины, где их распространение оценивается как островное, изменяются от 20 до 50 м. В южной части Тоджикской котловины — в верховьях р. Улуг-О мощности ММП близки к 150 м, а мощность мерзлых пород в хр. Остроконечный Танну-Ола составляет 200 м. Мощность мерзлых и морозных пород в районе Хову-Аксы превышает 300 м.

На всей территории, где отсутствуют ММП, происходит сезонное промерзание и оттаивание горных пород. В большинстве районов породы промерзают на глубину 3—4 м, иногда, как в районе пос. Усть-Элегест, мощность сезонномерзлого слоя может превышать 6 м. Сезонномерзлый слой сохраняется во впадинах Тувинского региона в течение 7,5—8,5 мес., что значительно больше, чем во многих других регионах Алтае-Саянской горной страны. Полное оттаивание сезонномерзлого слоя в Кызыльской и Хемчикской впадинах происходит обычно в конце мая — начале июня, а в отдельных местах позднее. Так, для гор Кызыла и Турана более характерно оттаивание сезонномерзлых пород в конце июня. Глубина сезонного протаивания многолетнемерзлых пород колеблется от 0,5—1 м на заболоченных и заторфованных участках пойм и котловин, до 3 м во впадинах, выполненных песчано-супесчаными грунтами.

Подземные воды содержатся во всех отложениях — как в рыхлых, так и в скальных. К четвертичным отложениям приурочены поровые безнапорные воды, залегающие на глубинах 0,2—50 м. При наличии суглинистых прослоев и многолетнемерзлых пород они приобретают напор до 10 м. Мощность водоносных горизонтов 3—60 м, в аллювиально-пролювиальных отложениях Убсунурской впадины до 100—200 м. Удельные дебиты скважин 0,1—1 л/с, в ал-

лювиальных отложениях долины р. Енисей они достигают 10 л/с; преобладающие дебиты родников 0,05—1 л/с.

Воды юрских отложений в Улугхемском артезианском бассейне в зоне активного водообмена на глубинах 0—30 м безнапорные, под многолетнемерзлыми породами приобретают напоры в 10—100 м; пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 0—75 м, иногда выше поверхности земли до 3 м. Удельные дебиты скважин 0,1—3 л/с, дебиты родников 0,03—15 л/с, преобладают 0,1—0,5 л/с. Воды зоны активного водообмена гидрокарбонатные кальциевые и магниевые, с минерализацией до 0,8 л/с, в зоне замедленного водообмена — сульфатные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые, с минерализацией до 3 г/л.

С породами палеозоя и протерозоя связаны трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жилльные воды, встречающиеся до глубины 300—500 м. Трещинные и трещинно-карстовые воды безнапорные, залегают в зависимости от рельефа на глубинах от первых до 100 м. Трещинно-жилльные и трещинно-пластовые воды, развитые на значительных глубинах, часто напорные. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах до 75 м. Дебиты родников составляют 0,1—1 л/с. Высокодебитные источники (до 5—10 л/с) приурочены к закарстованным участкам и зонам разломов. Удельные дебиты скважин изменяются при этом от 0,1 до 3 л/с. Верхние части глубоко расчлененных горных массивов часто сдраны и безводны.

Современные геологические процессы и явления. Тувинский регион представляет собой сейсмоактивную территорию, на которой возможны землетрясения силой 7 и 8 баллов (см. рис. 4.2). Наиболее мощные 8-балльные землетрясения можно ожидать на западном и восточном флангах хр. Танну-Ола, где вероятность повторения наиболее сильных землетрясений оценивается коэффициентом 0,5 (один раз в 50 лет). В северо-восточном направлении мощность вероятных землетрясений и частота их снижаются. Землетрясения силой 7—8 баллов приводят к значительным разрушениям на поверхности и сопровождаются обильными сейсмогенными обвалами. Более часты землетрясения малой силы, но и они резко активизируют развитие гравитационных процессов в горных частях территории.

Наибольшее распространение в регионе имеет группа криогенных процессов, весьма разнообразных, развитых по площади неравномерно и проявляющихся в разных частях района не одинаково. Отмечаются морозное пучение, морозобойное растрескивание, солифлюкция, термокарст, наледообразование и др.

Многолетние бугры пучения, достигающие в высоту 15 м и десятков метров в диаметре, встречены на востоке Тоджинской котловины в сквозных и перевальных седловинах и в подгольцовом поясе хр. Восточный Танну-Ола. Крупные бугры пучения во многих случаях содержат ледяные ядра или линзы льда, но встречаются торфяные минеральные бугры.

Морозобойное трещинообразование широко развито в Тоджинской котловине на площади развития многолетнемерзлых пород, где оно приводит к формированию полигонального рельефа. Морозобойными трещинами разбита поверхность бугров пучения в Хандагатайской котловине. В долине р. Мажалык на левобережной пойме наряду с буграми пучения развиты полигональные формы, приуроченные к глинистым породам. Поверхность полигонов слабо вогнутая, разбита заяющими вертикальными трещинами клинообразной формы шириной 1—3 см у поверхности и глубиной 0,2—0,5 м, которые в пониженных участках в период дождей заполняются водой, растительными остатками, минеральными частицами. Трещины образуют многоугольники с поперечником от 0,1 до 3,5 м, изредка до 7 м. Морозобойному растрескиванию, а затем и морозному выветриванию подвержены также коренные породы, слагающие крупные хребты и выступы коренных пород во впадинах. В значительной мере в результате морозного выветривания на плоских водоразделах формируется элювий, который затем вовлекается в процессы криогенного пучения, солифлюкционного оползания или в склоновые процессы.

Солифлюкция развивается как на пологих склонах в гольцовом поясе, так и в районах развития низкогорного и бугристого рельефа. В результате медленного солифлюкционного оплывания формируются многочисленные ярусные нагорные террасы, а быстрая солифлюкция приводит к образованию неправильных по форме языков и оплывин. Такие формы встречаются как в высокогорье, так и в Тоджинской котловине на поверхности морен. Для многих частей региона солифлюкционное оползание более характерно для северных склонов.

Термокарстовыми считаются небольшие котловины округлой формы, занятые озерами в долинах рек Бий-Хем, Тоора-Хем, Хамсары, Чаваш, Чапши; они носят местное название «золли» и «пфули». Много таких озер в Серлиг-Хемской котловине.

Наледообразование происходит на высотах более 1000 м: в руслах и на поймах рек формируются сезонные наледи мощностью 1—4 м, площадью до 10 тыс. м², имеющие неровную поверхность, покрытую натеками и буграми высотой до 1,5 м. В приводораздельных сужениях долины встречаются висячие наледи, ледопады и каскады наледей. Образование наледей начинается в декабре, таяние их завершается в июле—августе.

Повторно-льдные льды обнаруживают чаще всего в аллювиальных или озерных отложениях. Так, в долине р. Нарын они вскрываются в бортах глубоких оврагов, спускающихся к реке и в отложениях второй надпойменной террасы: льды установлены до глубины 6 м. Кроме того, плейстоценовые ледяные жилы известны в обнажении «Мерзлый Яр» (Тоджинская котловина, р. Бий-Хем), где они перекрыты мощным слоем более молодых отложений.

Гравитационные процессы развиты главным образом в горных районах. Наиболее опасные среди них — сели и лавины, но эти процессы на территории региона практически не изучены. Наибо-

лее селеопасна западная часть хр. Танну-Ола: здесь возможно формирование как дождевых селей, так и селей снеготаяния. Район наиболее вероятного регулярного схождения лавин — осевая часть хр. Танну-Ола. В его периферических частях лавинная сеть разрежена, лавины сходят раз в несколько лет.

Постоянно на склонах развиваются обвалы, осыпи, делювиальный и пролювиальный смыв. В гольцовой и подгольцовой зонах хребтов распространены курумы, представленные типичными щебнисто-глыбовыми полосами, вытянутыми вниз по склону.

Каменные глетчеры встречаются преимущественно на склонах северной экспозиции в полосе от орографической снеговой линии вниз на 400—600 м, нижняя граница их распространения располагается, как правило, выше границы леса. Они всегда приурочены к поясу сплошного развития криолитозоны, к участкам наиболее активного развития морозного выветривания. Каменные глетчеры малоподвижны, подвижки возникают временами, быть может периодически, в результате увлажнения талыми и грунтовыми водами, неравномерного возникновения льда в пустотах среди обломков сезонного и суточного протаивания и замерзания пород. Скорость перемещения материала глетчеров измеряется сантиметрами в год.

В Хемчикской и Кызыльской впадинах интенсивно развивается ветровая эрозия почв и грунтов, связанная главным образом с ветрами северо-западного направления, особенно сильными весной и имеющими иногда характер фенных или пыльных бурь, в процессе которых переносится масса глинистого и пылеватого материала. На локальных участках этих впадин существуют подвижные песчаные дюны и барханы; так, барханы на берегах р. Тес-Жем иногда засыпают пойму, а иногда перемещаются с одного берега реки на другой. Пески из полужакрепленных дюн на правобережье р. Чадан заносятся ветром высоко на склон, ограничивающий долину с востока; они перекрывают как склоновые отложения, так и скальные выходы пород, образуя на склонах золотые треугольники, сужающиеся по направлению к перевалам, находящимся на высоте 200—300 м над долиной; иногда пески перехлестывают через седловины на восточный склон, образуя там песчаные осыпи, сконцентрированные в ложбинах. Таким образом происходит перенос не только пылеватых частиц, но и мелко-среднезернистых песков из Хемчикской впадины через довольно высокий водораздел в Кызыльскую впадину.

ГЛАВА 8 ГОРНО-АЛТАЙСКИЙ РЕГИОН

Горно-Алтайский регион занимает обширную западную часть Алтае-Саянского складчатого сооружения. Он почти полностью входит в состав Алтайского края, лишь небольшие его части на юго-западе принадлежат Восточно-Казахстанской области, на

юго-востоке Тувинской АССР и на северо-востоке Кемеровской области. Территория Горного Алтая освоена в целом плохо и очень неравномерно. В северных низкогорных ее частях развито сельское хозяйство, в ряде районов ведется лесное хозяйство, имеется ряд рудников, обширные площади в центральной и южной частях региона остаются неосвоенными и часто труднодоступными из-за отсутствия дорог. Редкая дорожная сеть на большей части территории приурочена главным образом к речным долинам.

Горный Алтай — это горная страна, наиболее высокие хребты которой находятся на юго-востоке СССР. Абсолютные высоты многих вершин хребтов южной части Горного Алтая превышают 3500 м. Средневысотные хребты и массивы, занимающие северную часть региона, часто имеют уплощенные или выпуклые вершины, крутые склоны, глубоко расчленены долинами рек и ручьев, падинами и эрозионными промоинами.

Характерная черта Горного Алтая — обилие межгорных впадин, расположенных на разной высоте. Наиболее крупная из них — Чуйская, вытянутая на 110 км при ширине до 40 км. Речные долины, имеющие на большем протяжении горный характер, в пределах впадин резко расширяются, террасированы. На Горном Алтае более 5000 озер, крупнейшие из которых — Телецкое и Джулукуль.

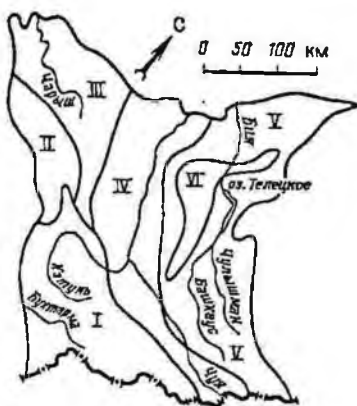
Климат Горного Алтая суровый континентальный. Перепады температуры воздуха достигают 95 °С. На большей части территории среднегодовые температуры воздуха отрицательны, на севере региона положительны. Для ряда районов отмечается зимняя температурная инверсия. В замкнутых межгорных впадинах устанавливается аномальный температурный режим: в начале зимы они заполняются холодным воздухом, который до конца зимы остается практически неподвижным и все более охлаждающимся, что создает местные температурные инверсии (воздух над водоразделами может быть на 25—30° теплее, чем в котловинах).

Важная особенность Горно-Алтайского региона — обилие ледников и многолетних снежников. Число ледников превышает 1000, занимаемая ими площадь достигает 890—910 км², а содержащаяся в них масса льда превышает 57 км³.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Горный Алтай в структурном и формационном отношении сложен и неоднороден. В его состав входят салаирские и позднекаледонские складчатые структуры, герцинские орогенные прогибы, докаледонские массивы, разновозрастные интрузивные комплексы. Древние структуры осложнены в результате глыбовых перемещений на различных этапах мезо-кайнозойского тектогенеза. Такая разнородность позволила В. П. Нехорошеву (1966) выделить в пределах Горного Алтая шесть структурно-фациальных зон (рис. 8.1), в пределах каждой из которых история геологического развития на протяжении длительного отрезка времени (не менее периода) значительно отличалась от соседних, что отразилось в строении формационных рядов и составе геологических формаций этих зон. Преобладающим развитием пользуются геосинкли-

Рис. 8.1. Схема расположения структурно-фациальных зон Горного Алтая (составлена на основе Геологической карты СССР масштаба 1:2 500 000 [10], схем В. П. Нехорошева, 1966 г., В. А. Кузнецова, 1986 г. и др.):

I — Холзуно-Чуйская; II — Коргононская; III — Талицкая; IV — Ануйско-Чуйская; V — Катунская; VI — Уймено-Лебедская



нальные формации, орогенные играют меньшую роль, нацело слагая лишь Уймено-Лебедскую структурно-фациальную зону (рис. 8.2).

Метаморфическая гнейсовая формация докембрия залегает в отдельных выступах фундамента в Холзуно-Чуйской структурно-фациальной зоне. Ее слагают интенсивно перемятые трещиноватые гнейсы и кристаллические сланцы, у которых временное сопротивление сжатию превышает $800 \cdot 10^5$ Па, слюдистые кварциты, иногда амфиболиты, значительно реже мраморы и кальцитопиры. В отдельных разрезах преобладают орто- и парасланцы, метаморфизованные в фации хлоритовых и амфиболовых сланцев, изредка встречаются графитовые сланцы. Неоднородность формации возрастает в связи с тем, что помимо регионального, породы испытали контактовый метаморфизм и метасоматоз, проявленные вблизи крупных магматических тел. При выветривании пород формации образуются плитчатые осыпи.

Метаморфическая кремнисто-карбонатная формация верхнего протерозоя (?) мощностью 2—3 км и более слагает основание разреза Катунской структурно-фациальной зоны. Она представлена мраморизованными известняками и доломитами, массивными и тонкослонистыми мраморами с подчиненными прослоями силицилитов, кварцитов и железистых кварцитов, песчаников, углисто- и кремнисто-глинистых сланцев, редких покровов порфиритов, спилитов и туфов (баратальская серия). Кристаллические известняки могут быть битуминизированы, обладают массивной текстурой и грубой слонистостью. Временное сопротивление сжатию известняков достигает $980 \cdot 10^5$ Па. Иногда известняки закарстованы. В западном крыле антиклинория по всему разрезу резко возрастает роль вулканогенных пород — массивных базальтовых лав, представленных зеленокаменно измененными порфиритами, туфов, количество которых меняется от разреза к разрезу, а также вулканогенно-осадочных конгломератов, гравелитов, брекчий, песчаников, туффитов.

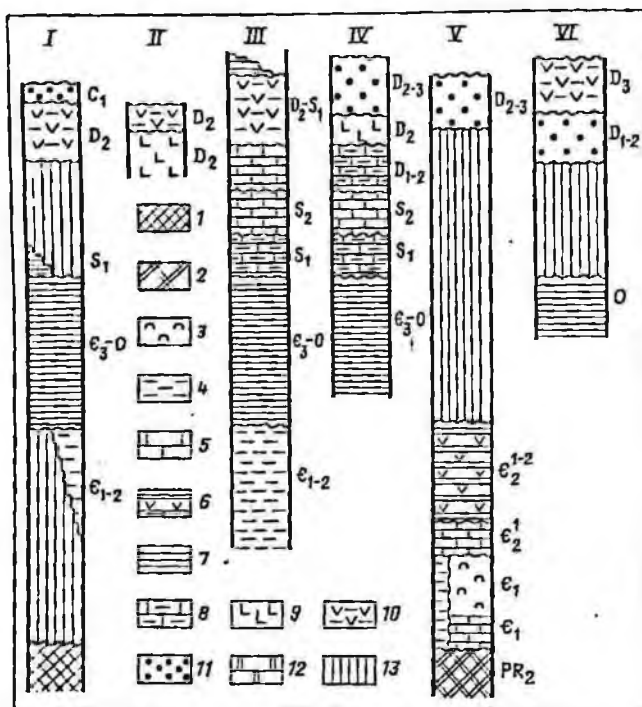


Рис. 8.2 Соотношение формационных рядов в структурно-фациальных зонах (I—VI см. рис. 8.1) Горного Алтая:

Гепсиялиевые формации: 1 — метаморфическая гнейсовая; 2 — метаморфическая карбонатная или кремнисто-карбонатная; 3 — спилито-кератофировая; 4 — терригенная; 5 — карбонатная; 6 — вулканогенно-осадочная; 7 — флишондная; 8 — терригенно-карбонатная. Орогенные формации: 9 — вулканогенная; 10 — вулканогенно-осадочная; 11 — молассовая; 12 — карбонатная; 13 — перерыв в осадконакоплении

Карбонатная формация раннего кембрия, развита также в Катунской зоне, сложена слонстыми известняками, массивными мраморизованными известняками, а в верхней трети — переслаиванием известняков, мергелей, карбонатных сланцев и песчаников. Мощность формации достигает 1,1 км, но в западном направлении уменьшается иногда до первых сотен метров. На размытой поверхности карбонатной формации залегают породы спилито-кератофировой нижнекембрийской формации мощностью до 3,5 км, в составе которой присутствуют зеленокаменно измененные рассланцованные основные и, реже, кислые эффузивы, грубообломочные туфы, прослойки конгломератов, вулканомиктовых песчаников, сланцев, горизонты известняков (временное сопротивление сжатию известняков превышает $1200 \cdot 10^5$ Па). Эффузивы формации стойки к выветриванию и образуют в рельефе возвышенности. При разрушении пород формации образуются плитчатые осыпи. В целом

формация близка по составу к вулканогенно-терригенной формации Западного Саяна и юга Кузнецкого Алатау.

Только в Катунской структурно-фациальной зоне нижнекембрийские формации перекрываются карбонатной формацией среднего кембрия мощностью до 2 км. Известняки низов разреза этой формации обладают временным сопротивлением сжатию от $800 \cdot 10^5$ до $1000 \cdot 10^5$ Па, а прослой песчаников в них от $1000 \cdot 10^5$ до $2300 \cdot 10^5$ Па. Завершается разрез геосинклинальных формаций Катунской зоны породами вулканогенно-осадочной формации середины и верхов среднего кембрия мощностью до 5 км, в составе которой чередуются мощные толщи порфиритов, песчаников, изредка встречаются горизонты и линзы конгломератов и известняков. Эффузивы, в большинстве своем претерпевшие зеленокаменные изменения, как правило, рассланцованы, временное сопротивление сжатию у них превышает $600 \cdot 10^5$ Па.

Флишондная формация верхнего кембрия—ордовика, наиболее широко распространенная в регионе, встречается в большинстве структурно-фациальных зон (см. рис. 8.2). В ее составе доминируют однообразные песчано-сланцевые толщи, представленные чередованием алевролитов, песчаников и глинистых сланцев с резко подчиненными прослоями конгломератов, кремнистых и глинисто-кремнистых сланцев (горноалтайская свита и ее аналоги).

Терригенно-карбонатная нижнесилурийская формация развита в Талицкой, Ануйско-Чуйской и ограничено в Холзуно-Чуйской зонах. Эта формация мощностью до 3 км сложена известняками, иногда мраморизованными, песчаниками, реже глинистыми сланцами. В Ануйско-Чуйской зоне мощность ее уменьшается до 1,2 км, а состав становится более невыдержанным, что обусловлено сочетанием собственно морских, прибрежно-морских и лагуно-континентальных фаций.

Карбонатная формация, сменяющая предыдущую, имеет в Ануйско-Чуйской зоне верхнесилурийский, а в Талицкой—верхнесилурийско-среднедевонский возраст. Она представлена преимущественно известняками, лишь в самых верхах разреза дополненных горизонтами песчаников и конгломератов. Мощность формации до 2,5 км. В Ануйско-Чуйской зоне на поверхности карбонатной располагается терригенно-карбонатная формация нижнео-среднего девона мощностью в 2,5 км, в нижней части которой песчаники, гравелиты и конгломераты часто преобладают над известняками, а в верхней—в одних районах могут доминировать известняки или переслаивание известняков и мергелей, а в других—глинистые сланцы, алевролиты или аргиллиты. Породы карбонатной и терригенно-карбонатной формаций смяты в узкие линейные складки.

В наложенных прогибах залегают орогенные формации, образующие брахиформные структуры. Вулканогенная среднедевонская формация мощностью до 6 км слагает почти нацело Коргонскую структурно-фациальную зону, где она представлена главным образом кислыми эффузивами, которые на части территории в

нижней половине разреза могут замещаться основными породами; в центральной части разреза формации присутствуют песчаники и конгломераты. В Ануйско-Чуйской зоне формация почти нацело сложена кислыми и средними эффузивами. Вулканогенно-осадочная формация среднего девона развита более широко (см. рис. 8.2). Она имеет мощность до 1,5 км и представлена перемежающимися пачками песчаников, сланцев и кислых эффузивов. В Уймено-Лебедской зоне эта формация образуется в верхнем девоне и отличается более основным составом эффузивов, а иногда содержит прослой известняков. Как вулканогенно-осадочная, так и вулканогенная формации характеризуются крайней невыдержанностью состава пород и наличием большого количества внутриформационных перерывов и несогласий.

Молассовая формация образовалась в Уймено-Лебедской зоне в нижнем—среднем девоне, в Ануйско-Чуйской и Катунской зонах в среднем—верхнем девоне, а в Холзуно-Чуйской зоне в раннекаменноугольном периоде. Мощность ее крайне непостоянна, но не превышает 2 км. Представлена она красноцветными конгломератами, перемежающимися с красно- и сероцветными песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами, иногда (в Уймено-Лебедской зоне) может содержать подчиненные прослои андезитов и известняков.

Карбонатная формация нижнего карбона встречается только в Талицкой зоне, где она представлена известняками мощностью около 100 м.

Интрузивные формации разнообразны по составу, размерам тел и форме их, времени образования. Встречаются как крупные батолиты, так и мелкие штоки, дайки, жилы и т. д. Наибольшее значение имеют крупные массивы средне- и позднепалеозойских гранитоидов, в апикальных частях которых широко развиты ксенолиты вмещающих пород. Встречаются комплексы гипербазитов, габбро, диоритов.

Приведенные материалы показывают, что в Горно-Алтайском регионе широко распространены метаморфические или в той или иной степени метаморфизованные образования, возникшие как за счет вулканогенных, так и за счет осадочных пород, участвующие в строении всех формаций, начиная от древнейших до силурийских включительно. Проявления регионального метаморфизма во многих частях региона осложнены наложенными на него процессами фельдшпатитизации и более поздним контактным метаморфизмом. Интрузивные комплексы метаморфизованы различно: кембро-ордовикские и силурийские — регионально метаморфизованы, часто огнейсованы и рассланцованы, девонские — метаморфизованы значительно меньше, а верхнепалеозойские — слабометаморфизованы лишь на отдельных участках.

Палеоген-неогеновые отложения сосредоточены в основном в межгорных впадинах. Разрез их наиболее полно представлен в Чуйской и Курайской впадинах, где мощности палеоген-неогеновых отложений, вскрытых скважинами (Чуйская впадина) превышает

465 м (рис. 8.3), предполагается, что они могут достигать 800 м. Эти отложения залегают почти горизонтально, для них характерны отчетливая слоистость, наличие дислокаций лишь в краевых частях впадин, сравнительная выдержанность литологического состава свит во всех направлениях, чередование в разрезе преимущественно глинистых, песчано-галечных и алевритовых толщ.

Четвертичные отложения, развитые на всей территории региона, образуют следующие стратиграфо-генетические комплексы: аллювиальный и озерно-аллювиальный нижнего—верхнего плейстоцена; озерный нижнего—верхнего плейстоцена; ледниковый среднего—верхнего плейстоцена; водно-ледниковый среднего—верхнего плейстоцена; перигляциальный лёссовидных суглинков верхнего (?) плейстоцена; склоновый среднего (?) —верхнего плейстоцена и голоцена, современный ледниковый, аллювиальный голоценовый.

Аллювиальные и озерно-аллювиальные отложения нижнего—верхнего плейстоцена залегают совместно, образуя смешанные комплексы, или раздельно, но всегда имеют близкий, преимущественно галечниковый состав и косослоистое строение, песчано-глинистый заполнитель. В них присутствуют прослои песка мощностью до 0,5 м, спорадически обладающие плавунными свойствами. Иногда с поверхности отложения комплекса прикрыты суглинками. Мощность отложений в отдельных впадинах достигает 90 м. Они занимают обширные площади в Чуйской, Курайской, Уймонской, Абайской и других межгорных впадинах, а также слагают высокие террасы рек в высокогорной и среднегорной частях территории. Современные аллювиальные отложения слагают русла рек, их поймы и первую надпойменную террасу. Представлены они различным сочетаниями песков, галек, реже суглинков и глин.

Озерные отложения нижнего—верхнего плейстоцена чаще всего встречаются в краевых частях межгорных впадин или вблизи от них. Они представлены слоистыми песчано-гравийными и суглинистыми образованиями, иногда песчано-галечниковыми, мощностью от первых до десятков метров.

Ледниковые отложения среднего—верхнего плейстоцена (морены) распространены преимущественно в южной части региона на высотах более 1800 м, к северу занятые ими площади сокращаются. Разновозрастные морены залегают обычно в одних и тех же районах, зачастую перекрывая друг друга. В составе морен преобладают остроугольные, почти неокатанные глыбы и щебень, сцементированные смесью дресвы, песка, в меньшей степени суглинистого материала. Породы очень устойчивы, с трудом поддаются разработке. Они почти всегда безводны. К внутренней стороне конечно-моренных валов часто примыкают участки, сложенные отложениями приледниковых озер. Поверхность их располагается гипсометрически ниже валов и почти горизонтальна. Состав отложений, слагающих эти площадки, близок к составу конечно-моренных образований, но они могут содержать повышенное количе-

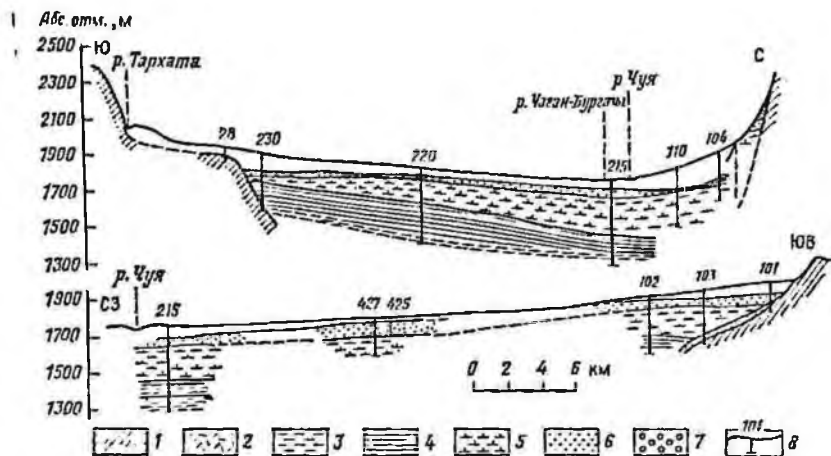


Рис. 8.3. Геологическое строение Чуйской впадины Горного Алтая:

1 — палеозойские породы; 2 — переотложенные коры выветривания (карачумская свита); 3 — известняково-песчано-глинистые отложения (красногорская свита); 4 — глины и аргиллиты углесисые (кошагачская свита); 5 — глины карбонатные (тусрывская свита); 6 — алевроиты, реже пески мелкие (тархатинская свита); 7 — галечники, валуны (бекенская свита); 8 — скажина и её номер

ство глинистого заполнителя и линзовидные прослои песчано-щебнистого, песчано-гравийного или песчано-глинистого материалов.

Выше по долинам ледниковые отложения представлены боковыми, донными или основными моренами и валами стаднальных морен: первые образуют вытянутые вдоль долин валы на склонах, вторые выстилают днища долин, а стаднальные слагают неправильной формы валы, перегораживающие долины. Поверхность этих морен неровная, бугристая. В их составе преобладают крупные валуны, достигающие 2,5 м, в меньшей мере участвует галька, заполнителем служит песчано-глинистый материал.

Морены всех типов обладают крайне невыдержанным составом. Они могут быть сложены валунами размером до 2,5 м и содержать лишь незначительное количество песчано-гравийного заполнителя, чаще состоят из валунно-галечного материала, смешанного с глинами, суглинками и песками, дресвой и полуокатанными обломками, но могут быть сложены более чем на 50 % глинами и суглинками, содержащими валуны и гальку в виде неравномерно распределенной примеси. Их физико-механические свойства изменяются в широких пределах.

Современные ледниковые отложения развиты по периферии существующих ледников в виде небольших валов или полей морен, расположенных на окончаниях ледниковых языков. От более древних морен они отличаются меньшим содержанием глинистого материала.

Водно-ледниковые отложения среднего—верхнего плейстоцена (флювиогляциальные и озерно-ледниковые) развиты в зоне, не-

посредственно прилегающей к области развития ледников, и могут переслаиваться с моренами. Озерно-ледниковые накопления чаще всего представлены пачками ленточных супесей мощностью до 40 м; флювиогляциальные валунно-галечные отложения по мере удаления от края морен становятся все менее грубыми и постепенно сливаются с аллювием, отличить от которого их не всегда удается. Коэффициенты фильтрации галечно-гравийных отложений составляют 16—50 м/сут, песков — 8—22 м/сут, угол естественных откосов — 35—60°.

Перигляциальные лёссы и лёссовидные суглинки и супеси встречаются в межгорных впадинах северной части региона в виде покровов мощностью до 6 м и более. К ним близки также аллювиальные суглинки, слагающие верхние части разрезов надпойменных террас и часть суглинков склонового комплекса. Последние менее пластичны, чем остальные типы покровных суглинков, и не всегда обладают просадочными свойствами. Коэффициент пористости лёссовидных суглинков 0,72—1,18, естественная влажность 5—34 % [28].

Водораздельные и склоновые отложения среднего (?) — верхнего плейстоцена и голоцена представлены элювиальными, делювиальными, пролювиальными, осыпными, обвальными и смешанными типами отложений. В их составе преобладает несортированный или слабо сортированный обломочный материал, петрографический состав которого тесно связан с составом подстилающих пород или пород, залегающих выше по склону. В районах развития низкогорного рельефа они содержат много суглинков; для средне- и высокогорных территорий более характерны сочетания суглинков и супесей с щебнями, глыбами и дресвой. Элювиальные и элювиально-делювиальные образования приурочены к плоским водоразделам и верхним частям склонов: это преимущественно суглинки с примесью щебня подстилающих пород и лишь изредка, например в Теректинском и Чуйском хребтах, глыбовые россыпи. Делювиально-пролювиальные отложения часто покрывают склоны почти сплошным чехлом и образуют шлейфы в их основании: это щебнисто-галечные плохо сортированные накопления, сцементированные суглинками и супесями, мощностью, изменяющейся в зависимости от формы склонов, от первых до десятков метров.

Пролювиальные, а чаще аллювиально-пролювиальные образования, широко распространены на Горном Алтае. Они слагают конусы выноса, часто вложены в аллювиальные или озерно-аллювиальные комплексы. Это косо- или лпнзовидностолстые, чаще грубо-слоистые щебнисто-галечные и щебнисто-глыбовые образования, плотно сцементированные суглинками или супесями. Мощность их 10—15 м, но может достигать 30 м.

На юге региона резко возрастает роль осыпных и обвальных образований, сложенных щебнем и глыбами и почти не содержащих мелкозема. Они имеют вид конусов, поднимающихся до высоты 100—120 м над урезом рек. Встречаются подвижные осыпи.

Малоподвижные крупнообломочные осыпи обычно связаны с гранитами, эффузивами, массивными песчанниками, подвижные — с алевролитами и сланцами.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Горный Алтай относится к регионам, для которых геокриологическая обстановка представляет собой один из определяющих факторов инженерно-геологических условий. В южной части региона криолитозона пользуется практически сплошным распространением, в направлении на север сплошность ее постепенно уменьшается и появляются районы прерывистого и островного развития многолетнемерзлых пород, а вдоль северного фаса Алтая — зона сезонного промерзания горных пород (рис. 8.4). Общая картина зонального строения криолитозоны значительно осложняется геоморфологическими и климатическими факторами.

В пределах наиболее высоких хребтов многолетнемерзлые породы чаще всего имеют сплошное распространение, в районах, где преобладают более низкие горные массивы и хребты, сплошность криолитозоны уменьшается. Для высоких хребтов характерно, что пояс сплошного развития криолитозоны распространяется до днщ всех, в том числе наиболее глубоко врезанных долин. В то же время распределение преобладающих высот рельефа позволяет выделить на Алтае четыре высотных геокриологических пояса: сезонного промерзания пород, островного, прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых пород.

На склонах западной экспозиции нижняя граница распространения многолетнемерзлых пород опускается значительно ниже, чем на склонах, обращенных к востоку. Также значительны различия между склонами северной и южной экспозиции, которые проявляются главным образом в районах прерывистого и островного развития криолитозоны, то есть преимущественно в центральных и северных частях региона.

По мнению М. М. Шаца [89], мощность криолитозоны в различных высотных геокриологических поясах составляет: в поясе островного распространения многолетнемерзлых пород 6—90 м, в поясе прерывистого распространения 50—160 м, в поясе сплошного распространения 80—600 м. Фактические данные указывают на более сложные соотношения. Так, в Чуйской впадине, расположенной на высоте 1750 м и практически нацело перекрытой многолетнемерзлыми породами, нижняя граница мерзлых пород расположена на глубине 45—60 м, грубо совпадая с подошвой алевритовой тархатинской свиты, но в ряде случаев она опускается на глубину 75—90 м, а в одной из скважин многолетнемерзлые породы были обнаружены на глубине 182 м. Сокращение мощности многолетнемерзлых пород и формирование таликов в Чуйской впадине происходит вблизи от русел крупных рек, на участках поступления во впадину аллювиальных грунтовых потоков из примыкающих к впадине долин, и, по-видимому, в зонах разгрузки подземных вод, стекающих вдоль склонов. Так же обстоит дело и в других межгорных впадинах.

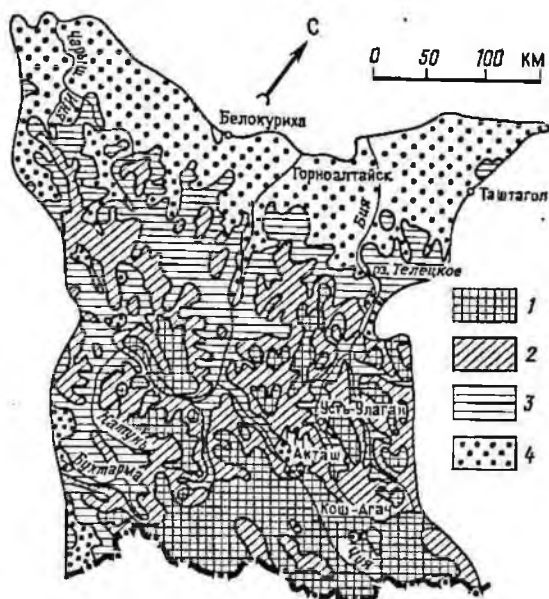


Рис. 8.4. Схема распространения многолетнемерзлых пород на территории Горного Алтая (составил Л. И. Розенберг по собственным данным с учетом материалов Н. И. Труш и М. М. Шаца):

Районы распространения пород: 1 — практически сплошного (мощность пород 70—700 м); 2 — прерывистого; 3 — островного; 4 — редких островов, перелетков и сезонного промерзания

О мощности криолитозоны в коренных породах можно судить по наблюдениям в Сукорском блоке (высота 2800—2900 м), разделяющем Чуйскую и Курайскую впадины: она здесь составляет 360—400 м. Близка к 400 м мощность криолитозоны в районе пос. Акташ; на плато Укок в районе Калгутинского рудника (высота 2210 м) она оценивается в 170—200 м. Мощность криолитозоны на хр. Сайлюгем (3000—3500 м) по косвенным данным составляет 300—350 м. Однако по вполне обоснованному предположению М. М. Шаца [89] в высокогорных районах Горного Алтая можно ожидать километровую мощность криолитозоны.

На подошве слоя годовых колебаний температура пород часто близка к $-6 \dots -7$ °С.

Мощности слоев сезонномерзлых пород составляют 1—10 м, а сезонно-талых пород — могут достигать нескольких метров. Так, в Чуйской впадине мощность сезонно-талого слоя в озерно-пролювиальных и флювиогляциальных галечниках и валунниках достигает 5—5,5 м, в делювиально-пролювиальных щебнях с суглинистым заполнителем обычно не превышает 1—2 м, в моренах составляет 1—3 м. Неогеновые глины, развитые по окраинам впадин, протавпают всего на 1 м или менее. На севере Курайской впадины в галечниках и гравийно-галечных отложениях с песчаным и

супесчаным заполнителем мощность сезонно-талого слоя достигает 5 м, а на юге, где многолетнемерзлые породы развиты островами, — всего 0,65—1,2 м. Эти данные указывают на то, что хотя и существуют самые общие закономерности сезонного промерзания и сезонного протаивания пород, они резко изменяются в различных районах Горного Алтая и требуют тщательного изучения при инженерно-геологических изысканиях в каждом конкретном районе, так как именно с слоем сезонных изменений мерзлотных условий связаны наиболее активные геологические процессы.

Встречаются породы разной степени льдистости, содержащие отдельные кристаллы льда, ледяные пленки, прослойки и прожилки льда в породах. В Кош-Агаче встречены сыпучемерзлые породы, залегающие на поверхности твердомерзлых отложений с массивной текстурой. Среди многолетнемерзлых пород часто встречаются крупные залежи подземных льдов различного происхождения, среди которых выделяют миграционные (сегрегационные), интрузивные и маломощные жильные и повторно-жильные [25]. Крупные ледяные тела могут быть погребены моренами, иногда встречаются в разрезе кайнозойских отложений. В хребтах Южно-Чуйском и Теректинском (исток р. Большой Яломан) встречены погребенные наледы.

Почти все четвертичные отложения могут быть водоносными. Наиболее постоянны водоносные горизонты аллювиальных отложений, а морские и склоновые отложения обводнены лишь спорадически. Также неодинакова глубина залегания подземных вод, зависящая как от характера рельефа, так и от мощности и положения в разрезе водовмещающего горизонта, но чаще всего воды залегают на глубине до 30 м. Воды поровые, безнапорные, под покровами суглинков приобретают местные напоры. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород 3—140 м/сут, дебиты источников 0,01—20, редко до 80 л/с (с. Курай), удельные дебиты скважин 0,2—10 л/с. В районах развития многолетнемерзлых пород присутствуют воды сезонно-талого слоя и подрусловых таликов, а в Чуйской впадине и маломощные (до 6 м) горизонты межмерзлотных вод. Таликовые и межмерзлотные воды могут иметь напор. Грунтовые воды четвертичных отложений могут приобретать криогенный напор при сезонном промерзании водовмещающих пород: разгрузка их в этом случае происходит не только на поверхность, но и в подземные помещения жилых и производственных зданий.

Неоген-палеогеновые отложения содержат воду в песчано-гравийно-галечниковых слоях: это поровые воды, которые в Чуйской, Тархатинской и ряде других впадин являются подмерзлотными. Под многолетнемерзлыми или под существенно глинистыми породами они имеют напоры до 200 м, пьезометрические уровни располагаются на разных глубинах, могут быть выше поверхности земли на 20—30 м, удельный дебит скважин 0,01—1 л/с, при самоизливе до 4 л/с. Температура подмерзлотных вод летом изменяется от долей градуса до 2°.

Гидрогеологические массивы содержат трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жилые, преимущественно безнапорные воды, залегающие в области питания, т. е. на водоразделах, на глубине 1—10 м, на склонах глубина их залегания зависит от мощности трещиноватой зоны и может достигать десятков метров. Под локровом кайнозойских отложений эти воды приобретают напоры. Удельные дебиты скважин в эффузивах и сланцах — тысячные или сотые доли литров в секунду, в закарстованных карбонатных породах и в зонах разломов — 0,5—10 л/с. Широко распространены ультрапресные (до 0,3 г/л) сильно агрессивные воды (углекислая агрессия >1). В криогеологических массивах подземные воды встречаются в подрусловых и подозерных таликах, в зонах разломов, реже развиты подмерзлотные воды. Таликовые воды фиксируются постоянно действующими источниками. За счет протаивания многолетнемерзлых пород формируются надмерзлотные воды локального распространения.

Современные геологические процессы и явления. Активные современные геологические процессы на Горном Алтае связаны, прежде всего, с широким развитием криолитозоны. Сравнение с другими регионами Алтае-Саянской горной страны показывает, что по характеру криогенных процессов Горный Алтай может быть сопоставлен только с Саяно-Сангиленским регионом, обладающим столь же мощной криолитозоной, но по многообразию форм их проявления и активности занимает, безусловно, первое место в Алтае-Саянском регионе. На втором месте по распространенности стоят гравитационные процессы, предопределенные широким развитием крутосклонного рельефа, глубоких врезов и весьма протяженных склонов. Сели и лавины развиты на Горном Алтае ограниченно, существенны также водные, эоловые и карстовые процессы.

Землетрясения вероятны на всей территории Горно-Алтайского региона, но распределение их по площади неравномерно. В целом частота и интенсивность землетрясений возрастают с севера на юг и юго-восток. На юге региона может быть выделена широтная полоса, проходящая через Чуйскую впадину и хр. Чихачева, в пределах которой инструментально зафиксировано множество землетрясений с магнитудой от $5\frac{1}{2}$ до $6\frac{1}{2}$. Землетрясения 11 и 12 энергетических классов фиксируются практически на всей территории региона. В большинстве своем эпицентры землетрясений приурочены к зонам глубинных разломов. Особую опасность землетрясения представляют из-за того, что они сопровождаются большим количеством сейсмогенных обвалов.

Криогенные процессы проявляются в образовании или преобразовании специфических форм криогенного микрорельефа. Лучше всего они изучены в южной половине региона, эти данные чаще всего и приводятся ниже.

Морозобойное растрескивание происходит как в скальных породах, выходящих на дневную поверхность или залегающих на небольшой глубине, так и в рыхлых отложениях, в том числе и в тех-

ногенных формированиях. Наиболее активно оно протекает в тыловых частях пойм, I и II надпойменных террас, характерно для большинства озерно-аллювиальных и водноледниковых равнин. Преобладают прямолинейные трещины длиной до 20 м при ширине до 0,3 м и глубине до 0,6 м, но встречаются трещины длиной до 120 м и шириной до 1 м. Чаше возникают системы субпараллельных или пересекающихся трещин, образующие полигональный рельеф.

Морозобойное растрескивание значительно осложняет строительство и эксплуатацию инженерных сооружений. Такие трещины постоянно возникают на дорожном полотне Чуйского тракта и во многих других местах. При протяженности 9—16 м и ширине 9—12 см они приводят к деформациям отдельных сооружений и нарушают движение транспорта. Связанные с мерзлотным растрескиванием дорогостоящие ремонтные работы приходится производить на Чуйском тракте ежегодно.

Морозное пучение происходит, как правило, в районах развития многолетнемерзлых пород или на участках, где мощность сезонномерзлого слоя равна или больше мощности водонасыщенных рыхлых отложений, и приводит к образованию сезонных и многолетних бугров пучения.

Сезонные бугры пучения, встреченные в долинах рек Елангаш, Ирбисту, Кок-Узек, к северу от пос. Кош-Агач, приурочены к тыловым частям пойм и низких террас и к долинам мелких рек и ручьев, т. е. к тем именно элементам рельефа, к которым чаще всего привязывается проектируемая дорожная сеть или линии сооружаемых электропередач. Бугры имеют круглую или овальную форму, высоту 1—2 м, плоскую или куполовидную вершину, разбиты трещинами. В их ядрах залегают линзы чистого льда или морозных пород. Криогенное пучение — один из главных факторов, осложняющих строительство и эксплуатацию зданий и сооружений в Чуйской впадине, где в целом ряде населенных пунктов большое число зданий деформировано и пришло в аварийное состояние в результате сезонного пучения грунтов.

Многолетние бугры пучения распространены в долинах рек и прибортовых частях озерных котловин, на поверхности пойм, низких террас, озерно-пролювиальных и водно-ледниковых равнин. Они характерны для частей Чуйской впадины, сложенных четвертичными отложениями, но изредка устанавливаются и на неогеновых породах. Встречаются как одиночные бугры пучения, так и группы их. Это округлые куполовидные холмы высотой 5—10, иногда до 15 м, диаметром до сотен метров с выпуклыми или плоскими вершинами и крутыми склонами, иногда подрезанными термоабразией, в ядрах которых залегают лед или льдистые поролы. Встречаются бугры с ядрами, заполненными водой, с полными ядрами, лишь частично заполненными водой, и с ледяными ядрами, под которыми находились полости, заполненные водой, часто находящейся под давлением. Зимой, чаще всего один раз за сезон, преимущественно в феврале—марте, гидролакколиты «взрываются».

Встречаются деградирующие бугры пучения, выделяющиеся наличием в их центральных частях термокарстовых воронок глубиной 0,5—3 м; часть воронок заполнена водой — поверхность выглядит, особенно на аэроснимках, как скопление маленьких округлых озер.

Термокарстовый процесс развит в Чуйской, Курайской, Бертекской, Ештыккольской, Джулукульской впадинах и ряде других, преимущественно плоскогорных районов Горного Алтая, характеризующихся широким развитием термокарстового рельефа. В районах развития термокарста чередуются повышенные участки, иногда осложненные буграми пучения, и пониженные — просевшие, относительные высоты в пределах которых изменяются от 1 до 15 м. К пониженным участкам приурочены округлые озера размером от 20×50 до 500×700 м, иногда связанные между собой протоками, их преобладающая глубина 0,8—1, реже до 2,5 м, но в дне встречаются провалы до 5—6 м. Дно таких озер илистое, реже песчаное и гравийно-галечное, берега низкие, заболоченные, но иногда встречаются крутые и даже обрывистые, подработанные термоабразией. В заболоченных днищах западин, примыкающих к озерам, часто встречаются многолетние бугры пучения.

Наледообразование распространено по многим рекам, озерам, а также в местах выхода на поверхность грунтовых вод. Ежегодно на Горном Алтае формируется до 250 млн м³ наледного льда, а по некоторым данным [59] только в бассейне р. Чуи суммарный объем наледей достигает 150 млн м³. Различаются речные и грунтовые наледи.

По форме среди наледей выделяются плоские выровненные пространства, ледяные бугры округлой формы диаметром до 50 м при высоте до 7 м и висячие наледи; первые два типа встречаются во всех частях региона, третий только в высокогорье. Разнообразны и размеры наледей: от нескольких сотен тысяч до нескольких миллионов кубических метров, площадью от первых сотен метров до нескольких километров.

Грунтовые наледи формируются преимущественно вдоль основания горных склонов, по бортам долин. Они отличаются наличием ледяных бугров высотой до 3 м, сложенных мутным белым льдом, и ледяных «потоков» — языков льда, вытянутых по нижней периферии этих бугров. Так как выходы грунтовых вод часто приурочены к днищам долин и руслам рек, образуются наледи смешанного происхождения — наиболее крупные по размерам и чаще всего встречающиеся.

Формирование наледей начинается в октябре—ноябре, схождение происходит в апреле—мае, но многие наледи, особенно наледи смешанного типа, часто сохраняются до августа, а в наиболее суровые годы не успевают стаять полностью. Такие долгоживущие наледи наблюдаются по долинам рек Тархата, Бугузун, на левых притоках р. Башкаус и в других местах.

Наледи часто заливают Чуйский тракт и другие дороги, приводят к разрушению мостов, линий электропередач и других объектов, затопляют огородные и приусадебные участки, жилые и обще-

ственные дома. Ремонтно-восстановительные работы, связанные с деятельностью наледей на территории Горно-Алтайской автономной области, ежегодно обходятся в сотни тысяч рублей.

Солифлюкция широко развита на всей территории региона, но проявления ее обычно невелики по размерам, характерно отсутствие быстрых перемещений больших горных масс и крупных солифлюкционных форм и солифлюкционных полей.

Помимо описанных активно развиваются морозная сортировка, сезонно-мерзлотное оплывание, криогенный крип, пластические криотурбации, нивально-морозное выветривание, каменные глечеры и т. д., а также посткриогенные процессы и явления, возникающие на площадях, где ранее существовали ММП.

Курумы Горного Алтая практически не изучены трудно даже оценить, насколько широко они развиты. Единичные наблюдения в гольцовой высокогорной части региона показывают, что в курумах, приуроченных к склонам крутизной до 20° перемещение глыб гранитов происходит со скоростью 2,5—3 см/год, а скорость перемещения щебенки алевритов достигает 3—5 см/год. Курумы северо-восточной части Горного Алтая близки по всем своим характеристикам к курумам Кузнецкого Алатау.

Селевые процессы на Горном Алтае развиты ограниченно, преобладают районы неселеопасные и районы со слабой селевой опасностью, реже встречаются районы средней селевой опасности. По составу сели грязе-каменные. К районам средней селевой опасности относятся северная часть Курайского хребта и отдельные участки гольцовой зоны в его южной и юго-западной частях. В этих районах число селеопасных долин меньше, чем неселеопасных, площади селевых бассейнов составляют 10—20 км², встречаются небольшие (1—6 км²) селевые бассейны. Длина селевых русел, берущих начало в гольцовой зоне, равна 2—10 км, уклоны 0,1—0,26. В большинстве случаев наиболее вероятные объемы выбросов за один сели составят до 0,5 млн м³ (в экстремальных ситуациях до 1,5 млн м³), а селевые расходы до 500 м³/с, но могут достигать и 2000 м³/с.

Районы слабой селевой опасности выделяются в хребтах Чергинском, Коргонском, Айгулакском, Тигирецком и других, а также в приледниковой и подгольцовой зонах Курайского хребта. Здесь сели сходят при крайне сильных ливневых осадках (40 мм и более) в течение 1—2 дней. Иногда причиной схода селей бывает совпадение периода интенсивного снеготаяния с массивными дождями.

Лавины развиты более широко, чем сели, основные районы их развития располагаются в центральной и северной частях региона (рис. 8.5), но изучены они плохо. Широкое распространение на Горном Алтае узких уплощенных водоразделов и примыкающих к ним многочисленных нагорных террас и террасовидных поверхностей различного происхождения в сочетании с большим количеством снеговых осадков в высокогорье является предпосылкой для накопления больших масс снега в приводораздельных частях, а

Рис. 8.5. Схема лавинной опасности Горно-Алтайского, Салаирского и Кузнецкого регионов и прилегающих частей Саяно-Алатауского и Западно-Саянского регионов (составлена на основе карты лавинноопасных районов СССР масштаба 1:7 500 000 под редакцией Г. К. Тушинского, 1971 г.):

Районы лавинной опасности: 1 — значительной, с густой лавинной сетью и ежегодным сходом лавины; 2 — средней, с разреженной лавинной сетью, где лавины сходят не ежегодно; 3 — слабой, в которых отдельные лавины сходят в многоснежные годы; 4 — потенциальной, безопасные в естественных условиях, лавинноопасные при рубках леса, ведении дорожных, горных и планировочных работ



сочетающиеся с ними протяженные склоны — создают условия для схождения крупных лавин.

Обвалы и осыпи широко распространенные явления, особенно характерные для южной половины региона и его восточных частей. Они происходят как на горных, так и на крутых склонах речных долин, в том числе сложенных рыхлыми отложениями. Преобладают осыпные явления, обвалы обычно измеряются первыми или десятками кубометрами пород, но иногда бывают и более крупные обвалы. Наиболее часты обвалы в районах, прилегающих к молодым тектоническим нарушениям и зонам повышенной сейсмической активности, часто совпадающим пространственно.

Карст распространен в районах развития карбонатных пород, практически не изучен. Наиболее часто встречающиеся поверхностные формы карста — открытые пещеры, воронки, провалы, гроты. Распространены они в среднем течении р. Катунь (хр. Молго), по рекам Чарышу, Аную, Песчаной, в нижнем течении р. Чуи и в других местах. Часто встречаются воронки округлой, грушевидной и неправильной формы диаметром до 200 м при глубине до 100 м.

На Горном Алтае известно более 200 пещер, наиболее крупные из которых достигают в длину нескольких десятков метров. Во многих местах встречаются карстовые источники.

Засоление грунтов широко развито в ряде межгорных впадин Горного Алтая. Наибольшую площадь засоленные грунты занимают в Чуйской впадине, где засолена территория более 5 тыс. га. Засоление вызывается преобладанием испарения над осадками. Максимальная аккумуляция солей происходит на наиболее пониженных участках рельефа — поймах, низких террасах, в ложбинах древнего стока или временных водотоков, в многочисленных пологих западинах, в том числе и в западинах, образованных в результате развития криогенных процессов, а также на поверхности делювиально-пролювиальных шлейфов и конусов выноса. Максимальное количество солей концентрируется в приповерхностном 20-сантиметровом слое грунтов, часто образуются соленые корки.

Особенно надо отметить процессы вторичного заболачивания и засоления грунтов, происходящие в результате технически безграмотного водопользования. Во впадинах Горного Алтая для обводнения пастбищ используется так называемое лиманное орошение, в весенне-летнее время производится полив степных участков «диким напуском», т. е. без учета реальной потребности в воде и состояния грунтов. В результате возникает заболачивание, сначала пятнистое, а затем сплошное, позднее на этих площадях возникают солонцы и солончаки. На участках, где до того не было мерзлых пород, формируются перелетки, а затем и многолетнемерзлые породы.

ГЛАВА 9 САЛАИРСКИЙ РЕГИОН

Салаирский регион располагается на северо-западе Алтае-Саянской горной страны на стыке Алтайского края и Кемеровской области. Это экономически освоенный район, в его пределах имеются полиметаллические бокситовые месторождения, золотоносные россыпи, на западе развито сельское хозяйство. Регион связан с соседними территориями железной дорогой и рядом автодорог.

Салаирский регион отвечает одноименной морфоструктуре — Салаирскому кряжу. Это возвышенность со сглаженной платообразной поверхностью, вытянутой на 300 км на северо-запад при ширине около 100 км, асимметричного строения. К Кузнецкой впадине (на восток) обращен более крутой склон, а к Бийско-Барнаульской впадине Западно-Сибирского региона (на запад) более пологий, в чем отражается влияние асимметричного строения Салаирского мегантиклинория. Абсолютные высоты этой поверхности постепенно уменьшаются от 400—500 м на юге до 300—350 м на севере и 200—300 м на северо-западе. В осевой части Салаирского кряжа сохранились реликты среднетриасовой—раннепермской (560—620 м) и раннемеловой (440—520 м) поверхностей выравни-

вания, расчлененных в результате блоковых подвижек. В целом для Салаирской морфоструктуры характерно несоответствие преимущественно равнинного характера рельефа и сложнопостроенной складчатой геологической структуры. На Салаирском кряже протекает ряд небольших рек, долины которых часто врезаны в коренные породы, имеют большие уклоны, порожнисты.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Салаирский кряж представляет собой сложный мегантиклинорий, состоящий из крупных антиклинальных и синклиналильных складок, разбитых на блоки, в пределах которых в раннем палеозое сформировалась система горстов и грабен-синклиналей. В середине палеозоя на эту неоднородную структуру наложились герцинские прогибы, еще более осложнившие строение территории. Наиболее древние узкие вытянутые синклинали, грабен-синклинали, горсты, чередующиеся в южной части кряжа, имеют почти широтное простирание, в этом же направлении ориентированы наиболее крупные разломы. Севернее ориентировка всех структур становится более разнообразной, разломы восточной и северо-восточной частей Салаира ориентированы параллельно краю Кузнецкой впадины, а на севере обусловлены конфигурацией Томь-Колываньской дуги.

Породы, слагающие эти структуры, образуют четыре структурных этажа. Основание (первый структурный этаж) образовано породами метаморфической карбонатной формации докембрия. Второй, раннепалеозойский структурный этаж, представлен нижнекембрийской вулканогенно-осадочной, кембро-силурийской терригенно-карбонатной и верхнесилурийской — среднедевонской карбонатной формациями. Третий, среднепалеозойский этаж, сложен орогенными среднедевонскими — нижнекаменноугольными формациями: терригенно-карбонатной, вулканогенно-осадочной и моласовой. Эти структурные этажи прорваны многочисленными интрузиями преимущественно гранитоидного ряда, внедрявшимися с раннего кембрия до перми. Верхний структурный этаж представлен платформенными континентальными образованиями кайнозоя — несцементированными породами различного генезиса, а также разновозрастными корами выветривания, наиболее древние из которых образовались в меловую эпоху.

Метаморфическая карбонатная формация верхнего протерозоя мощностью более 1,5 км распространена в южной части Салаирского кряжа. Она представлена водорослевыми слонстыми известняками с линзами и прослоями микрокварцитов мощностью в десятки метров, часто ожелезненных, реже встречаются прослои эффузивов.

Формации второго структурного этажа последовательно сменяют друг друга во времени и разрезе. Начинается разрез образованиями вулканогенно-осадочной формации нижнего кембрия мощностью более 2,5 км, залегающей непосредственно на поверхности предыдущей формации. Эта широко развитая на Салаирском кряже формация представлена зелеными сланцами, чередующимися

с конгломератами, песчаниками, алевролитами, аргиллитами, а также пачками известняков, а иногда и настоящих мраморов. Относительное количество терригенных толщ несколько возрастает в центральной части разреза. На отдельных участках породы формации сложно дислоцированы.

Терригенно-карбонатная кембрийско-раннесилурийская формация перекрывает предыдущую с угловым несогласием. В целом для формации суммарной мощностью до 9,5 км характерно чередование толщ терригенных образований (конгломератов, песчаников, реже аргиллитов) и известняков, иногда мраморизованных плитчатых известняков или мраморов. В разных, но в целом в подчиненных количествах, начиная с основания формации, встречаются линзы, прослои, пачки и толщи эффузивов кератофиро-спилитового ряда и их туфов, отсутствующие лишь в верхних 1,5—2 км разреза.

Карбонатная силурийско-раннедевонская формация, завершающая разрез второго структурного этажа, представлена довольно однородными известняками мощностью 1,2—1,3 км, включающими прослои песчаных известняков и песчаников в нижней половине разреза. Известняки массивные и слоистые, тонко- и скрытокристаллические.

Формации третьего структурного этажа выполняют наложенные прогибы, наиболее крупные из которых расположены на западе Салаирского кряжа, а молассовая каменноугольная формация — узкие прогибы, дугообразно окаймляющие восточную окраину кряжа.

Породы всех формаций смяты в складки, наиболее напряженная складчатость характерна для нижнего палеозоя. В осевой части региона преобладают линейные удлиненные складки, а на периферийных его частях появляются брахискладки. Отмечен целый ряд надвигов, разбивающих структуры региона на крупные тектонические блоки, вытянутые в целом параллельно границам кряжа. Широко развит кливаж пород, сильно маскирующий элементы залегания палеозойских пород. Свойства всех указанных выше формаций близки к характеристикам одноименных формаций в прилегающих частях Алтая [28], где они охарактеризованы подробно (см. гл. 8).

Интрузивные формации внедрялись на разных этапах развития региона: в раннем кембрии преобладали кислые интрузии, в среднем — основные, в девоне — основные и кислые. Наиболее крупные массивы возникли в процессе каменноугольного и пермского внедрения гранитоидов.

Покровные отложения верхнего этажа распространены крайне неравномерно. Наиболее древние из них — остатки меловых и палеоцен-эоценовых кор выветривания, а также неогеновые делювиальные отложения, сохранились только в понижениях древнего рельефа — котловинах, западинах, карстовых провалах, а также в карстовых пещерах. Меловые коры выветривания представлены обычно продуктами выветривания, перетолженными делювиаль-

пыми или пролювиальными процессами — слонстыми глинами, песками, реже галечниками суммарной мощностью достигающей нескольких десятков м; наибольшие мощности отмечаются в карстовых пещерах. То же самое можно сказать о палеоцен-эоценовых, также чаще всего переотложенных корях выветривания, отличающихся обычно повышенным содержанием в них бокситов. Неогеновые делювиальные глины с прослоями песков и галечников практически постоянно содержат включения и маломощные прослои гипсов. Помимо провалов на поверхности древнего карстового рельефа, заполненных неогеновым делювием, его можно обнаружить также в бортах древних речных долин. Мощность неогеновых отложений не превышает, как правило, 10 м.

В составе четвертичных отложений резко преобладают суб-эдральные лёссы и лёссовидные породы, следующее место занимают аллювиальные образования, развитые по долинам рек и ручьев. Распространены также делювиальные, пролювиальные, элювиальные, обвально-осыпные и другие накопления, но роль их в строении рыхлого покрова незначительна.

Лёсс и лёссовидные отложения, образующие почти сплошной покров, распространены на большей части территории. Этим покровом сглаживается большинство неровностей долёссового (дочетвертичного) рельефа Салаирского кряжа, что придает ему характер монотонного плато. Мощность лёссов неодинакова, она зависит от особенностей древнего рельефа: на сглаженных в дочетвертичное время поверхностях она составляет 5—10 м, а на участках развития дочетвертичных понижений, западин или карстовых провалов резко возрастает и может достигать 30—45 м. Формирование лёссовых покровов происходило как в раннем—среднем плейстоцене, так и в позднем плейстоцене и связывается обычно с перигляциальным этапом развития Салаирского кряжа. Лёссовые и лёссовидные породы разного возраста близки по составу и строению. Они представлены суглинками, супесями, значительно реже глинами. Иногда в них отмечаются гумусированные прослои, залегающие параллельно поверхности склонов. В основании разрезов лёссовых и лёссовидных пород часто встречаются маломощные линзы переотложенных продуктов выветривания — глин, щебня, дресвы. По данным В. С. Арефьева, большую часть (70—94 %) в гранулометрическом составе лёссовых пород Салаирского кряжа составляют частицы размером менее 0,05 мм, с числом пластичности 5—20, коэффициентом пористости 0,7—1,2, коэффициентом относительной просадочности при нагрузке $3 \cdot 10^5$ Па от 0,0001 до 0,156 [28].

По долинам большинства рек развиты 1—2 террасы. Мощность аллювия 10—30 м, в его составе преобладают пески с прослоями илстых глин, суглинки, реже глины, но встречаются долины, выложенные пловатыми глинами с включениями щебней. В разрезах более высоких террас, встречающихся редко, как и в палеодолинах, состав аллювия грубее — в нем содержатся пески с галькой. Большой грубостью отличается и современный аллювий: в руслах

мелких рек часто встречается грубообломочный материал. На современных поймах можно встретить аллювиально-озерные, озерные (старичные) и болотные отложения, представленные иловатыми глинами и суглинками, иногда с торфом. Поверхность II и более высоких террас прикрыва, как правило, лёссами.

Гидрогеологические условия. Подземные воды на Салаирском кряже приурочены главным образом к зоне трещиноватости коренных пород, мощность которой может составлять от 30 до 180 м в осадочных формациях и до 70—80 м в гранитоидах. Залегают они в зависимости от рельефа и мощности рыхлого покрова на глубинах от 10 до 140 м, а трещинно-карстовые и трещинно-жильные воды могут быть установлены и на значительно больших глубинах. Дебиты источников обычно составляют 0,1—15 л/с, но в зонах тектонических нарушений и развитого карста могут достигать 120 л/с, удельные дебиты скважин равны 0,001—4 л/с, в зонах тектонических нарушений до 30 л/с.

Меньшую роль играют воды четвертичных отложений. Это в первую очередь воды аллювиальных отложений, залегающие на поймах на глубине от 0,5 м, а на террасах на глубинах до 10—15 м; они, как правило, гидравлически связаны с русловым потоком, состав их часто близок к составу поверхностных вод, а дебиты зависят от характера связи подземных и поверхностных вод. В лёссах и лёссовидных отложениях подземные воды встречаются спорадически; они приурочиваются к песчаным или супесчаным прослоям, от положения этих горизонтов в разрезе зависит и глубина залегания этих вод, мощность водоносных горизонтов измеряется десятками сантиметров или первыми метрами.

Достоверно установленных участков развития многолетнемерзлых пород в Салаирском регионе нет, но это может быть связано с тем, что геокриологические условия кряжа специально не изучались.

Сезонное промерзание пород развито повсеместно, мощность сезонно-мерзлого слоя достигает максимума в феврале—марте. Породы промерзают до глубины 1,5—2, местами до 3 м, а возможно и глубже. Оттаивание завершается чаще всего в мае, но в холодные годы сезонно-мерзлые породы могут сохраняться на ряде участков в июне и даже в июле.

Современные геологические процессы и явления. Салаир сейсмически активен. Здесь зафиксированы землетрясения, эпицентры которых располагаются к западу от его границ. Сейсмически активна и восточная окраина Салаира — зона глубинного Кузнецко-Салаирского разлома, проходящего в районе Тыргана. Землетрясения могут достигать 6 баллов.

Современные геологические процессы Салаирского кряжа разнообразны и не отличаются. Наиболее активно проявлены карст, обусловленный широким развитием карбонатных формаций и присутствием карбонатных пород в других формациях, а также оврагообразование и суффозия, обусловленные существованием почти сплошного покрова лёссовых и лёссовидных пород. Широкое разви-

тие просадочных явлений на поверхности сближает инженерно-геологические условия Салаирского региона с соседними — Кольвань-Томским и Кузнецким регионами.

Карстовые явления развиты в кембрийских и менее распространенных протерозойских и девонских известняках, доломитах и мраморах. Древний карст связывается с жаркими и влажными эпохами юры и началом кайнозоя: это пещеры, воронки и полости, полностью или частично заполненные уплотненными продуктами размыва коры выветривания, представленными сейчас огнеупорными глинами, песками, бокситами, бурыми железняками. Современные карстовые формы встречаются на плоских возвышенных водоразделах и на склонах долины; чаще всего это воронки, реже котловины, сухие долины и пещеры. Часто поверхность участков, сложенных карстующимися известняками, опущена по сравнению с прилегающими площадями, сложенными некарстующимися породами, на 50—100 м, площадь таких опущенных участков может быть от 2 до 250 км², нередко эти поля заполнены рыхлыми кайнозойскими накоплениями (долины р. Берди и ее притоков).

В районах развития кембрийских известняков число воронок достигает 100 на 1 км² при глубине 5—20 м и диаметра наиболее крупных воронок до 200 м. Чаще всего воронки приурочены к контактам карстующихся и нерастворимых пород или к зонам тектонической трещиноватости, что обусловлено повышенной циркуляцией подземных вод и интенсивным растворением ими известняков. В таких зонах располагаются, как правило, цепочки карстовых котловин и полостей, часто разделенных лишь узкими перемычками. Ряд карстовых воронок, с которыми связаны источники с дебитом 20—25 л/с, служат истоками ручьев и малых рек. Пещеры, установлены только в кембрийских известняках: объем наиболее крупной Гавриловской пещеры более 500 м³, высота ее достигает 20 м, а ширина 4 м.

Оврагообразование поражает в первую очередь территории, покрытые лёссами и лёссовидными породами. Овраги растут со скоростью до 25 м/год, но это — максимум, чаще овраги развиваются медленнее, особенно активно в долинах малых рек и на участках непосредственно примыкающих к долинам. Довольно часто встречаются остатки древней овражной сети, прекратившей свое развитие в верхнем плейстоцене или начале голоцена и превратившейся в систему балок и логов. Густота овражной сети, глубина и конфигурация оврагов резко различается в разных частях Салаирского региона, наиболее крупные овраги развиты на юге его. В настоящее время отмечается возрастание скорости роста оврагов и разрастание их сети, что связывается с продолжающимся воздыманием Салаира.

На поверхности лёссовых покровов наблюдаются суффозионные воронки, просадочные блюдца, а в обрывах, сложенных лёссами — ниши, полости, пещеры. Особенно часто небольшие воронки и полости образуются вблизи растущих оврагов, а широкие блюдцеобразные суффозионные понижения, часто заболоченные,

более всего характерны для плоских водоразделов. Иногда вдоль долины рек и склонов оврагов наблюдается отседание массивов; процессу отседания способствуют как хорошо развитая вертикальная отдельность лёссовидных пород, так и криогенные факторы.

Криогенные процессы и явления Салаирского кряжа практически не изучены, но принадлежность этой территории к зоне ежегодного сезонного промерзания пород, низкие среднегодовые температуры воздуха, преобладание плоскогорного рельефа в сочетании с широко распространенным на поверхности рыхлым покровом, а также целый ряд других факторов позволяют считать, что криогенные процессы, особенно такие, как криогенное пучение, морозобойное растрескивание, солифлюкционное оплывание, развиты здесь широко.

ГЛАВА 10 КОЛЫВАНЬ-ТОМСКИЙ РЕГИОН

Колывань-Томский инженерно-геологический регион располагается на северо-западе Алтае-Саянского региона в пределах Новосибирской, Кемеровской и Томской областей. Здесь развито сельское хозяйство и угледобывающая промышленность, меньшую роль играют разработка полиметаллических и бокситовых месторождений, золотоносных россыпей и строительных материалов. По территории региона проходит несколько линий железных дорог и целый ряд автодорог. По многим характеристикам — особенностям рельефа, климатическим условиям, типам почвенного покрова и растительности, условиям хозяйственного освоения, Колывань-Томский регион более близок к Западно-Сибирскому, чем к Алтае-Саянскому. На всех схемах физико-географического районирования он рассматривается как часть лесостепной зоны Западной Сибири.

В структурном отношении регион соответствует северной части структур герцинской геосинклинали, возникшей на периферии Горного Алтая и окаймлявшей его с запада и севера. В постгеосинклинальный этап развития герцинские структуры были разобщены крупным Бийско-Барнаульским прогибом на две части: западную — Рудно-Алтайскую, которая характеризуется в том числе сериала «Казахстан» и северную — Колывань-Томскую. В настоящее время Колывань-Томский регион представляет собой возвышенность, отделяющую Алтайскую горную страну и Кузнецкую впадину от Западно-Сибирской низменности. В целом это единая обращенная пологий морфоструктура, образованная на месте герцинского прогиба и надвинутая в юго-восточном направлении на Кузнецкую впадину. Она вытянута в северо-восточном направлении на 425 км при ширине не более 70 км. По характеру поверхности это пологая увалистая эрозионно расчлененная возвышенная равнина с абсолютными высотами 100—300 м, уменьшающимися в сторону Западно-Сибирской низменности, лишь на юге осложненная не-

большими сопками с абсолютными высотами до 390 м. Регион пересечен долинами рек Томь и Иня, впадающими справа в р. Обь и небольшими притоками этих рек.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Колывань-Томский регион представляет собой герцинский прогиб, выполненный формациями среднего палеозоя, залегающими на кембрийском основании. В результате тектонических сжатий в триасе сформировались Основной прогиб, занимающий большую часть региона, и по его южному обрамлению геантиклинальные поднятия и краевые прогибы, разделенные глубинными разломами северо-восточного простирания. Породы палеозойских формаций в той или иной степени метаморфизованы и собраны в складки, вытянутые в северо-восточном направлении. Многочисленные разломы и оперяющие их трещины в большинстве своем ориентированы, как и глубинные разломы, в соответствии с общим простиранием региона и его структур. Общее число тектонических нарушений нарастает с северо-запада на юго-восток по направлению к границе региона с Салавром и Кузнецкой впадиной. В этом же направлении возрастает и степень метаморфизации пород.

В строении региона принимают участие геосинклинальные вулканогенная среднедевонская и терригенная верхнедевонская-раннекаменноугольная формации и орогенные угленосная нижнекаменноугольная (немюрская), вулканогенная мезозойская и пестроцветная нижнемеловая формации. Кристаллические породы кембрийского фундамента выходят на поверхность лишь по южному обрамлению региона, в основном за его пределами. С поверхности перечисленные формации перекрыты кайнозойскими отложениями, ведущую роль среди которых занимают лёссы и лёссовидные образования.

Вулканогенная формация среднего девона мощностью 1,5—1,7 км представлена морскими основными и средними эффузивами и их туфами, среди которых в подчиненном количестве залегают прослойки песчанников и глинистых сланцев, а иногда зеленосланцевых пород.

Терригенная формация верхнего девона—нижнего карбона имеет мощность до 4 км. Она слагает большую часть территории региона. В ее составе преобладают глинистые сланцы, но также содержатся пачки и прослойки алевролитов и песчанников, значительно реже конгломератов и известняков.

Угленосная формация нижнекаменноугольного возраста выполняет узкие вытянутые прогибы, расположенные вдоль южного и северного обрамления региона. В Горловском прогибе формация имеет каменноугольно-пермский возраст, т. е. по возрастному объему соответствует угленосной формации Кузнецкого региона. Мощность формации около 1,6 км, представлена она песчаниками с подчиненными прослоями алевролитов, глинистыми сланцами с прослоями углей и сидеритов. В нижней части формации количество прослоев угля велико, но мощность их не превышает, как

правило, 3 м. Породы здесь часто пересечены прожилками кальцита и кварца. К верхней—пермской части разреза формации приурочены мощные пласты угля, достигающие местами 30 м. Это продуктивная толща Горловского каменноугольного бассейна, разработки угля в котором ведутся сейчас преимущественно открытым способом. Вдоль южной границы региона на сочленении с Салаирским и Кузнецким регионами располагается зона напряженной складчатости в породах формации, где значительно увеличивается метаморфизация пород [28]. С поверхности в породах угленосной формации развита кора выветривания мощностью 30—60 м, а местами до 100 м, в пределах которой породы обесцвечены, частично превращены в глинистую массу, каолинизированы, а угли преобразованы в сажистую пыль.

Инженерно-геологические свойства пород угленосной формации близки к свойствам аналогичной формации Кузнецкого региона (см. ниже).

Вулканогенная формация мезозоя представлена дайками и силами диабазов и долеритов. Дайки вытянуты, как правило, на северо-восток, как и все структуры региона, и имеют крутое падение. Временное сопротивление сжатию слагающих их диабазов близко к $980 \cdot 10^5$ Па.

Пестроцветная формация нижнего мела развита только на нескольких ограниченных участках в верховьях р. Яя (юго-восток региона), где она представлена озерно-аллювиальными горизонтально- и косослоистыми глинами, песками и алевритами мощностью до 70 м. Это та же пестроцветная формация, что встречается по окраинам Кузнецкого региона.

Раннекайнозойские образования представлены остатками кор выветривания на палеозойских породах, эоценовыми кремнистыми песчаниками мощностью до 60 м и олигоценовыми песками и алевритами с прослоями глин и бурых углей мощностью до 70 м. Все они встречаются спорадически. Также ограниченно развит неогеновый комплекс озерно-аллювиальных заглинованных глин, залегающих в виде линз мощностью до 30 м на поверхности кор выветривания.

По долинам рек развит аллювий, образующий чаще всего две надпойменные террасы и пойму. В основании террасового комплекса (верхний плейстоцен, может быть средний—верхний плейстоцен) залегают галечники, сменяющиеся вверх по разрезу песчано-глинистыми отложениями. Пойменные и русловые голоценовые отложения также содержат в основании галечники, но выше преобладают суглинистые, реже супесчаные отложения; суммарная мощность их обычно не превышает 5—10 м.

Лёсы и лёссовидные породы среднего—верхнего плейстоцена почти сплошным чехлом перекрывают водоразделы, склоны и поверхности высоких террас. По данным Г. А. Сулакшиной и Е. С. Цоцур, среди них могут быть выделены первично делювиальные, аллювиальные и элювиальные разности. В делювиальных лёссовых породах выделяется, как правило, два горизонта, разде-

ленных погребенным почвенным слоем, оба горизонта сложены суглинками: мощность верхнего горизонта на водоразделах достигает 13 м и снижается на склоне до 1 м, мощность нижнего горизонта может достигать 17 м. Суглинки верхнего горизонта обычно выщелочены и просадочны, относительная просадочность их достигает 0,03—0,09. Суглинки нижнего горизонта обладают большей плотностью и, как правило, непросадочны. В целом делювиальные лёссовые породы характеризуются незакономерной изменчивостью — вдоль и поперек фронта сноса исходного материала, пределов пластичности, объемной массы, коэффициента пористости, т. е. всех основных показателей свойств пород. Аллювиальными считаются лёссы и лёссовидные породы, залегающие на поверхности террас, они могут быть представлены как суглинками, так и супесями, иногда переслаивающимися с песками, относительная просадочность их 0,02—0,07. Эллювиальные лёссовидные суглинки, как правило, непросадочны. Широкое развитие лёссовых и лёссовидных покровов, часто обладающих просадочными свойствами, делает Томь-Колываньский регион похожим на соседние с ним Салаирский и Кузнецкий регионы. Это сходство усиливается тем, что все три региона расположены почти на одной абсолютной высоте, а в зоне сочленения обладают сходным рельефом. Поэтому и условия строительства на лёссовых покровах (необходимость учитывать их возможную просадочность) одинаковы для всех трех регионов.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Подземные воды Томь-Колываньского региона приурочены к зоне трещиноватости в коренных породах, имеющей мощность до 150 м, причем наименее водообильны породы, слагающие верхи терригенной формации: дебиты родников не превышают 0,1—15 л/с, а удельные дебиты скважин 0,2—1 л/с. Наибольшей водообильностью обладают карстованные известняки, встречающиеся в средней части той же терригенной формации, дебиты в них достигают 15 л/с. Воды гидрокарбонатные кальциево-магниевого типа с минерализацией 0,2—1,2 г/л. В зонах тектонических разломов водопритоки резко возрастают, что необходимо учитывать при ведении любых видов горных работ. Значительно меньшую роль играют воды аллювиальных отложений. Дебиты их местами могут значительно возрастать по сравнению с водами коренных отложений. Спорадически развита верховодка, приуроченная к локально развитым делювиально-пролювиальным отложениям и супесчаным прослоям в лёссах.

Геокриологические условия Колывань-Томского региона значительно ближе к примыкающим с севера и запада равнинам Западной Сибири (см. том «Западная Сибирь» настоящего сериала), чем к условиям расположенных с юга Салаира, Горного Алтая и Кузнецкого Алатау. Регион представляет собой территорию сплошного развития сезонно-промерзающих пород, причем глубина промерзания в зависимости от состава пород, залегающих на поверхности, степени их увлажнения и суровости каждого года может

изменяться от десятков сантиметров до 3 м и более. Возможно сохранение перелетков.

Современные геологические процессы и явления. Современные геологические процессы и явления в Колывань-Томском регионе разнообразны и не отличаются. Наиболее активно здесь развиваются оврагообразование, широко развитое в лёссовых породах и связанные с ним осыпи и обвалы на склонах. Встречаются просадочные суффозионные блюдца, особенно характерные для плоских водоразделов, где они имеют вид пологих понижений глубиной до 1,5 м при диаметре до 50 м. С этими понижениями часто связаны заболачивание или засоление грунтов. Заболачивание может происходить также на поймах и низких террасах. К числу более редко встречаемых явлений относятся осыпи и оползни по берегам речушек, размыв берегов.

С сезонным промерзанием связаны пучение грунтов, морозобойное растрескивание. Наиболее вероятны явления морозного пучения на участках близкого к поверхности залегания подземных вод в аллювиальных, лёссовидных и делювиально-пролювиальных отложениях, т. е. там, где в составе поверхностного слоя отложений доминируют глинистые породы. В местах выхода на поверхность подземных вод зимой формируются наледи, размер которых редко превышает 100—150 м, при мощности льда в 1—1,5 м, часто они приурочены к склонам оврагов.

С локально развитыми карбонатными породами может быть связан карст, однако высокая загрязненность карбонатов глинистым и песчаным материалом ограничивает его развитие. Изредка встречаются карстовые воронки, полностью или частично заполненные охристыми глинами.

Плохая изученность современных геологических процессов и явлений Колывань-Томского региона, особенно криогенных процессов, и анализ геоморфологических, климатических и геологических условий позволяют считать, что современные геологические процессы здесь развиты шире и активнее, чем можно заключить по существующим в литературе оценкам.

ГЛАВА II КУЗНЕЦКИЙ РЕГИОН

Кузнецкий инженерно-геологический регион почти полностью входит в состав Кемеровской области, лишь его юго-западная часть относится к Алтайскому краю. Это наиболее освоенный регион Алтае-Саянской горной страны. Здесь добывается одна треть от всего количества коксующихся углей в СССР, около 20 % энергетических углей, развиты металлургическая, химическая и машиностроительная промышленность, производство цемента, удобрений, освоено сельским хозяйством большинство пригодных земель. В регионе расположено много городов и поселков, имеется густая автодорожная сеть, железные дороги.

В геоморфологическом отношении Кузнецкий регион представляет собой сочетание крупной Кузнецкой межгорной впадины площадью около 27 тыс. км² с наклонной на север холмисто-увалистой эрозионно-денудационной равнинной поверхностью, зажатой между Салаирским кряжем и Кузнецким Алатау, и примыкающей к ней с юго-запада небольшой по площади Неня-Чумышской впадины со слабо всхолмленным равнинным рельефом. Абсолютные высоты равнины 200—300 м, на востоке возрастают до 320—380 м. Со всех сторон Кузнецкий регион ограничен крутыми уступами и лишь через Неня-Чумышскую впадину сочленяется с равнинной Бийско-Барнаульской впадиной, входящей в состав Запдно-Сибирской платформы.

Кузнецкий регион представляет собой сложную долгоживущую отрицательную морфоструктуру, которая в результате восходящих движений кайнозоя превратилась в реставрированную прямую возрожденную морфоструктуру, в современном рисунке рельефа которой выявляется прямая связь с позднепалеозойским структурным планом выполняющей впадину палеозойской угленосной формации.

С юга на север по впадине протекает р. Томь, принимающая на юго-западе крупные притоки р. Кондома и р. Мрас-Су, северо-запад региона дренирует р. Иня, а в пределах Неня-Чумышской впадины располагается долина р. Неня и участок долины р. Бии.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Кузнецкий регион соответствует прогибу, заложенному в девоне, устойчиво погружавшемуся до конца юры и выполненному в основном породами орогенной угленосной формации нижнекаменноугольного—пермского возраста, и сочленяющейся с ним Неня-Чумышской впадине (грабену того же времени заложения), но выполненной угленосной юрской формацией, развитой также и в пределах Кузнецкого прогиба. Помимо указанных, в регионе пользуется развитием терригенная формация девона и орогенные молассовая и эффузивная формации триаса, а также терригенная пестроцветная меловая формация.

Структуры Кузнецкого региона довольно разнообразны. Наиболее сложное строение имеют массивы горных пород в Присалаирской и Приколывань-Томской зонах линейной складчатости и разрывов. В направлении к центру Кузбасса тектоника упрощается—линейная складчатость сменяется брахисинклиналями. Различия в характере тектонических дислокаций существуют и в вертикальном направлении: более древние формации дислоцированы более интенсивно, чем молодые. В целом в пределах региона преобладают моноклинали и различные пологие и крутые брахиформные складки, развиты линейные складчатые и складчато-разрывные зоны. Широко развиты линейные зоны разломов и дробления пород. Границами структурных зон служат, как правило, разломы, в большинстве случаев выраженные в рельефе.

Угленосная формация каменноугольно-пермского возраста мощностью 5—8 км доминирует в строении Кузнецкой впадины. Это

переслаивание известковых и полимиктовых песчаников, аргиллитов, алевролитов и конгломератов с пачками и пластами каменных углей, антрацита, а иногда и мергелей, линз сидеритов. Наибольшую роль в промышленном отношении играет центральная наиболее угленасыщенная часть формации — верхнебалахонская подсерия, она представлена теми же литологическими разновидностями пород, но соотношение их несколько изменяется: значительную роль в этой части формации приобретают грубые разности — конгломераты и гравелиты. Частое выклинивание угольных пластов и преимущественно малая их мощность свидетельствуют о часто менявшихся условиях накопления осадков.

Все породы формации в разной мере рассланцованы и, как правило, трещиноваты, причем наибольшая густота трещин и мелких смещений характерна для ядер антиклиналей и зоны выветривания. В целом породы нижних 1,5—3,5 км разреза характеризуются более высокой прочностью по сравнению с более молодыми частями формации. В то же время, по данным В. Е. Ольховатенко [28], связь между физико-механическими свойствами и глубиной залегания пород этих частей разреза, распространенных в различных геотектонических зонах и находящихся на разных стадиях эпигенеза, очень слабая или отсутствует. Наибольшее влияние на состояние и свойства массивов пород, их деформируемость и устойчивость в бортах горных выработок оказывают геолого-структурные особенности каждого района, обуславливающие различные условия залегания пород, степень их дислоцированности и нарушенности. Лишь для отдельных районов устанавливаются местные закономерные изменения одного или нескольких показателей свойств с глубиной, либо по литорали.

Физико-механические свойства пород формации хорошо изучены и подробно охарактеризованы в целом ряде работ [28]. Показатели прочности пород изменяются от нескольких единиц до 130 МПа. Наиболее прочные породы формации — неветрелые песчаники и алевролиты. Ветрелые разности этих пород характеризуются временным сопротивлением сжатию порядка $15 \div 600 \cdot 10^5$ Па. Наименьшей прочностью обладают углистые аргиллиты и угли. Важнейшую роль для оценки инженерно-геологических особенностей угленосной формации играют гидрогеологические условия (см. ниже).

Терригенная формация триаса устанавливается только на отдельных участках. Это аргиллиты, алевролиты, песчаники и конгломераты с редкими прослоями мергелей, пластов угля и единичных базальтовых покровов общей мощностью около 1,5 км. Временное сопротивление сжатию песчаников этой формации $18 \div 165 \cdot 10^5$, алевролитов — $40 \div 180 \cdot 10^5$, аргиллитов — $6 \div 155 \cdot 10^5$ Па.

Угленосная юрская формация залегает в наложенных впадинах, на севере и юге Кузнецкого прогиба и в Солтонской впадине Неня-Чумышского прогиба и представлена переслаиванием глинистых сланцев, алевролитов, песчаников и полимиктовых конгломератов с прослоями песков и бурых углей. Цемент песчаников и

конгломератов глинистых. Породы легко поддаются выветриванию и на склонах часто прикрыты глинисто-щебнистыми осыпями. Мощность пород в Солтонской впадине не превышает 0,4 км, в других впадинах достигает 1 км.

Терригенная пестроцветная формация мелового возраста шире всего представлена в Неня-Чумышском прогибе, но встречается также в прогибах и грабенах, расположенных по окраинам Кузнецкой впадины. Это толща озерных и речных песков, иногда косо-слоистых, содержащих стяжения известковистых песчаников, переслаивающаяся с пачками тонкослоистых алевролитов, аргиллитов, глин или мергелистых глин, а также прослоями и линзами конгломератов, иногда сливных или железистых песчаников. Мощность формации от 100 до 300 м, наиболее мощны ее разрезы на юго-западе региона.

Отложения раннего кайнозоя условно можно разделить на три комплекса: верхнемеловой-палеогеновый полигенетический, мио-плиоценовый аллювиально-озерный и верхнеплиоценовый аллювиальный.

Полигенетический мел-палеогеновый комплекс представлен сочетанием склоновых и озерных образований с участием аллювиальных отложений, значительную роль в составе которых играют продукты размыва кор выветривания, отложенные в водной и субаэральной среде. Это каолинизированные пески и галечники и каолиновые яркоокрашенные глины, среди которых встречаются огнеупорные. Мощность комплекса в Неня-Чумышской впадине достигает 230 м, но на остальной части региона комплекс развит на ограниченных участках и в большинстве случаев представлен лишь отдельными частями разреза.

Аллювиально-озерный мио-плиоценовый комплекс выполняет целый ряд кайнозойских депрессий, приуроченных преимущественно к окраинам региона. Он сложен глинами с прослоями галечников и полимиктовых песков, в глинах встречаются включения друз гипса. Мощность комплекса 20—60 м.

Аллювиальный верхнеплиоценовый или плиоцен-четвертичный комплекс выполняет древние погребенные речные долины. Это линзовидно-переслаивающиеся и взаимозамещающиеся глины, суглинки и галечники мощностью до 70 м. В Инском заливе в разрезе мощностью более 40 м преобладают тонкодисперсные глины, содержащие глинистой фракции с преобладанием монтмориллонита 60 %, пылеватой (0,005—0,05 мм) — 36,5 %, в обломочной части доминируют кварц и полевые шпаты.

Четвертичные отложения представлены мощным лёссовидным комплексом, аллювиальными отложениями и рядом других стратиграфо-генетических комплексов.

Лёссовидный комплекс формировался с раннего плейстоцена до голоцена, иногда его делят на два комплекса: раннесреднеплейстоценовый и позднеплейстоценово-голоценовый. Нижний комплекс характеризуется большим содержанием суглинистых пород и погребенных почв, верхний — собственно лёссов. В целом комплекс

представлен сочетанием суглинков, реже супесей, иногда настоящих лёссов, еще реже глин. В долинах рек к ним примешиваются горизонты и линзы песков с редкими включениями галек, а вблизи горных склонов или выходов скальных пород — в них появляются прослои и линзы, обогащенные дресвой и щебенкой. Эти породы покрывают сплошным чехлом почти все водоразделы и поверхности высоких речных террас, заполняя понижения дочетвертичного рельефа и нивелируя его. Мощность комплекса достигает максимума именно в таких местах, где им заполнены древние лога, западины, овраги — она может достигать 45 м, хотя в большинстве случаев близка к 15—20 м. Породы верхней половины разреза лёссовидного комплекса, как правило, просадочны, в нижней части разреза преобладают непросадочные разности. Анализ гранулометрического состава лёссовидных и лёссовых пород показывает, по данным Ф. П. Нифантова, различное, но всегда высокое содержание фракции пыли (65—84 %), меньшее (13—35 %) глинистых частиц и совсем малое песка (1—8, редко 12—15 %), что снижает вязкость, пластичность и гидростойкость этих пород. Породы, как правило, обладают рыхлым сложением и макропористостью.

Аллювий слагает ложа долин, их поймы и комплекс надпойменных террас: в долине р. Томь их выделяется 4 или 5. Высокие террасы сложены нижнесреднеплейстоценовым аллювием, низкие террасы — верхнеплейстоценовым, поймы и русла — голоценовым аллювием. Наиболее мощны аллювиальные отложения высоких террас — до 60 м, на более низких террасах мощность аллювия меньше, на поймах не превышает 10 м. Для всех террасовых комплексов характерно наличие существенно галечниковых толщ в основании, уменьшение грубости материала вверх по разрезу и завершение разреза лёссовидными суглинками с линзами песков и супесей. Относительная просадочность лёссовидных суглинков, определенная, например, в долине р. Тагарыш на глубине 1—4 м, изменяется от 0,01 до 0,049. В местах отсутствия лёссовидных покровов могут располагаться маломощные болотные образования — торфяники, илы, иловатые суглинки и глины.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Кузнецкий регион характеризуется преимущественным развитием пластовых типов вод: трещинно-пластовых, трещинно-порово-пластовых, в меньшей степени трещинных и трещинно-жильных.

Наиболее распространенный водоносный комплекс связан с породами угленосной формации верхнего палеозоя: до глубины 100—150 м в них развиты трещинные, а ниже трещинно-жильные воды, более всего обводнены песчаники и конгломераты, менее водообильны алевролиты, а аргиллиты, как правило, служат водоупорами. Безнапорные воды на водоразделах залегают на глубине 15—70 м, в долинах приобретают напор в 10—50 м (более глубокие горизонты до 150 м), пьезометрические уровни устанавливаются на 5÷15 м. Удельные дебиты зависят как от геоморфологического положения водопункта, так и от глубины залегания водоносного горизонта: на водоразделах они составляют 0,01—0,5,

реже до 3 л/с, в долинах 5—60 л/с, в верхней части формации они обычно выше, чем в нижней, с ростом глубины залегания водоносного горизонта удельные дебиты резко снижаются. Существуют и региональные закономерности: наименьшей обводненностью характеризуются породы в Присалаирской складчатой зоне, где водопритоки в карьеры и шахты составляют 50—100 м³/ч, а наиболее обводненными оказываются такие же породы на крайнем юго-востоке региона, где водопритоки достигают 600—900 м³/ч. Наиболее мощные и водообильные зоны располагаются в долинах на глубинах до 150 м.

Грунтовые воды, приуроченные к аллювиальным русловым и террасовым отложениям, оказывают существенное влияние на условия строительства и разработки полезных ископаемых. Они залегают, как правило, на глубине до 10 м, их уровень тесно связан с уровнем воды в реках и с характером поверхностного стока и может потому изменяться во времени. Воды в основном безнапорные, но на отдельных участках за счет суглинисто-глинистого состава верхних слоев аллювия могут приобретать небольшой напор. Удельные дебиты родников в аллювии обычно не превышают 3 л/с, а удельные дебиты скважин составляют 0,002—0,2 л/с, но в долинах крупных рек при коэффициенте фильтрации 20—250 м/сут достигают 15 л/с, что крайне осложняет сооружение карьеров и подземных горных выработок, притоки в которые могут достигать 2500—3000 м³/ч. Преобладают пресные воды с минерализацией 0,1—1 г/л, но в связи с загрязнением поверхностных вод и вблизи от населенных пунктов происходит загрязнение грунтовых аллювиальных вод, что приводит к повышению их минерализации до 2 г/л и появлению в них нитрит-иона (0,01—0,6 мг/л) и железа (до 7 мг/л).

В пределах первых от поверхности водоносных горизонтов могут чередоваться участки неагрессивных и агрессивных вод. Среди агрессивных встречаются разные по составу и степени агрессивности воды. Так, в г. Междуреченске в районе слияния рек Томь и Уса встречены воды, в одних случаях обладающие углекислотной, а в других общекислотной агрессивностью к бетонам на всех марках цемента или выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону на порландцементе. В районе гг. Гурьевск, Междуреченск, Мыски и др. встречены воды, обладающие общекислотной агрессивностью по отношению к бетону и железобетону. В некоторых районах, например, в г. Новокузнецке, отмечена сульфатная агрессивность подземных вод.

Следует особенно подчеркнуть, что вода в р. Томь, а также в ряде ее притоков, катастрофически загрязнена производственными и бытовыми отходами. Это загрязнение проникает в подрусловый поток и в гидравлически с ним связанные водоносные горизонты. Загрязнение попадает в подземные воды и с атмосферными осадками, поглощающими часть дымовых выбросов металлургических и энергетических предприятий и растворяющих разнесенные по земной поверхности пылевые частицы этих выбросов или раз-

личные компоненты многочисленных горных отвалов и свалок. Воды, загрязненные антропогенными примесями, могут быть непригодными для питья, обладать повышенной агрессивностью и коррозионными свойствами.

Кузнецкий регион — область сплошного развития сезонно-мерзлых пород, а в отдельных его частях, как в высоко приподнятых участках Мелафировой подковы, так и на равнинных участках, развиты острова многолетнемерзлых пород. Возможны два горизонта многолетнемерзлых пород: верхний, который располагается на глубине 1—2,5 м и имеет мощность 0,5—3 м, и нижний — на глубине 10—12 м. Глубина сезонного промерзания изменяется от 0,5 до 3 м, а в экстремально холодные годы может быть значительно большей. Под насыпными и намывными суглинками с примесью песка и гальки, например в районе г. Новокузнецка, в обычные годы глубина сезонного промерзания достигает 5 м, увеличиваясь в холодные и малоснежные зимы. Иногда отмечается, что мощность сезонно-мерзлых пород возрастает в предгорьях Кузнецкого Алатау. Промерзание пород начинается в ноябре—декабре и продолжается по март—апрель, когда достигается максимальная мощность сезонно-мерзлого слоя. Протавивание сезонной мерзлоты начинается в конце марта—апреле, и, как правило, завершается в мае. Однако в ряде районов, например на пойме р. Томи, мерзлые породы на глубине 1,2—1,5 м обнаруживаются в конце мая и в начале июня практически ежегодно, а в отдельные годы они могут сохраняться и в июле. Также долго могут сохраняться сезонно-мерзлые породы в возвышенных частях региона.

Антропогенные факторы во многих случаях способствуют более глубокому промерзанию пород, более длительному сохранению мерзлоты, формированию перелетков и островов многолетнемерзлых пород. На первом месте среди таких факторов находятся уничтожение и нарушение растительного покрова, нарушение и снятие почвенного слоя. Наиболее часто мерзлота сохраняется на длительное время при сооружении насыпей в зимнее время — при отсыпке грунтов на поверхность сезонно-мерзлых пород: такие острова мерзлоты могут со временем разрастаться и приводить к возникновению криогенных процессов и явлений.

Современные геологические процессы и явления. Современные геологические процессы и явления, развитые в Кузнецком регионе, типичны для равнинных территорий. Преобладают водно-эрозивные процессы, за ними (по масштабам распространения) следуют криогенные, в значительно меньшей мере распространены гравитационные и эоловые процессы. Сравнительное однообразие современных геологических процессов — характерная черта не только Кузнецкого региона, но и смежных с ним Салаирского (см. гл. 9) и Колывань-Томского (см. гл. 10), расположенных практически на тех же абсолютных высотах и обладающих сходным рельефом поверхности. Для всех трех регионов характерно широкое развитие покровов просадочных лёссовидных пород. В Кузнецком регионе значительная часть земель возделывается, покровные лёссовидные

суглинки на значительной части территории подвергнуты искусственному увлажнению и уплотнению и в какой-то мере утратили свои просадочные свойства. Кроме того, на территориях, наиболее важных для инженерного освоения — в районах расположения шахтных полей, населенных пунктов и промышленных сооружений ведущее место занимают антропогенные процессы.

В числе водно-эрозионных процессов первое место занимают речная и овражная эрозия. Реки подмывают берега, сложенные как террасовыми, так и коренными отложениями, вдоль долин проходит обрушение крутых берегов и образование констративного аллювия. Эти процессы особенно активизируются в период ледохода, когда уровень воды в реках может значительно подниматься, а на берега воздействует не только поток воды, но и разрушающие удары плывущих льдин [28]. Разрушению берегов способствуют также искусственные сбросы различных стоков, приводящие к временному быстрому повышению уровня воды в реках.

Овраги развиваются главным образом на склонах долин и разрушают как надпойменные террасы, так и примыкающие к ним пологие склоны долин; наиболее активно ими поражаются покровные лёссовидные суглинки. Протяженность оврагов может измеряться десятками или сотнями метров, ширина их соответственно от первых метров до десятков. Преобладают крутосклонные V-образные овраги, встречаются трапециевидные овраги с крутыми склонами и плоскими днищами. Скорость роста оврагов по наблюдениям Ж. Н. Савиной может достигать 0,15 м в длину, 0,5 м в ширину и до 0,3 м в глубину только за один дождь. Росту оврагов способствуют вырубка растительности и распашка земель.

Суффозия развивается в покровных лёссовидных суглинках, в рельефе при этом образуются пологие западины. В начальных стадиях процесса на пологих склонах образуются западины глубиной в несколько или десятки сантиметров и диаметром 10—20 м, затем они могут разрастаться или сливаться, образуя замкнутые блюдцевидные понижения, иногда вытянутой вниз по склону формы, размером около 100 м в поперечнике при глубине до 1,5—2 м. В центральных частях суффозионно-просадочных западин лёссовые породы частично утрачивают свои просадочные свойства.

Заболачивание развито на поймах и низких надпойменных террасах рек Томи, Ини, Кондомы и других. При этом образуются крупные осоковые болота низинного типа, в основании которых залегают иловые суглинки, а выше — средне- и слабозложившиеся торфы незначительной плотности, мощностью 2—5 м. Часто заболачивание возникает в результате сооружения водохранилищ, прудов, отстойников, приводящих к подъему уровня грунтовых вод. Заболачивание развивается также на орошаемых полях в результате неправильной организации поливов.

Оползни формируются в местах выхода на поверхность глинистых пород угленосной юрской и пестроцветной меловой формаций. Реже они образуются на выветрелых аргиллитах угленосной формации палеозоя. Наиболее часто оползни встречаются по до-

личные компоненты многочисленных горных отвалов и свалок. Воды, загрязненные антропогенными примесями, могут быть непригодными для питья, обладать повышенной агрессивностью и коррозионными свойствами.

Кузнецкий регион — область сплошного развития сезонно-мерзлых пород, а в отдельных его частях, как в высоко приподнятых участках Мелафировой подковы, так и на равнинных участках, развиты острова многолетнемерзлых пород. Возможны два горизонта многолетнемерзлых пород: верхний, который располагается на глубине 1—2,5 м и имеет мощность 0,5—3 м, и нижний — на глубине 10—12 м. Глубина сезонного промерзания изменяется от 0,5 до 3 м, а в экстремально холодные годы может быть значительно большей. Под насыпными и намывными суглинками с примесью песка и гальки, например в районе г. Новокузнецка, в обычные годы глубина сезонного промерзания достигает 5 м, увеличиваясь в холодные и малоснежные зимы. Иногда отмечается, что мощность сезонно-мерзлых пород возрастает в предгорьях Кузнецкого Алатау. Промерзание пород начинается в ноябре—декабре и продолжается по март—апрель, когда достигается максимальная мощность сезонно-мерзлого слоя. Протаивание сезонной мерзлоты начинается в конце марта—апреле, и, как правило, завершается в мае. Однако в ряде районов, например на пойме р. Томн, мерзлые породы на глубине 1,2—1,5 м обнаруживаются в конце мая и в начале июня практически ежегодно, а в отдельные годы они могут сохраняться и в июле. Также долго могут сохраняться сезонно-мерзлые породы в возвышенных частях региона.

Антропогенные факторы во многих случаях способствуют более глубокому промерзанию пород, более длительному сохранению мерзлоты, формированию перелетков и островов многолетнемерзлых пород. На первом месте среди таких факторов находятся уничтожение и нарушение растительного покрова, нарушение и снятие почвенного слоя. Наиболее часто мерзлота сохраняется на длительное время при сооружении насыпей в зимнее время — при отсыпке грунтов на поверхность сезонно-мерзлых пород: такие острова мерзлоты могут со временем разрастаться и приводить к возникновению криогенных процессов и явлений.

Современные геологические процессы и явления. Современные геологические процессы и явления, развитые в Кузнецком регионе, типичны для равнинных территорий. Преобладают водно-эрозионные процессы, за ними (по масштабам распространения) следуют криогенные, в значительно меньшей мере распространены гравитационные и эоловые процессы. Сравнительное однообразие современных геологических процессов — характерная черта не только Кузнецкого региона, но и смежных с ним Салаирского (см. гл. 9) и Колывань-Томского (см. гл. 10), расположенных практически на тех же абсолютных высотах и обладающих сходным рельефом поверхности. Для всех трех регионов характерно широкое развитие покровов просадочных лёссовидных пород. В Кузнецком регионе значительная часть земель возделывается, покровые лёссовидные

суглинки на значительной части территории подвергнуты искусственному увлажнению и уплотнению и в какой-то мере утратили свои просадочные свойства. Кроме того, на территориях, наиболее важных для инженерного освоения — в районах расположения шахтных полей, населенных пунктов и промышленных сооружений ведущее место занимают антропогенные процессы.

В числе водно-эрозионных процессов первое место занимают речная и овражная эрозия. Реки подмывают берега, сложенные как террасовыми, так и коренными отложениями, вдоль долин проходит обрушение крутых берегов и образование констративного аллювия. Эти процессы особенно активизируются в период ледохода, когда уровень воды в реках может значительно подниматься, а на берега воздействует не только поток воды, но и разрушающие удары плывущих льдин [28]. Разрушению берегов способствуют также искусственные сбросы различных стоков, приводящие к временному быстрому повышению уровня воды в реках.

Овраги развиваются главным образом на склонах долин и разрушают как надпойменные террасы, так и примыкающие к ним пологие склоны долин; наиболее активно ими поражаются покровные лёссовидные суглинки. Протяженность оврагов может измеряться десятками или сотнями метров, ширина их соответственно от первых метров до десятков. Преобладают крутосклонные V-образные овраги, встречаются трапециевидные овраги с крутыми склонами и плоскими днищами. Скорость роста оврагов по наблюдениям Ж. Н. Савиной может достигать 0,15 м в длину, 0,5 м в ширину и до 0,3 м в глубину только за один дождь. Росту оврагов способствуют вырубка растительности и распашка земель.

Суффозия развивается в покровных лёссовидных суглинках, в рельефе при этом образуются пологие западины. В начальных стадиях процесса на пологих склонах образуются западины глубиной в несколько или десятки сантиметров и диаметром 10—20 м, затем они могут разрастаться или сливаться, образуя замкнутые блюдцевидные понижения, иногда вытянутой вниз по склону формы, размером около 100 м в поперечнике при глубине до 1,5—2 м. В центральных частях суффозионно-просадочных западин лёссовые породы частично утрачивают свои просадочные свойства.

Заболачивание развито на поймах и низких надпойменных террасах рек Томи, Или, Кондомы и других. При этом образуются крупные осоковые болота низинного типа, в основании которых залегают иловатые суглинки, а выше — средне- и слаборазложившиеся торфы незначительной плотности, мощностью 2—5 м. Часто заболачивание возникает в результате сооружения водохранилищ, прудов, отстойников, приводящих к подъему уровня грунтовых вод. Заболачивание развивается также на орошаемых полях в результате неправильной организации поливов.

Оползни формируются в местах выхода на поверхность глинистых пород угленосной юрской и пестроцветной меловой формаций. Реже они образуются на выветрелых аргиллитах угленосной формации палеозоя. Наиболее часто оползни встречаются по до-

линам рек Мрас-Су, Абашевой, Томи, Бии, Нени. Обычно оползневые тела имеют протяженность в десятки метров, редко до 80 м, однако в долине р. Бии, где развиты как древние, так и современные оползни, размер отдельных оползневых тел достигает 1—2 км, а протяженность почти непрерывно вытянутых оползневых участков доходит до 10 км. Иногда на оползневых склонах выделяется до 8 оползневых уступов. Кроме того отмечены оползни и оплывы суглинистого делювия по выветрелым каменноугольным и пермским аргиллитам; протяженность их достигает 150 м. Встречаются также оползни меньших размеров в аллювиальных отложениях, сложенных в основании суглинками. Особое место занимают оползни в бортах многочисленных карьеров и на крутых откосах горных отвалов, описание которых дано в разделе III.

В весенний период во время оттаивания сезонно-мерзлых пород, происходит солифлюкционное смещение грунта на пологих склонах. Местами развито криогенное пучение, но этот процесс в Кузнецкой впадине практически не изучен.

Особое место занимают каменноугольные подземные пожары и связанные с ними явления, возникающие не только в результате антропогенной деятельности, но и по естественным причинам. Подземные пожары возникают в близповерхностных залежах углей на глубинах до 100, иногда до 200 м, при этом выгорают участки пластов протяженностью до 2,5 км. На месте выгоревших пластов каменного угля образуются пустоты. Породы в прилегающих к выгоревшим пластам частях, особенно песчаники, алевролиты и аргиллиты, подвергаются обжигу и ошлакованию — становятся более плотными и трещиноватыми, увеличивается водопоглощение и коэффициент фильтрации. Выгорание угольных пластов сопровождается обрушением их кровли, а на поверхности могут формироваться провальные воронки. Скрытые полости в породах могут сохраняться длительное время, а обрушение происходит не сразу после пожаров, а спустя десятки и сотни лет; один из факторов, стимулирующих обрушение, могут быть антропогенные нагрузки.

Значительное место в Кузнецком регионе занимают антропогенные процессы и явления, особенно связанные с разработкой угольных месторождений. К числу наиболее крупных из них относятся провалы и проседания, возникающие на земной поверхности в результате обрушения кровли после выемки полезного ископаемого (см. раз. III).

В числе других антропогенных процессов следует отметить распространение солончаков на орошаемых землях.

ГЛАВА 12 МИНУСИНСКИЙ РЕГИОН

Минусинский инженерно-геологический регион отвечает системе межгорных впадин того же названия, вытянутых почти в меридиональном направлении и ограниченных с юга, запада и во-

стока горными массивами Западного и Восточного Саянов и Кузнецкого Алатау. На севере он отделен от Западно-Сибирской низменности невысоким хр. Арга.

Для Минусинского региона характерны два типа рельефа. Окраинные части занимают структурно-денудационные горы, с абсолютными высотами 700—900 м, глубиной расчленения 150—300 м, широкими (до 100—500 м) водоразделами и узкими нетеррасированными речными долинами. Чебаково-Балахтинская и Сыдо-Ербинская впадины, а также левобережье р. Абакан в Южно-Минусинской впадине соответствуют главным образом области куэстовых гряд и холмов с абсолютными отметками от 350 до 700 м, с глубиной расчленения рельефа 50—150 м. В Джиримо-Балахтинской, Салбатской, Черноозерской мульдах и Черногорском прогибе развит холмисто-увалистый рельеф с абсолютными отметками 400—600 м при относительной высоте от 30 до 120 м, от слабо расчлененного на глубину 20—30 м до сильно расчлененного в придолинных частях области на глубину 150—300 м.

Аккумулятивные равнины занимают обширные пространства в Назаровской, Балахтинской, Сыдо-Ербинской впадинах и восточную половину Южно-Минусинской впадины, с абсолютными отметками от 300—350 м на севере до 500—520 м на юге, от слабо расчлененной на севере до сильно и глубоко (до 50—150 м) расчлененной и осложненной дюнами на юге.

Речная сеть представлена Енисеем, пересекающим регион с юга на север и его притоками: Тубой, Абаканом, Сыдой. В настоящее время большая часть долины Енисея занята глубоководным Красноярским водохранилищем; полностью затоплена пойма и низкие террасы в Чебаково-Балахтинской и Сыдо-Ербинской впадинах. Северо-западную часть территории дренируют р. Чулым и его притоки. В центральных пониженных частях котловин сосредоточены озера (Большое, Черное, Шира и другие), нередко бессточные и горько-соленые.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Минусинский регион образован крупными изометрическими средне-верхнепалеозойскими тектоническими депрессиями, основную роль в строении которых играют средне-верхнедевонские, каменноугольные и нижнепермские терригенные, карбонатные и угленосные отложения мощностью до 7 км, трансгрессивно залегающие на красноцветно-вулканогенных нижне-среднедевонских образованиях. В Назаровской и Балахтинской впадинах развиты мезозойские терригенные и угленосные образования, несогласно залегающие на размытой поверхности палеозойских пород и выполняющие отрицательные геологические структуры типа наложенных мульд. В тектоническом отношении Минусинский межгорный прогиб представляет крупную наложенную структуру, ориентированную в северо-западном направлении и пересекающую вкрест складчатое сооружение салаирского фундамента. В соответствии с особенностями геологической истории Минусинского прогиба в его строении выделяют три структурных этажа [26].

Средне-верхнепалеозойский структурный этаж слагают четыре формации. Наиболее древние в регионе отложения быскарской серии нижнего и среднего девона, слагающие борта Минусинского прогиба и ядра антиклинальных структур в центральных частях его, образуют эффузивную формацию. Сложена она различными порфиритами, в меньшей степени плагноклазовыми и кварцевыми порфирами, трахитами, базальтами, игнимбритами, залегающими относительно выдержанными по простиранию покровами значительной мощности; встречаются отдельные прослои туфогенных пород мощностью до 10 м. Общая мощность формации достигает 1500—3000 м. Породы смяты в мелкие брахилинейные складки. Массивы эффузивных пород отличаются высокой прочностью; лишь на отдельных участках она снижается за счет высокой трещиноватости. Эффузивные породы слабо выветриваются; элювий встречается обычно на отдельных плоских участках водоразделов. В этих случаях породы обычно интенсивно трещиноваты; трещины чаще всего выполнены щебнистой супесью. Мощность сильно трещиноватых пород не превышает 0,5 м, может достигать 2 м. Предельная крутизна устойчивых откосов в породах эффузивной формации при высоте 100 м составляет 40—55°.

Молассоидная красноцветная средне-верхнедевонская формация представлена чередованием конгломератов, песчаников, алевролитов и аргиллитов, с прослоями и толщами известняков. Характерно присутствие прожилков, линзовидных прослоев и отдельных включений каменной соли, пластов гипса и ангидрита. Мощность формации изменяется от 2000—2500 (Назаровская и Чебаково-Балахтинская впадины) до 4000 м (юго-западная окраина Южно-Минусинской впадины). Основную роль в строении формации играют кварц-полевошпатовые песчаники, средне- и мелкозернистые, горизонтальнослоистые, плотные, преимущественно с карбонатным и железистым цементом. Прочность их достаточно высокая и определяется составом и типом цемента: от $300 \cdot 10^5$ у известковистых разностей до $1100 \cdot 10^5$ Па у песчаников с кремнистым цементом. Инженерно-геологические свойства массивов песчаников в природных условиях снижаются из-за литогенетической трещиноватости и присутствия относительно слабых прослоев аргиллитов и алевролитов. Массивы песчаников достигают устойчивого состояния при средней крутизне склонов не более 40°. Ослабленная зона молассоидной формации в целом — аргиллито-алевритовые разрезы. В обнажениях и откосах искусственных выемок они быстро выветриваются, распадаясь на тонкую, плоскую щебенку размером от нескольких миллиметров до 1 см. На склонах крутизной 25—28° щебнистые накопления формируют подвижные осыпи. На водоразделах в условиях длительного выветривания образуется супесчано-суглинистый элювий мощностью до 5 м, обладающий повышенной сжимаемостью и пластичностью.

Центральные части Чебаково-Балахтинской и Южно-Минусинской впадин и южная окраина Назаровской мульды выполнены

карбонатно-терригенно-туффитовой нижнекаменноугольной формацией, представленной неравномерным переслаиванием сероцветных туфов, туффигов, песчаников и известняков; в резко подчиненном количестве находятся конгломераты, алевролиты и аргиллиты. В Назаровской и Южно-Минусинской впадинах характерно преобладание туфогенных пород. Общая мощность формации 1000—1800 м. Среди песчаников и туфопесчаников преобладают тонко-, мелко и среднезернистые слоистые разновидности. Прочность песчаников определяется типом цемента и колеблется от $200 \cdot 10^5$ (с известковистым и известковисто-глинистым цементом) до $1600 \cdot 10^5$ Па (у ожелезненных песчаников). Породы разбиты трещинами напластования и отдельности, а в речных долинах — бортового отпора. По трещинам бортового отпора на высоких подмывных склонах развиваются крупные массивы отседания пород. В целом склоны, сложенные песчаными отложениями, приобретают предельно устойчивое состояние при крутизне $30-40^\circ$ и высоте $40-60$ м. На водоразделах песчаники выветриваются до состояния тяжелых суглинков или легких супесей с включениями дресвы и щебенки, переходящих вниз по разрезу в дресву и щебенку с супесчаным или суглинистым заполнителем. Мощность элювия обычно не превышает $1,5$ м.

В виде прослоев различной мощности в разрезе формации встречаются известняки; в районе Минусинска они почти полностью слагают отдельные свиты нижнего карбона. Массивы известняков прочные, слаботрещинчатые; на речных подмываемых склонах они образуют обрывы, крутизна которых достигает 80° , а высота $50-70$ м. На водоразделах известняки выветриваются до известковистых супесей, подстилаемых обычно щебенкой и дресвой известняков; общая мощность повышено трещиноватых пород достигает $50-80$ м.

Разрез палеозойских отложений заканчивается угленосной формацией каменноугольного и пермского возраста, сохранившейся в небольших по площади мульдах на территории Южно-Минусинской впадины и сложенной конгломератами, песчаниками, аргиллитами, аргиллитоподобными глинами с пластиками и линзами каменных углей и углистых аргиллитов. В ее строении наблюдается цикличность: начало цикла сложено грубообломочными породами, верхние части циклов — глинистыми, угленосными отложениями. Мощность формации увеличивается с запада на восток от 600 до 1800 м. Породы характеризуются высокой прочностью, не склонны к размоканию и набуханию. Борты карьеров кратковременной службы устойчивы при угле откоса 50° ; углы заоткоски рабочих уступов принимают равными $75-80^\circ$.

Мезозойский структурный этаж образован двумя континентальными формациями, породы которых характеризуются спокойным и пологим залеганием, слабой дислоцированностью и небольшими мощностями. Угленосная формация юрского возраста слагает Назаровскую впадину и Балахтинскую мульду. В ее составе преобладают сероцветные песчаники, алевролиты и аргиллиты с

пластами и прослоями бурого угля. Песчаники составляют 80—85 % всего объема формации. В зависимости от состава цемента прочность их колеблется в широких пределах. Наименьшей прочностью характеризуются слабые глинистые разности (в среднем $2,8 \cdot 10^5$ Па), наибольшей обладают песчаники с сидеритовым и кремнистым цементом (в среднем $417 \cdot 10^5$ Па).

Угли формации бурые, гумусовые, характеризуются тонкой микротрещиноватостью. Мощность угольных пластов изменяется от 2 до 10 м. В карьерах угольные пласты очень быстро выветриваются, становятся сильно трещиноватыми, рыхлыми, постоянно осыпаются.

Надежность основания сооружений и устойчивость откосов в глубоких выемках в породах этой формации в основном определяются свойствами глинистых пород. Для откосов высотой 30—50 м, сложенных аргиллитами, угол наклона составляет 18—25°, а при высоте откоса 50—100 м — 17—18°. Производство горных работ в угольных разрезах затрудняют оползневые деформации. Интенсивное разрушение уступов карьера высотой 10—12 м начинается уже через 1—3 мес. после их вскрытия в результате образования трещин закола и обрушения блоков пород длиной до 5 м и шириной 0,5—1 м. Разуплотнение и выветривание пород в дне и бортах карьера приводит к тому, что коэффициент фильтрации в рабочих бортах возрастает на 1—3 порядка по сравнению с ненарушенными породами; временное сопротивление сжатию выветрелых пород, подвергшихся промерзанию, уменьшается по сравнению с невыветрелыми (у песчаников на 5—10 %, у алевролитов — на 50—80 %, у аргиллитов — в 5—10 раз, у углистых аргиллитов и углей — в 10—20 раз).

На крайнем северо-западе Назаровской впадины, в бассейне рек Урюп и Березовка, развита красноцветная формация мелового возраста, сложенная аргиллитами, алевролитами, плотными песками, слабо сцементированными песчаниками, с прослоями известняков и аргиллитоподобных глин мощностью до 200—220 м. Береговые подмывные склоны, сложенные песчаными отложениями, как правило, изрезаны узкими V-образными промоинами; эрозийные процессы затухают при крутизне их тальвегов 18—20°. Прослой глины и аргиллитов служат водупором для водоносных горизонтов, к выходам которых на склонах часто приурочены действующие оползни.

Кайнозойский структурный этаж. Кайнозойские, преимущественно песчано-глинистые отложения, повсеместно распространены в регионе, покрывая маломощным чехлом элювия и делювия водоразделы и их склоны, слагая озерно-аллювиальные аккумулятивные поверхности и речные террасы. Наибольшее практическое значение имеют четвертичные отложения.

Аллювиальные отложения современного — среднечетвертичного возраста широко распространены в долинах всех рек региона и их притоков; отложения высоких террас выделяются только в долинах рек Чулыма и Енисея. В основании разреза повсеместно зале-

гают песчано-галечниковые отложения мощностью от 2—8 на пойме до 12 м на террасах в Назаровской впадине и до 9—40 м в Южно-Минусинской впадине. Верхняя часть разреза представлена суглинистыми отложениями, мощностью 1—4 м на пойме до 13—17 м на низких террасах и до 10—30 м на высоких террасах. С поверхности до глубины 3—7 м суглинистые отложения высоких террас имеют лёссовидный характер, характеризуются повышенными значениями пористости (45—48 %) и сжимаемости (коэффициент сжимаемости $0,02 \cdot 10^{-5}$ — $0,38 \cdot 10^{-6}$ Па⁻¹); некоторые разности при замачивании дают дополнительную осадку при нагрузках $3 \cdot 10^6$ Па.

В Южно-Минусинской впадине в долинах Енисея, Абакана и Тубы для аллювия низких террас характерно преобладание гравийно-галечных и песчаных толщ. На отдельных участках долин Абакана и Енисея хорошо отсортированные галечники имеют коэффициент фильтрации до 500—600 м/сут. С повышением процентного содержания глинистого материала фильтрационные свойства снижаются до 80—20 и даже 10—8 м/сут [84].

Озерно-аллювиальные ниже-среднечетвертичные отложения широко распространены в регионе. В Назаровской впадине они слагают высокие водоразделы с отметками 300—370 м и повсеместно представлены глинами и суглинками пылеватыми, слоистыми, к подошве слоя опесчаненными и с прослоями разнозернистых песков и галечников общей мощностью до 30—40 м. Озерно-аллювиальные отложения среднечетвертичного возраста выполняют также переуглубленные долины и перекрыты аллювием поймы и террас. Переуглубленные долины выполнены в основном песками и галечниками с гравийно-песчаным заполнителем. В центральной части Чебаково-Балахтинской и восточной половине Южно-Минусинской впадин озерно-аллювиальные отложения выполняют неровности древнего рельефа и характеризуются неустойчивым фациальным строением. В целом это толща переслаивания и фациального замещения песков, лёссовидных супесей, суглинков и глин с линзами и прослоями гравийно-галечного материала в основании разрезов. Мощность ее изменяется в широких пределах: от нескольких до 180 м. Природные береговые склоны, сложенные песчаными отложениями, высотой 40—60 м, устойчивы при крутизне 40—42°. При направленном стоке поверхностных вод на них часто развиваются промоины и овраги. Борта промоин симметричные, осыпные, неустойчивые, крутизной 60—70°. Уклон тальвегов достигает 30°. Эрозионные процессы затухают при достижении тальвегами крутизны 12—18, а бортами 30—40°.

Широко развиты на всех элементах рельефа межгорных впадин полигенетические и разновозрастные лёссовые породы. Лёссовые породы региона являются незасоленными. Величина пористости (46—55 %) зависит от возраста и имеет тенденцию к увеличению от более древних отложений к молодым. Изменение коэффициента проницаемости с глубиной при природном давлении характеризуется явно выраженной цикличностью, которая еще более

четко проявляется при давлении 0,3 МПа [10]. Обычно мощность просадочных лёссовых пород не превышает 6 м.

Обширные площади в Южно-Минусинской впадине покрыты верхнечетвертичными — современными золотыми песками кварцевыми, мелкосреднезернистыми, однородными, сыпучими, косослоистыми. Мощность их колеблется от нескольких метров до 30, на отдельных участках до 50—100 м. Пески в основном закреплены сосновыми борами, но местами перевезание происходит и в настоящее время, о чем свидетельствуют современные движущиеся дюны. При нарушении дернового покрова возникновение процесса перевезания золотых песков неизбежно.

В связи с интенсивным освоением западного КАТЭКа, занимающего северную часть Минусинского региона, на его территории довольно широко развиты техногенные образования: отложения насыпных дамб, транспортных сооружений, гидротвалов, автомобильных, железнодорожных и бестранспортных отвалов высотой до 50 м и более, золошлакоотвалов, а также различных свалок.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. В гидрогеологическом отношении Минусинский регион представляет собой систему адартезианских бассейнов, отвечающих основным его тектоническим структурам, в строении которых принимают участие несколько различных по геолого-гидрогеологическим особенностям водоносных этажей. Отсутствие региональных водоупоров в разрезе осадочного чехла в сочетании с трещиноватостью пород обеспечивает гидравлическую связь между различными водоносными горизонтами.

Подземные воды кайнозойского структурного этажа имеют порово-пластовый характер и преимущественно свободный уровень. Наибольший интерес представляют грунтовые воды аллювиальных отложений, глубина залегания которых колеблется от первых до 20 м на низких террасах, до 15—40 м на высоких. Мощность горизонта изменяется от 2 до 15 м. Амплитуда колебания уровня в аллювии I и II надпойменных террас р. Чулыма 1,5—5 м, в долине Абакана — 1—2,5 м. Грунтовые воды местами обладают углекислой агрессивностью ко всем видам цемента.

Подземные воды мезозойского структурного этажа порово-пластовые и трещинно-пластовые, почти повсеместно обладают напором; пьезометрический уровень устанавливается на глубине 5—20 м, иногда выше поверхности земли. Глубина залегания первого от поверхности водоносного горизонта 1—20 м в местах выхода пород на поверхность и 20—70 м в областях погружения. При открытой разработке бурого угольных месторождений Назаровской впадины важное значение имеет обводненность пород, зависящая от литологического состава: наиболее водообильны бурые угли, очень слабо водоносны пески и песчаники. В целом водоносность пород уменьшается с глубиной.

Подземные воды средне-верхнепалеозойского структурного этажа, как правило, залегают на глубинах, превышающих 15—20, а чаще 50—100 м. Обводненность этих отложений имеет существен-

ное значение при строительстве и эксплуатации глубоких шахт на месторождениях каменных углей в Южно-Минусинской впадине.

В известняках карбона развиты карстовые воды, образующие невыдержанные, разобщенные водоносные горизонты. Воды часто напорные, величина напора увеличивается с глубиной, иногда с глубины 150—200 м скважины выводят самоизливающиеся воды.

Природные условия Минусинского региона не благоприятствуют многолетнему промерзанию горных пород. М. М. Шац выделяет здесь два типа мерзлых пород: сезонномерзлые и многолетнемерзлые спорадические (рис. 12.1). Сезонномерзлые горные породы занимают практически всю территорию региона: глубина сезонного промерзания грунтов изменяется от 0,4—0,8 м в суглинистых отложениях до 4 м в супесях. Криогенные образования представлены сезонными буграми пучения, речными наледями и морозобойными трещинами. Многолетнемерзлые породы спорадического распространения приурочены к днищам западин, котловин и речных долин, т. е. наиболее пониженным и увлажненным участкам. Мощность мерзлых пород не превышает 25 м при температуре на подошве слоя годовых колебаний не ниже -1° . Криогенные образования в пределах развития многолетнемерзлых пород этого типа представлены в основном сезонными буграми пучения, наледями и наледными буграми.

Особенности природных условий региона определяют неустойчивое состояние мерзлых пород. Даже при небольших изменениях поверхностных условий возможно значительное увеличение глубины сезонного промерзания вплоть до формирования маломощных многолетнемерзлых толщ. В то же время при определенных условиях нарушения поверхности могут привести к значительному увеличению глубины сезонного протаивания, а в отдельных случаях и к полному оттаиванию маломощных многолетнемерзлых толщ.

Современные геологические процессы и явления. Особенности геологического строения, характер новейших движений и климатические условия обусловили разнообразие процессов, часто имеющих региональное значение. Главные рельефообразующие склоновые процессы региона — делювиальный смыл, десерпция, дефлюкция, эоловый процесс [2, 7, 65]. Для верхних частей и выпуклых перегибов склонов характерна десерпция; скорость ее составляет до 3 мм/год. На многих нижних элементах склонов происходит дефлюкционное смещение склоновых отложений со скоростью до 30 мм/год. На выположенных ($3-8^{\circ}$) участках склонов развиваются солифлюкционные процессы со скоростью до 5 мм/год.

В Южно-Минусинской впадине встречаются все разновидности эолового процесса: денудация (дефляция и коррозия) и аккумуляция. Наибольшая активность эоловых процессов отмечается в весенне-летнее время, показатели эоловой аккумуляции могут достигать 0,4 т/га [81, 82]. Естественный сезонный ритм эоловых процессов нарушается деятельностью человека: весной — распахкой полей, летом — выпасом скота.

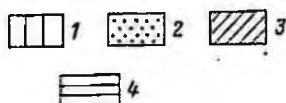
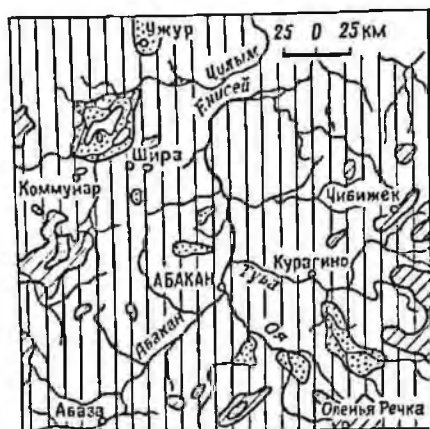


Рис. 12.1. Схема распространения мерзлых пород на юге Красноярского края (по М. М. Шацу, 1980 г.):

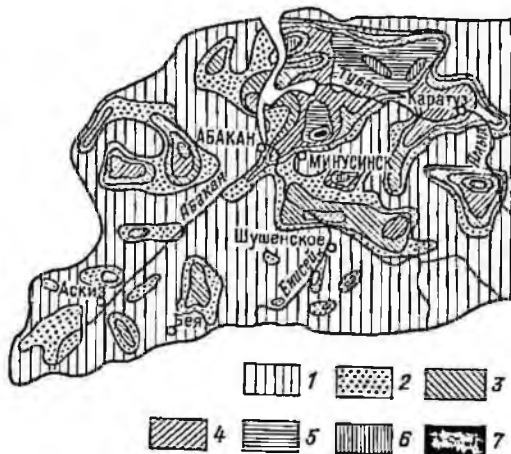
1 — сезонномерзлые; 2 — многолетнемерзлые (2 — спорадические; 3 — островные, 4 — прерывистые)

Природные условия Минусинского региона неблагоприятны для развития водоэрозионных процессов. Линейные формы эрозии распространены локально. На севере они приурочены к террасам рек Чулыма, Урюпа, к днищам и склонам балок; в Южно-Минусинской впадине — к склонам северной экспозиции куэстовых гряд, структурным понижениям предгорной части Западного Саяна, к озерным котловинам, террасам р. Енисея [44]. Интенсивность роста зрелых промоин и оврагов естественного происхождения незначительна, дифференцирована по элементам рельефа, зависит от гидроклиматической обстановки года и составляет в среднем за год первые десятки сантиметров. В Южно-Минусинской впадине средняя плотность оврагов составляет 0,09, что значительно ниже, чем на европейской части СССР. Неравномерность распределения оврагов в Южно-Минусинской впадине хорошо видна на рис. 12.2. Увеличение плотности оврагов отмечается на склонах долины; на участках вблизи населенных пунктов плотность оврагов наибольшая.

В самой северной и самой олущенной Назаровской впадине Минусинского региона развиты как древние, так и современные овраги, образование и развитие которых обусловлено сочетанием естественных условий и высокой степенью сельскохозяйственной освоенности территории [49]. Развивающиеся овраги морфологически разнообразны. Эрозионные формы, прорезающие склоны структурно-денудационного рельефа, представлены короткими узкими и прерывистыми промоинами. Интенсивность развития эрозионных форм проявляется в Назаровской впадине слабее, чем в

Рис. 12.2. Плотность оврагов Южно-Минусинской котловины, км/км² (по Р. И. Салюковой, 1976 г.):

1 — овраги отсутствуют; 2 — до 0,01; 3 — 0,01—0,1; 4 — 0,11—0,3; 5 — 0,31—0,5; 6 — 0,51—0,7; 7 — >0,7



Южно-Минусинской, прирост наблюдаемых эрозионных форм измеряется от первых десятков сантиметров до 2,5 м/год.

Как указывалось выше, в разрезах каменноугольной терригенно-карбонатной формации толщи карбонатных пород могут иметь мощность до 60—80 м. Однако частая перемежаемость карбонатных пород с терригенными, невыдержанность их как по мощности, так и по простиранию, относительно небольшие превышения водоразделов над базисом эрозии создают в целом неблагоприятные условия для развития карста, хотя на площади распространения известняков карстовые явления обычны. В Северо-Минусинской впадине преобладают задернованные воронки диаметром до 2—3 м и глубиной до 0,7 м, очень слабо выраженные в рельефе. В Южно-Минусинской котловине размеры их несколько крупнее; здесь задокументированы воронки диаметром до 6 м и глубиной до 3 м, образовавшиеся 40—50 лет назад. В поле развития известняков отмечаются исчезающие реки, сухие русла, значительные по дебиту источники и вклюдзы, карстовые воронки и пещеры; они прослеживаются в районе левых притоков Енисея в Северо-Минусинской впадине.

Наличие в отложениях формации линз и пластов гипса и ангидрита обуславливает появление гипсового карста, который в основном обнаруживается по данным бурения или горных работ. Закарстованность приурочена к кровле растворимых пород, где выявлены щели, камеры, большей частью заполненные продуктами выветривания вышележащих нерастворимых пород. Встречаются также полузаполненные и полые формы [87]. По мнению некоторых исследователей, многочисленные озера Минусинской впадины имеют в основном карстово-суффозионное происхождение.

Блюдцеобразные замкнутые понижения, по-видимому, суффозивно-просадочного генезиса часто встречаются на поверхности II, III и IV надпойменных террас Чулыма и Енисея и делювиально-пролювиальной равнины. В Назаровской впадине понижения обычно округлой, реже овальной, вытянутой форм, диаметром 50—100 м, глубиной 1,5—2 м, с расплывчатыми очертаниями и пологими склонами (3—5°).

Оползневые процессы распространены ограниченно и приурочены в северной части региона в основном к уступам III надпойменной террасы долины рек Урюп, Берешь, Серезж. Ширина оползневых цирков колеблется в пределах 100—300 м, а глубина захвата склонов — 100—150 м. Среди оползней выделяют оползни-блоки, оползни-потоки и сложные оползни. В бассейне р. Чулым на правом берегу в районе р. Малые Сыры оползни приурочены к юрским глинам, выветрелым аргиллитам и алевролитам и подразделяются на древние и современные. Древние оползни имеют ширкообразную форму, выположенный бугристо-западинный рельеф, поверхность их залесена и задернована. Современные активные оползни развиваются преимущественно в нижней части древних оползней, местами оползневые деформации распространяются вплоть до стенки отрыва древнего оползня. Наиболее интенсивные оползневые подвижки отмечаются в периоды обильных дождей и высокого уровня в р. Чулым. Плоскости скольжения современных оползней проходят по высокопластичным юрским аргиллитоподобным глинам и выветрелым аргиллитам. На подмываемых склонах в породах карбонатно-терригенно-туффовитовой формации наблюдаются отседания массивов пород по трещинам бортового отпора и глубоким эрозионным промоинам. Широко развиты осыпные процессы. Следует отметить также повсеместное заболачивание поймы, низких террас и отдельных участков аккумулятивных равнин.

В связи с интенсивным освоением Минусинского региона ряд процессов вызван хозяйственной деятельностью. К ним в первую очередь относится широко распространенное засоление почв и грунтов верхней части зоны аэрации на орошаемых массивах.

Подтопление, а местами и техногенное заболачивание территорий в регионе связано преимущественно с гидротехническим и мелиоративным строительством. Подпор в зоне влияния Красноярского водохранилища вызвал подтопление и заболачивание ряда пониженных прибрежных участков, а также активизацию и развитие абразионно-эрозионных и оползневых процессов. Подробно они рассмотрены в гл. 14. Из других процессов преимущественно техногенного происхождения следует отметить образование провалов над старыми шахтами в Назаровской и Южно-Минусинской впадинах.

Раздел III

ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ И ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Для Алтае-Саянского региона характерна крайне неравномерная освоенность его территории. Большую часть ее занимают труднодоступные залесенные горные районы, интенсивное хозяйственное освоение приурочено в основном к крупным межгорным впадинам (Кузнецкая, Минусинская) и котловинам Горного Алтая и Тувы (см. рис. 1).

Кузнецкая впадина в начале 20-х гг. была преимущественно сельскохозяйственным районом. Добыча каменного угля составляла всего 1,3 млн т и почти целиком была сосредоточена на Анжерском месторождении. В предгорьях Салаира и Кузнецкого Алатау действовало несколько мелких рудников. Сейчас Кузнецкий бассейн — важнейший промышленный район восточной части страны. Его основа — угольная промышленность. Огромные запасы энергетических углей позволили создать комплекс тепловых электростанций, и на их базе — электрометаллургию, производство алюминия, ферросплавов, химическую промышленность.

Минусинская впадина — традиционный район высокоразвитого сельскохозяйственного производства юга Сибири. Сейчас в северной части впадины формируется Канско-Ачинский территориально-экономический комплекс. Интенсивное освоение вызвало увеличение строительства новых поселков, линий ЛЭП, дорог, что, в свою очередь, привело к изъятию из сельскохозяйственного производства плодородных земель. На юге Минусинской впадины формируется Саянский территориально-производственный комплекс, характеризующийся сравнительно высокой плотностью населения, множеством железных и автомобильных дорог, богатейшими гидроэнергетическими ресурсами, наличием плодородных земель и т. д. На базе дешевой электроэнергии Саяно-Шушенской ГЭС ведущее место в экономике будут занимать цветная металлургия, машиностроение и сельское хозяйство. Здесь создается промышленный комплекс в составе более 120 крупных предприятий и производств. Функционируют горнодобывающие предприятия. Саянский комплекс обладает большими возможностями для развития сельского хозяйства и в перспективе сможет стать одной из важных продовольственных баз Сибири, специализирующихся на производстве сельскохозяйственных продуктов для растущих индустриальных центров.

Межгорные впадины Горного Алтая и Тувы значительно менее освоены в хозяйственном отношении. Дальнейшее развитие производительных сил Тувинской АССР, вовлечение в хозяйственный оборот ее богатых природных ресурсов на основе формирова-

ния Тувинского ТПК приведет к освоению новых территорий, строительству различных коммуникаций, т. е. вызовет усиление техногенной нагрузки на геологическую среду.

ГЛАВА 13 ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Интенсивное развитие горной промышленности, строительство крупнейших гидроэнергетических комплексов, новых городов и промышленных районов, увеличение площадей мелиорируемых земель, строительство дорог и т. д. в разнообразных инженерно-геологических условиях региона позволяют провести некоторое обобщение накопленного опыта строительства и анализ влияния инженерно-геологических факторов на принятие проектных решений, строительство и эксплуатацию различных объектов.

13.1. Промышленное и гражданское строительство

В разнообразных инженерно-геологических условиях региона основной задачей при проектировании и строительстве различных сооружений является правильная оценка этих условий и выбор оптимальных конструктивных решений по размещению и выбору типов фундаментов. В зависимости от инженерно-геологических условий строительства и нагрузок на фундаменты Красноярским ПромстройНИИпроектом были выполнены работы по определению и анализу технико-экономических показателей различных типов фундаментов промышленных зданий для районов Восточной Сибири [86].

Так, на просадочных грунтах наиболее эффективно применение свайных фундаментов. При большой толщине просадочных грунтов рекомендуется применение буронабивных свай с уширением (для всех вариантов нагрузок и грунтовых условий). С увеличением мощности слоя и возрастанием нагрузки эффективность применения этих свай повышается. На площадках, сложенных песчаными грунтами, целесообразно использовать фундаменты из забивных свай (сплошного квадратного сечения, полых круглых) при небольших нагрузках и столбчатые сборные и монолитные фундаменты при нагрузке более 1000 кН.

При неглубоком залегании прочных грунтов (галечник) наиболее целесообразно в качестве фундаментов применение забивных свай (сплошного квадратного сечения, полых круглых) и монолитных столбчатых фундаментов. При подобном строении грунтовой толщи забивные свайные фундаменты имеют преимущество по всему диапазону рассматриваемых нагрузок. С увеличением мощности слабого грунта до 5 м более предпочтительными становятся полые круглые сваи, которые до нагрузки 2800 кН дают лучшие показатели, чем прочие фундаменты, далее до 5000 кН они

практически равноценны с забивными свайными фундаментами.

В настоящее время для жилых, общественных зданий, промышленных и сельскохозяйственных предприятий в галечниковых грунтах Красноярска предлагается применение фундаментов из коротких железобетонных свай [12] взамен ленточных (при глубине заложения более 1,7 м). Действующими нормативами (СНиП 11—17—77) регламентируется заглублять нижний конец свай в несущий слой грунта. Для легких бесподвальных зданий с несущими стенами применение свай с глубиной погружения 1,5—2 м, если основание представлено песками средней плотности, твердыми и полутвердыми песчаными грунтами. Несущая способность таких свай определяется полевыми методами. В «Рекомендациях по определению несущей способности свай в региональных грунтах Красноярского края» (1981 г.) расчетное сопротивление для крупнообломочного грунта под нижним концом свай-стойки при глубине погружения до 3 м принято равным 8000 кН/м².

Размягчение грунта и разрушение связей между его частицами, образование вокруг свай водяной пленки, значительно облегчающей погружение, свойственны пластичным глинистым грунтам. После прекращения забивки свай, в течение определенного времени структурные связи между частицами восстанавливаются и грунт упрочняется. Затруднять погружение свай могут твердые включения в насыпных грунтах, находящаяся под слоем насыпки сезонная мерзлота, линзы и слои крупнообломочных грунтов с пониженной влажностью.

Основным принципом строительства в условиях распространения лёссовых пород, обладающих просадочными свойствами, должен быть принцип строительства с недопущением замачивания грунтов под фундаментами при правильном использовании в фундаментостроении естественных инженерно-геологических условий территории и специфических особенностей грунтов каждого отдельного района.

Примером удачного использования сформулированного выше принципа может служить безаварийное строительство крупнопанельных жилых домов на просадочных грунтах в Красноярске с применением свайных фундаментов. Десятки построенных домов этой серии не обнаруживают каких-либо дефектов в конструкциях, которые могли бы явиться следствием осадки фундаментов.

Многим лёссовым породам региона присуща слоистость и неоднородность. Так, на юге Красноярского края наибольшей сжимаемостью обладают просадочные лёссовые породы верхних горизонтов. Слабосжимаемые грунты залегают обычно на больших глубинах, характеризуются повышенной пылеватостью и слабой влажностью.

Одна из неблагоприятных для строительства особенностей грунтовых условий региона — распространение лёссовых пород обширных территориях Кемеровской области и юга Красноярского края. Здесь при строительстве случаи замачивания грунтов в

основаниях фундаментов нередко приводили к неравномерным осадкам и деформациям отдельных зданий.

Специфика строительства на лёссовых грунтах в регионе заключается также в наличии подземных полостей на отдельных площадках. Такие лёссовые просадочные грунты были встречены в пределах IV надпойменной террасы р. Енисей к северо-востоку от г. Красноярска, где велось строительство Красноярского алюминиевого завода.

Для предотвращения развития просадочных явлений в траншеях проводилось уплотнение лёссовидных просадочных грунтов с помощью трамбовок. Однако впоследствии опыт строительства подземных водонесущих коммуникаций показал, что в местных условиях при прокладке коммуникаций в просадочных грунтах I типа и достаточном удалении их от фундаментов зданий и сооружений, допустимо предъявлять к ним те же требования, что и к трубопроводам, укладываемым в обычных грунтах.

Строительство на территории пойм и низких надпойменных террас часто бывает осложнено заболоченностью территории, рыхлым сложением и неоднородностью песчано-глинистых, галечниковых и торфяно-илистых отложений. Так, в связи с сильной заболоченностью осложнено строительство и эксплуатация сооружений во многих населенных пунктах (Горно-Алтайское, Ленинск-Кузнецке и др.).

Для улучшения условий строительства на пойменных участках нередко применяется намыв грунтов для поднятия уровня земной поверхности. При этом используется метод гидронамыва. В качестве намывного материала может служить песчано-гравийная смесь русловых отложений, рыхлые песчаные породы ближайших берегов (г. Новокузнецк).

Примером строительства в сложных гидрогеологических и инженерно-геологических условиях может служить строительство Западно-Сибирского металлургического завода (г. Новокузнецк). После детального изучения и сравнения технико-экономических показателей для всех основных сооружений металлургического завода был принят свайный вариант фундаментов с забивкой железобетонных свай длиной до 17—19 м.

Один из неблагоприятных инженерно-геологических процессов, возникающих при строительстве различных инженерных сооружений, — суффозия. Суффозионные провалы особенно часто имеют место вдоль трасс прокладываемых коммуникаций, особенно горячего водоснабжения. Часты случаи суффозионного выноса материала из-под зданий, что приводит к их деформации.

13.2. Разработка месторождений полезных ископаемых

Добыча угля, железных и неметаллических руд и других полезных ископаемых ведется в регионе как открытым способом, так и подземными горными выработками. Открытым способом разрабатываются, главным образом, месторождения строительных

материалов, частично месторождения полиметаллических и алюминиевых руд. Открытый способ разработки применяется при эксплуатации месторождений таких крупнейших угольных бассейнов, как КАТЭК и Кузбасс.

На долю Кузбасса приходится (по разным оценкам) 14—18 млрд т запасов углей, пригодных для открытой разработки [36], что составляет 7,7—9,1 % общесоюзных запасов этой категории. Карьерная добыча была начата в Кузбассе еще в 1917 г. Однако примитивная техника тех времен не позволяла отрабатывать более глубокие горизонты в карьерах, и поэтому открытые горные работы в 20-х годах были прекращены. В послевоенные годы снова встал вопрос о возобновлении этого способа добычи угля в Кузбассе. В настоящее время в Кузбассе действует 16 разрезов общей мощностью более 43 млн т в год. Открытая добыча угля в общей добыче Кузбасса составляет более 36 %.

В результате интенсивного освоения угольных залежей Кузнецкого бассейна особо остро стоит необходимость решения проблемы устойчивости бортов действующих и проектируемых карьеров. Анализ, проведенный при оценке влияния различных природных факторов на устойчивость бортов карьеров [55], показал, что наиболее тесная связь наблюдалась между углами наклона бортов α и прочностью пород на сжатие $\sigma_{сж}$, которая описывается уравнением

$$\alpha = 25,59 + 0,0183 \sigma_{сж}.$$

Полученная зависимость подтверждает влияние тектоники на устойчивость бортов карьеров, что выражается в резком снижении прочностных показателей и углов наклона бортов в интенсивно нарушенных зонах.

Между углами наклона бортов карьеров α и слоев горных пород β существует связь типа

$$\alpha = 39,8 - 0,1527 \beta,$$

но линейный характер связи будет наблюдаться лишь при изменении аргумента от 10 до 70°.

Среди других факторов, наибольшее влияние на величину углов бортов оказывает глубина карьера, содержание песчаников, степень дислоцированности и литогенеза пород. Зависимость влияния глубины карьера H на угол наклона бортов описывается уравнением

$$\alpha = 40,9 - 0,0394 H.$$

С возрастанием процентного содержания песчаников в массивах увеличивается устойчивость последних, так как песчаники являются наиболее прочными породами угленосной формации.

Для выявления взаимосвязи между различными природными и техногенными факторами и устойчивостью бортов глубоких карьеров Кузбасса была предложена типизация угольных месторождений [56]. В пределах Кузнецкого угольного бассейна В. Е. Оль-

ховатенко выделено 13 типов месторождений. Наиболее сложные инженерно-геологические условия строительства карьеров имеют месторождения, расположенные в Присалаирской зоне интенсивной линейной складчатости. Месторождения Пригорношорского типа наиболее благоприятны для разработки открытым способом, так как характеризуются простым тектоническим строением, спокойным пологим залеганием угольных пластов и пород с углами падения 10—30°, слабой тектонической нарушенностью горных пород, обладающих высокой прочностью.

Инженерно-геологические особенности угленосной формации Кузбасса определяют величины генеральных углов бортов карьеров, которые могут изменяться от 40 до 60° при пористости $n=1$ и от 30 до 45° при $n=1,3$.

Исследования полей напряжения и свойств пород на угольных месторождениях Кузбасса [57] показали, что величина нормальных напряжений в массиве горных пород, возникающая под действием гравитационных сил, зависит от прочностных показателей горных пород, стадии литогенетических преобразований, а также от принадлежности их к различным геотектоническим зонам. С учетом перечисленных факторов для различных геотектонических зон были проведены расчеты вертикальных (σ_1) и горизонтальных ($\sigma_{2,3}$) напряжений, возникающих под действием гравитационных сил. Наибольшие значения нормальных вертикальных напряжений были получены в пределах Пригорношорской зоны моноклиналей, где горные породы имеют пологое залегание (10—30°), находятся на самой высокой степени литогенеза и характеризуются низкой степенью дислоцированности и тектонической нарушенности. Наименьшие значения нормальных напряжений наблюдаются в пределах Чусовитино-Бунгурапской депрессии, где развиты отложения тарбаганской серии, находящиеся на самой низкой стадии литогенеза и обладающие невысокими значениями плотностных и прочностных показателей.

Наблюдается тенденция к снижению главных нормальных напряжений в массивах горных пород Присалаирской и Приколывань-Томской зон интенсивно-линейной складчатости. Особенно резко снижаются нормальные напряжения в зонах крупных тектонических разломов, которые как бы служат зонами релаксации напряжений.

Ведение открытых горных работ часто осложняется повышенной водообильностью горных пород, в результате которой происходит снижение фактического угла наклона откосов карьеров, а также стимулируется развитие некоторых инженерно-геологических процессов. Так, на Ачинском разрезе КАТЭКа в условиях осушенного месторождения при высоте уступов 30 м устойчивость карьера может быть обеспечена при угле заоткоски до 55°, тогда как в условиях неосушенного месторождения, по данным Н. Н. Куваева и Е. П. Карпенко, этот показатель снижается до 40°. На Балахтинском бурогольном месторождении в случае свободной фильтрации в слабых породах (четвертичные глины, супеси, а

также выветрелые коренные породы) общий угол наклона снижался в 1,5—2 раза.

Следует отметить также влияние физико-географических условий территории на устойчивость бортов карьеров. Например, было отмечено, что для западной части территории Канско-Ачинского угольного бассейна в осенний и весенний периоды характерны резкие колебания температуры воздуха, что может привести к быстрому физическому выветриванию горных пород в действующих карьерах. Обильные летние дожди здесь будут благоприятствовать суффозионным явлениям, оползанию бортов карьеров и отвалов. Малое количество осадков зимой способствует глубокому (до 2,5 м) промерзанию грунтов на открытых площадках.

Деформации бортов карьеров Кузбасса носят «унаследованный» характер, т. е. происходят по заранее подготовленным геологическим развитием поверхностям скольжения — взбросам, настигам, сдвигам, а также зонам тектонических разломов.

Возникновение оползней зачастую связано с подработкой откосов, особенно при подрезке горных пород, залегающих наклонно к дну карьера, и при наличии плоскостей скольжения. Такие оползни были отмечены на Красногорском, Междуреченском и Листвянском разрезах Кузбасса. Наиболее крупный оползень произошел на Листвянском разрезе (1979 г.): объем оползшей массы составил 0,3 млн м³.

На развитие инженерно-геологических процессов в бортах карьеров большое влияние оказывает также повышенная обводненность горных пород; в подобных условиях наблюдались оползни объемом до 1,5 млн м³.

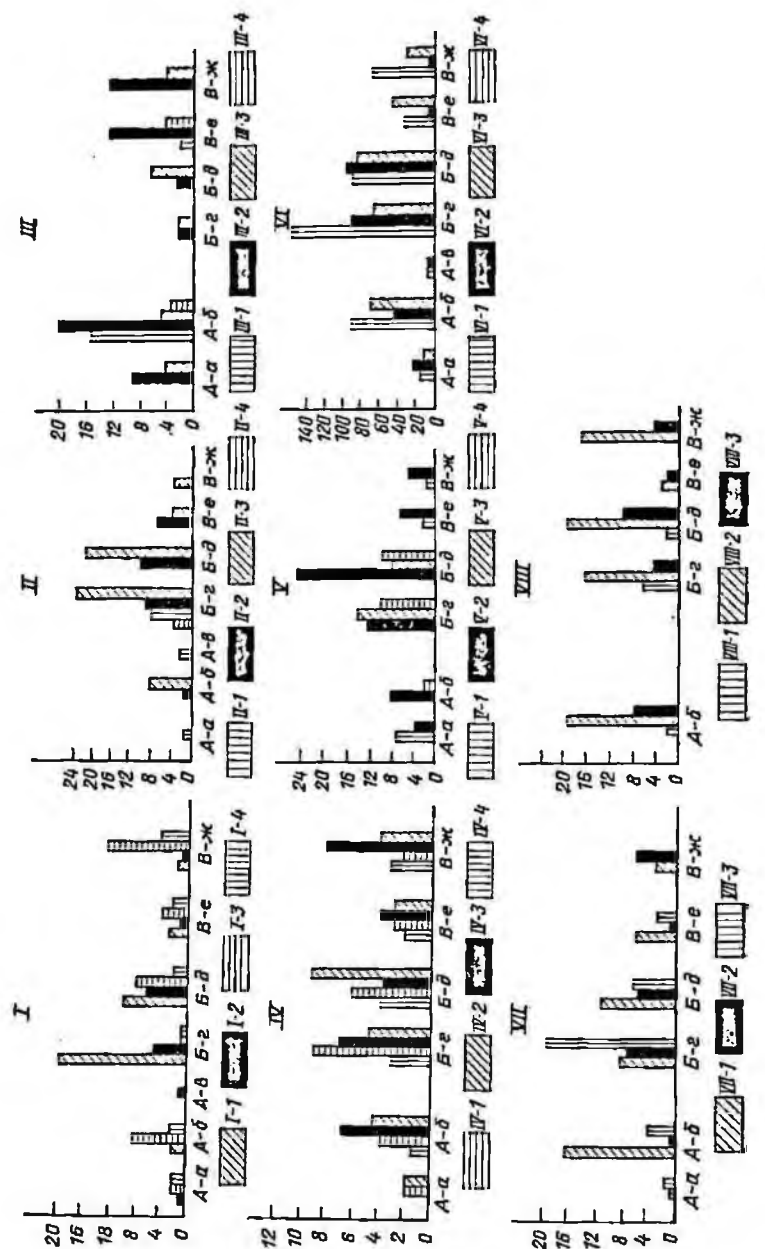
На дне карьеров отмечается развитие процессов заболачивания, что зачастую связано с плохой работой систем водопонижения. Зафиксированы также суффозионные процессы. Подробный анализ причин возникновения деформаций в бортах угольных карьеров в обобщенном виде приводится на рис. 13.1.

В Кузбассе, Колывань-Томской зоне, на Салаире и в Горном Алтае при добыче угля, железных и неметаллических руд и других полезных ископаемых широко применяется разработка полезных ископаемых подземными горными выработками.

В настоящее время при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок широко применение получили проходческие комбайны. Пройденные комбайнами выработки, не подвергаясь воздействию взрыва, лучше противостоят горному давлению. Применение проходческих комбайнов ограничено крепостью горных пород, которая не должна превышать 40—60 МПа. Основной способ проходки при разработке крепких пород — буровзрывной. Наиболее сложной остается проблема разработки мощных крутых пластов, в частности Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса с мощностью продуктивных пластов более 3,5 м и углами падения 60—70°.

Применяется и способ подземной газификации углей. В настоящее время в Кузбассе действует Южно-Абинская станция подзем-

Числа депозитов



ной газификации в районе г. Киселевска. Здесь получен опыт разработки пластов крутого падения мощностью 2—9 м.

За период с 1955 по 1980 г. станция выработала около 20 млрд м³ газа, что соответствует примерно 6,0 млн т условного топлива или 7,5 млн т рядового угля. Даже при малой производительной мощности эффективность подземной газификации примерно равна эффективности подземной угледобычи.

При всех способах подземной обработки полезных ископаемых происходит нарушение естественного состояния массивов горных пород, что приводит к возникновению и развитию разнообразных инженерно-геологических процессов и явлений как в самой выработке, так и на поверхности горных отводов и даже за их пределами. Наиболее распространенные инженерно-геологические явления, сопровождающие подземную разработку угольных пластов Кузнецкого и Горловского бассейнов, — различные формы опускания и обрушения вмещающих пород в выработанное пространство. Эти явления имеют особое значение в очистных выработках, когда породы, залегающие над вынимаемым углем, оказываются подработанными одновременно на больших площадях.

Опыт горных работ свидетельствует о том, что интенсивность первичных и периодических осадок основных кровель, масштабы и опасность связанных с ними инженерно-геологических явлений бывают тем большими, чем большее количество потенциальной энергии накапливается в залегающих породах. При прочих равных условиях запас энергии возрастает с увеличением общей массы подработанных и необрушившихся слоев.

Факторный анализ, выполненный во Всесоюзном нефтяном научно-исследовательском геологоразведочном институте (ВНИГРИ), свидетельствует о том, что обрушаемость основных кровель на шахтах Кузнецкого бассейна в основном определяется следующим комплексом геологических показателей: а) литологическим составом отложений, залегающих над разрабатываемыми

Рис. 13.1. Гистограммы числа деформаций, развивающихся в бортах карьеров в зависимости от мест проявления (I), состава пород в бортах карьеров (II), состава пород в отвалах (III), времени года (IV), условия залегания пород (V), обводненности пород (VI), времени протекания (VII), объемов оползневых масс (VIII) (по В. Е. Ольховатенко):

I-1 — рабочий борт, I-2 — нерабочий борт; I-3 — внутренний отвал, I-4 — внешний отвал. Грунты: II-1 — песчаные, II-2 — песчано-глинистые, II-3 — глинистые, II-4 — крупнообломочные, III-1 — песчаные, III-2 — песчало-глинистые, III-3 — крупнообломочные и песчало-глинистые, III-4 — полускальные и мело-мергельные. IV-1 — весна, IV-2 — осень, IV-3 — лето, IV-4 — зима. V-1 — горизонтальное, V-2 — пологое (0—25°), V-3 — наклонное (25—45°), V-4 — крутое (свыше 45°). VI-1 — подземными водами, VI-2 — атмосферными осадками, VI-3 — водоемами вблизи оползневых участков. VII-1 — вышальные (секунды, минуты), VII-2 — быстрые (часы), VII-3 — медленные (дни и более). VIII-1 — до 10 тыс. м³, VIII-2 — от 10 тыс. м³ до 1 млн м³, VIII-3 — более 1 млн м³.

A—B — классы деформаций, происходящих: А — при отсутствии поверхности ослабления; B — по поверхностям ослабления, предопределенным условиями залегания пород — контактные оползни; B — по поверхностям ослабления, не предопределенным условиями залегания пород.

a — оседание; б — оплывание; в — осыпь; г-д — деформации, происходящие по поверхностям ослабления, расположенным: г — в массиве пород, д — в подстилающих породах; е-ж — деформации: е — массива откоса, ж — основания откоса.

пластами; б) степени постдиагенетического преобразования угленосных осадков; в) механической прочностью пород, слагающих основную кровлю; г) мощностью основной кровли; д) отношением мощности основной кровли к выемочной мощности угольных пластов; е) величиной углов падения разрабатываемых пластов; ж) интенсивностью трещиноватости, развитой в породах основной кровли; з) характером обводненности пород.

В связи с повышенной сейсмичностью рассматриваемых бассейнов не исключена возможность значительного повышения обрушиваемости пород в подземные выработки при землетрясениях интенсивностью более 5—6 баллов. Для предотвращения опасных ситуаций, связанных с обрушением пород при землетрясениях, в сейсмоактивных районах рекомендуется применять полное обрушение кровель с обеспечением минимально возможной ширины рабочего пространства. На пластах с труднообрушающимися кровлями лучше применять полную закладку выработанного пространства или предварительное разупрочнение пород, а также другие специальные технологические приемы.

Одно из наиболее характерных инженерно-геологических явлений — выдавливание пород и угля в выработанное пространство, проявляющееся в виде пучения почвы угольных пластов в подготовительных выработках. Это приводит к перекоосу и разрушению рельсовых путей, а иногда к значительному уменьшению сечения выработок и нарушению целостности установленной в них крепи. Интенсивное пучение почвы вызывает необходимость значительных затрат на периодическое удаление выдавленных пород и ремонт выработок. Следует отметить разнообразие геологических факторов, обуславливающих выдавливание пород и углей. Один из них — давление набухания, наиболее характерное для слаболитифицированных образований, подверженных интенсивному увлажнению. В условиях Кузнецкого и Горловского бассейнов к главным факторам пучения относятся также горное давление, создаваемое весом вышележащей толщи, местные концентрации напряжений и наличие существенно глинистых, склонных к ползучести пород.

Количественной характеристикой интенсивности выдавливания может служить скорость смещения пород и углей на контурах выработок в направлениях, нормальных этим контурам. Например, подъем (пучение) почвы может происходить со скоростью до 50 см в месяц и более.

Пучение почвы угольных пластов на шахтах в наибольшей степени характерно для Кузнецкого бассейна. При обобщении материалов многочисленных наблюдений и инструментальных измерений было выделено две основные схемы развития пучения почвы на шахтах Кузбасса. При реализации первой схемы, наиболее характерной для слоистых и трещиноватых пород (около 75 % от всех случаев пучения), происходят постепенное расслоение почвы по плоскостям напластования и ослабления, изгиб и разрушение отделяющихся слоевых элементов, увеличение их объема и смеще-

ние разрыхленной массы внутрь выработки. При крутом и наклонном залегании выдавливание происходит преимущественно по плоскостям напластования. Вторая схема более типична для глинистых пород, склонных к размоканию и переходу в пластичное состояние. Она реализуется путем пластичного и вязкопластичного выдавливания (течения) пород, постепенно заполняющих выработку.

В шахтах Кузнецкого угольного бассейна отмечаются выбросы угля и газа, сопровождающиеся сотрясением массивов, возникновением ударной воздушной волны, повреждением, а иногда — массовым разрушением и завалами подземных выработок. При изучении и оценке выбросоопасности угольных пластов в Кузнецком и Горловском бассейнах установлены наиболее общие геологические закономерности, которые заключаются в том, что эти явления происходят преимущественно в слабо метаморфизованных углях кларен-витренового типа с высокой газоотдачей и при сложном строении угольных пластов (по А. И. Кравцову). Наиболее опасны по выбросам пласты с высоким (свыше $10 \text{ м}^3/\text{т}$) содержанием природного газа, значительным газовым давлением, резким преобладанием метана в газовой фазе, наличием в ней высоких содержаний углекислоты, тяжелых углеводородов и тяжелого изотопа углерода. Замечено, что выбросы концентрируются в зонах развития тектонических разрывов типа надвигов и взбросов, вблизи которых уголь подвергается интенсивному раздроблению, а также на участках современной тектонической активности. Выбросоопасность усиливается с увеличением глубины залегания углей, в местах резкого изменения мощности, строения, физико-механических свойств угольных пластов, на участках развития тяжелых кровель.

Имеют место и сходные с внезапными выбросами горные удары и стрельяние пород. Возникновению горных ударов способствуют наличие угольных пластов простого строения, высокая крепость и упругость угля, значительная механическая прочность вмещающих его пород и большая мощность слоев, наличие разрывных нарушений и значительная глубина разработки. При прочих равных условиях горные удары чаще сосредоточиваются в целиках, на выступающих в выработку участках угольных пластов и участках, расположенных над или под целиками, оставленными на соседних пластах. Во всех случаях опасны по горным ударам зоны, непосредственно примыкающие к действующим забоям.

Явления горных ударов и стрельяния горных пород характерны при разработке рудных месторождений. Подавляющее большинство рудных месторождений разрабатывается в скальных и полускальных породах (месторождения Восточного и Западного Саян, Кузнецкого Алатау, Горной Шории и др.). Повышенная крепость пород, а также значительные глубины выработок приводят к появлению и развитию динамических форм горного давления, в том числе и горных ударов.

Для месторождений Горной Шории динамические проявления горного давления достаточного редки и не выходят за рамки стреляния и интенсивного заколообразования пород [95]. Исключением составляет Таштагольский рудник, где с 1959 г. зарегистрировано около 340 динамических проявлений горного давления, в том числе 40 микроударов и 11 горных ударов, и отмечен рост числа и интенсивности динамических проявлений с глубиной.

Для изучения механизма развития и проявления динамических форм горного давления проводились различные исследования, в частности, исследование существующих геодинамических полей на Таштагольском, Абаканском и Шерегешевском железорудных месторождениях. Эти месторождения находятся в сейсмической зоне Алтае-Саянской складчатой области, в которой происходят современные тектонические движения земной коры с деформациями сжатия. Поле напряжений вне зоны влияния очистных работ Таштагольского месторождения сформировано гравитационными и тектоническими силами. Напряжения тектонической природы по абсолютному значению превосходят гравитационные и действуют в плоскости, близкой к горизонтальной. Направленность этого напряжения с глубиной сохраняется [96].

На Абаканском месторождении экспериментально установлено, что направление главных напряжений хорошо согласуется со складчатой структурой массива и разрывными нарушениями северо-восточного простирания. Максимальное напряжение сжатия направлено перпендикулярно складчатости и действует вкрест простирания рудных тел.

В условиях Таштагольского месторождения [22] рекомендуются следующие схемы защиты горных выработок от вредных последствий горных ударов: проходка горных выработок с опережающими глубокими скважинами, создание в сечении выработок вертикальной или горизонтальной разгрузочной щели с помощью глубоких скважин, разгрузка зон повышенной удароопасности с помощью камуфлетного взрывания глубоких скважин.

С увеличением глубин разработок и соответственно заложения вертикальных стволов шахт (на ряде рудников глубина достигает 800 м и более) возникает необходимость создания гарантированной надежности их работы. Обследования стволов шахт показали, что все они в той или иной степени подвержены воздействию горного давления, которое привело к образованию вывалов породы из стенок при проходке шахт. Существует ряд природных и технологических особенностей, влияющих на надежность стволов при их проходке и эксплуатации: интенсивность и ориентация систем мелкой трещиноватости, углы падения систем трещин, тектонические нарушения и др.

При отработке полезных ископаемых подземным способом, как и при открытой разработке, немаловажную роль играет водообильность горных пород, которая проявляется в различных величинах водопритоков в шахты. Для 75 шахт Кузнецкого бассейна суммарный водоприток в паводковые периоды составляет

30 тыс. м³/ч, при минимальных водопритоках 12 тыс. м³/ч, при средних — 20 тыс. м³/ч. Большие водопритоки в некоторые шахты Кузбасса обусловлены обычно инфильтрацией атмосферных осадков в пределах мульд сдвижения или поступлением вод аллювиальных отложений, связанных с поверхностными водотоками.

Наиболее опасна при подземной проходке повышенная водообильность пород, связанная с наличием зон тектонических нарушений и карстовых полостей. При разработке месторождений Горношорского, Западно-Саянского и Восточно-Саянского железорудных районов была отмечена незначительная водообильность вмещающих и рудных отложений. Коэффициент фильтрации этих пород составлял 0,004—0,008 м/сут. Основные водопритоки в шахты формировались за счет отличающихся большей водообильностью зон дробления и повышенной трещиноватости коренных пород, а также карстовых пустот и трещин, взаимосвязанных между собой и также значительно обводненных.

При подземной разработке сплошная выемка полезного ископаемого из одного или одновременно нескольких горизонтов вызывает деформацию вышележащей толщи горных пород, приводя к возникновению инженерно-геологических процессов на поверхности горного отвода. Для Кузнецкого угольного бассейна эти процессы проявляются прежде всего в проседании поверхности, образовании трещин, блоковом проседании по трещинам, провалах, выделении газа. Специфика возникновения и развития этих процессов во многом определяется условием залегания и глубиной обрабатываемых пород.

При разработке угольных пластов на участках с крутым падением сдвижение земной поверхности в ряде случаев начинается с образования провала над выходом пласта под толщу надугольных отложений, после чего оно постепенно распространяется по площади главным образом в сторону падения и по простиранию слоистости. В старейшем угольном центре Кузбасса — Прокопьевском угольном районе, для которого характерно крутое залегание угольных пластов, отмечалось образование множества провалов поверхности. В настоящее время, в основном, обрабатываются более глубокие горизонты с применением прогрессивной технологии, что не замедлило сказаться на дневной поверхности. Резко уменьшилось число провалов на выходах пластов под толщу надугольных отложений, образование которых связано, в основном, с разработкой угля верхних неглубоких горизонтов. Чаще наблюдается плавное блоковое проседание поверхности, иногда происходящее с разрывом сплошности (рис. 13.2).

Перечисленные инженерно-геологические процессы, происходящие на территориях горных отводов шахт, впоследствии часто приводят к возникновению и развитию новой серии инженерно-геологических явлений, таких как заозеривание, заболачивание в пределах мульд сдвижения, образование оползней при участии талых и ливневых вод, а также деформирование и разрушение

инженерных сооружений, находящихся в пределах территории, подверженной вертикальным смещениям земной поверхности (см. рис. 13.2).

При отработке угольных пластов подземным способом существует проблема возникновения эндогенных пожаров. Достаточно высокой пожароопасностью отличаются месторождения Кузбасса. Возникновение эндогенных пожаров обусловлено, в первую очередь, технологией ведения горных работ: большие потери угля, аэродинамическая связь выработанных пространств действующих забоев с земной поверхностью и соседними отработанными пластами, высокие действующие напоры воздуха в шахтах, несвоевременная изоляция отработанных выемочных полей и др.

Большое число эндогенных пожаров при отработке пологопадающих пластов приурочено к зонам геологических нарушений. При отработке таких зон резко снижается скорость продвижения очистного забоя, что приводит к увеличению продолжительности притока воздуха к концентрированным потерям угля. Кроме того, угли в районе нарушения обычно перемяты и отличаются повышенной сорбционной способностью к кислороду воздуха.

В результате работ горнодобывающих предприятий происходит формирование отвалов пустых пород, приводящих к отчуждению обширных территорий. Так, по объединению «Кузбассуголь» из нарушенных земель, составляющих более 55 тыс. га, почти половина занята отвалами вскрышных пород [24]. Одно из направлений снижения потерь земли под отвалами при открытой разработке месторождений, а также скорейшего восстановления плодородия нарушенных земель — применение комбинированного отвалообразования, позволяющее формировать отвальные массивы с повышенной плотностью. Сущность его заключается в совместной укладке в отвалы коренных пород вскрыши и рыхлых четвертичных отложений, разработанных с помощью гидромеханизации [42].

Гидроотвалообразование — важная составная часть технологического процесса разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом. В Кузнецком бассейне с помощью средств гидромеханизации ежегодно отработывается, транспортируется и укладывается в гидроотвалы около 30 млн м³ горных пород. Как правило, гидроотвалами заняты практически бросовые земли — балки, овраги, глубиной до 50 м и более. Но таких свободных земель становится все меньше, и под гидроотвалы приходится занимать сельскохозяйственные угодья. В связи с этим возникает проблема рекультивации существующих гидроотвалов. При этом необходимо решить такие задачи как оценка устойчивости откосов гидроотвалов и оценка возможности осушения верхней части отвалов до глубины, необходимой для нормальной жизнедеятельности растений [32].

Под влиянием различных природных и производственных факторов на отвалах и их основаниях происходят деформации, нередко представляющие угрозу для жизни людей и народнохозяйст-

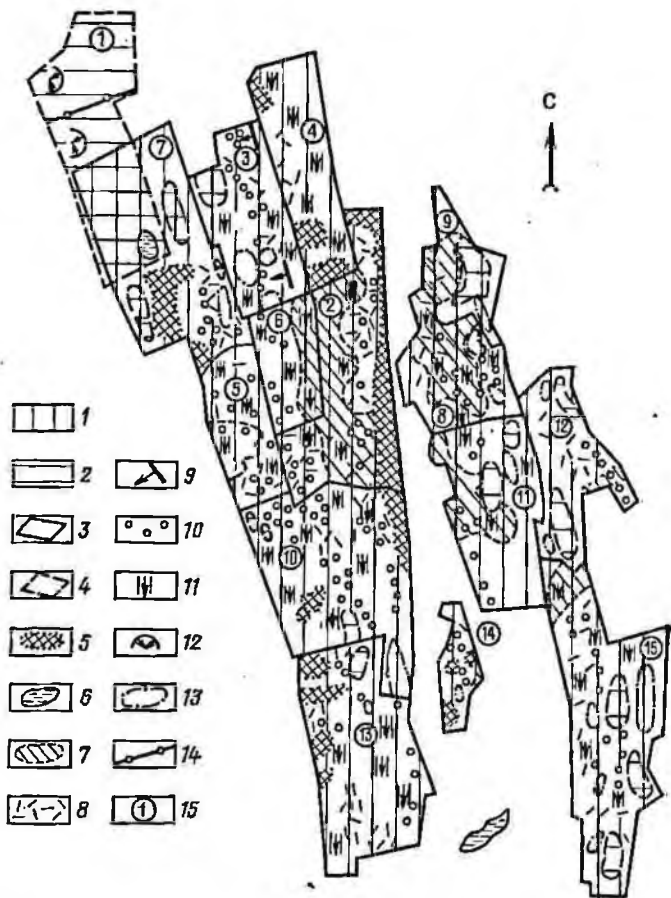


Рис. 13.2. Схема распространения инженерно-геологических процессов на территории Прокопьевского промышленного района (по Саабанеевой Т. Б., Лакееву Ю. Ф., 1985 г.):

1 — подработка поверхности подземными горными выработками; 2 — поверхность нарушена открытыми горными выработками; 3—4 — границы горных отводов (3 — шахт, 4 — разрезов); 5 — населенные пункты, не подверженные подработке; 6 — отстойники, запруды; 7 — населенные пункты, подработанные подземными горными выработками; 8 — трещины на поверхности горных отводов шахт; 9 — блоковое проседание поверхности по трещинам; 10 — провалы на поверхности горных отводов шахт; 11 — плавное проседание поверхности горного отвода шахт; 12 — оползни, развивающиеся на перегруженных бортах разрезов; 13 — рекультивируемые земли; 14 — линия водовода.
 Цифры в кружках: 1 — разрез Прокопьевский; 2—15 — шахты (2 — им. Ворошилова, 3 — Зинишка, 4 — Красногорская, 5 — Прокопьевская, 6 — им. Калинина, 7 — Тырганская, 8 — Коксовая, 9 — Наградская, 10 — Джерзинская, 11 — Центральная, 12 — Сев. Магялак, 13 — Зенковская, 14 — Смычка, 15 — Красный Углекоп

венных объектов. Основные природные факторы возникновения таких деформаций — гравитация, увлажнение породных масс, особенно во время сильных ливневых дождей, действие ветра и тепловые процессы, обусловленные горением и нагреванием пород.

Развитию деформаций в значительной мере способствуют такие производственные факторы, как подземная разработка угольных пластов под отвалами или вблизи от них, неправильное формирование и разработка отвалов и т. п. В целях предотвращения связанных с этим опасных последствий прибегают к установлению опасных и вредных зон и к запрещению строить в их пределах жилые дома, технические сооружения и т. п., ограничивают высоту отвалов, срезают вершины терриконов, переходят от терриконов к плоским отвалам небольшой высоты, формируют ярусные отвалы, принимают меры по предупреждению самовозгорания отвалов и быстрому тушению горящих пород, запрещают подземную выработку угля под горящими и негорящими отвалами системами разработки с обрушением или неплотной закладкой, запрещают разрабатывать отвалы для добычи горелых пород уступом внизу у их оснований. В последние годы большое внимание уделяется проектам озеленения породных отвалов после их предварительного террасирования.

На значительном числе шахт Кузнецкого бассейна периодически фиксируются явления самовозгорания угля. Уголь и содержащие его примесь породы могут самовозгораться и находясь в отвалах. В Кузнецком бассейне горящие или потухающие отвалы составляют более 60 % от их общего числа. Горение отвалов сопровождается так называемыми термическими оползнями, разрушением и перемещением горелых пород силой пара, образующегося из воды, попавшей с поверхности на горящие или раскаленные участки внутри отвала, образованием пустот выгорания и трещин, могущих служить причинами возникновения крупных оползней и выбросов. Горящие отвалы выделяют в окружающую атмосферу большое количество токсичных газов. Содержание окиси углерода на поверхности отвалов в Кузнецком бассейне, по некоторым данным, достигает 875, а сернистого газа и водорода до 35 мг на 1 м³ воздуха.

Обобщая накопленный опыт по добыче полезных ископаемых можно отметить, что с применением последних достижений горнодобывающей техники и при учете всех сложных и многообразных инженерно-геологических условий региона разработка месторождений полезных ископаемых может вестись достаточно эффективно как открытым, так и подземными способами.

13.3. Гидротехническое строительство

Алтае-Саянский регион характеризуется большими гидроэнергетическими ресурсами и значительными масштабами современного гидротехнического строительства. На Верхнем Енисее построены Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС и продолжается строительство Майнской ГЭС. На притоках верхнего течения Оби строится Крапивинская плотина, намечается строительство Катунской и Чемальской ГЭС. Эти гидроузлы имеют комплексное назначение. Саяно-Шушенская и Красноярская ГЭС — крупнейшие ГЭС в

СССР. Крапивинский гидроузел имеет важное значение для охраны природной среды. Все эти объекты размещаются на магматических и метаморфических породах, в сложных тектонических условиях горноскладчатых областей и представляют собой ценный опыт инженерно-геологического обоснования гидроэнергетического строительства на скальных породах.

Первенец Енисейского каскада — Красноярский гидроузел построен в 1971 г. в среднем течении Енисея, где река прорезает горный массив Красноярского кряжа по сравнительно узкой долине шириной около 2 км и глубиной более 400 м. В состав гидроузла входят бетонная гравитационная плотина длиной 1065 м и максимальной высотой 130 м, приплотинная ГЭС мощностью 6000 МВт — самая мощная в мире в первые годы ее эксплуатации и уникальный наклонный судоподъемник на левом берегу.

Основные сооружения гидроузла размещаются на девонском гранитном массиве размером 8×4 км, образовавшемся из двух фаз внедрения: более ранних среднезернистых гранитов и более поздних мелкозернистых разновидностей. Граниты прорваны многочисленными крутопадающими дайками диабазовых порфиритов, вогезитов и сиенитов мощностью до 5—7 м (рис. 13.3, 13.4). Коренные породы местами подвергались каолинизации в результате воздействия восходящих низкотемпературных гидротермальных растворов. Каолинизированные породы, характеризующиеся пониженной прочностью, залегают в виде полос, совпадающих по направлению с простиранем даек и разрывных нарушений. Зона интенсивного выветривания составляет обычно 4—7 м, увеличиваясь до 14 м в пределах левобережной террасы, до 25 м в зоне контакта гранитов и эффузивов, а также вдоль зон сильно измененных пород.

Гранитный массив пересекается серией северо-западных крутопадающих тектонических нарушений, приуроченных к дайкам и ориентированных диагонально к оси плотины. Тектонические нарушения представлены зонами брекчированных и милонитизированных пород мощностью до 4 м с глиной трения мощностью до 15 см. Они сопровождаются полосами каолинизированных и окремненных пород и повышенной трещиноватостью. Тектонические нарушения и трещиноватость обусловили неровную поверхность коренных пород в русле реки с многочисленными эрозионными углублениями по ослабленным зонам, заполненным аллювием.

Проектными расчетами было установлено, что наибольшее из крутопадающих нарушений, пересекающее основание правобережной плотины, значительно осложняет распределение в ней напряжений. Чтобы избежать образования растягивающих напряжений на контакте верховой грани плотины с основанием, необходимо заделать это нарушение бетоном на глубину 40 м. В проекте было принято компромиссное решение: ослабленная зона заделывалась бетонной пробкой до глубины 15 м, а у верховой грани допускалось повышение напряжений до 0,3 МПа.

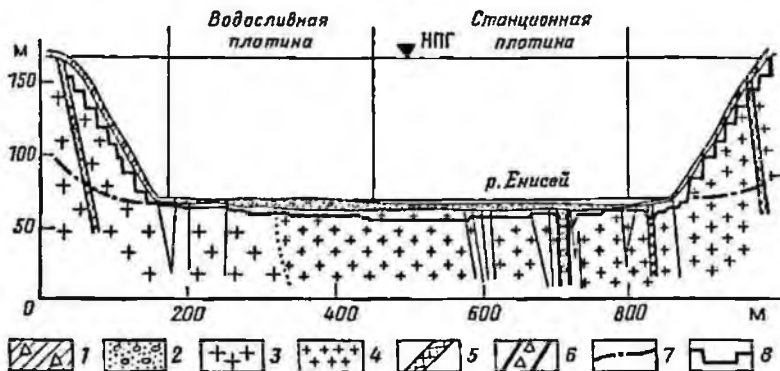


Рис. 13.3. Геологический разрез по оси Красноярской плотины (по М. П. Леонову, О. С. Мазурову, И. А. Пирогову, 1967 г.):

1 — делювиальные суглинки и щебень; 2 — аллювиальные галечники; 3 — граниты среднезернистые; 4 — граниты мелкозернистые; 5 — дайки порфиритов; 6 — тектоническое нарушение; 7 — уровень подземных вод; 8 — врезка сооружения

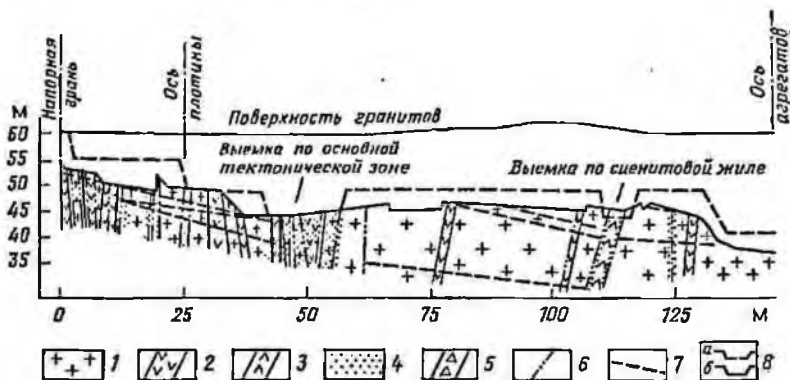


Рис. 13.4. Поперечный геологический разрез основания станционной плотины Красноярской ГЭС (по М. П. Леонову, О. С. Мазурову, И. А. Пирогову, 1967 г.):

1 — гранит мелкозернистый; 2 — дайки порфиритов; 3 — дайки сениитов; 4 — каолинизированные породы; 5 — тектонические брекчии; 6 — крутопадающие тектонические трещины; 7 — пологие тектонические нарушения; 8 — контур врезки (а — проектный, б — фактический)

При вскрытии строительных котлованов обнаружены также пологие тектонические нарушения и протяженные трещины, представленные зонами расщепленных гранитов мощностью 0,30—1 м, с падением на северо-запад под углом 10—20°. Отдельные трещины раскрыты до 5 см и иногда заполнены принесенным с поверхности аллювием или преотложенным заполнителем из близлежащего нарушения. Пологие разрывы образовались, по-видимому, как трещины отрыва при тектонических дислокациях, на ко-

торые наложилась последующая разгрузка в дне речной долины. Эти зоны, характеризующиеся высокими удельными водопоглощениями, являются основными путями фильтрации под плотиной. Они также снижают деформационные свойства основания и устойчивость бетонной плотины на сдвиг. На участках развития пологих нарушений произведены углубления котлована и площадная цементация на 20—30 м от подошвы плотины. Опыт изысканий показывает, что такие пологие нарушения можно изучать только бурением смотровых скважин и только в русле реки, поскольку они отсутствуют в берегах.

Полевые опыты показывают существенное влияние трещиноватости на деформационные свойства массива. Так, модуль деформации в слаботрещиноватых гранитах составляет 14 300—16 800, в среднетрещиноватых 8300—10 500, в сильнотрещиноватых 3000—6200, а в тектонических зонах 270—700 МПа. Развитые на участке судоподъемника протяженные трещины, падающие в сторону реки под углом 40—50°, обусловлены неустойчивостью откосов строительной выемки, что потребовало выложить откос до 1:1, вместо 3:1 по проекту.

Опытно-фильтрационные работы показали, что водопроницаемость гранитного массива определяется его разрывной структурой. Так, для неизмененных пород с умеренной трещиноватостью характерны удельные водопоглощения 0,1—1,0 л/мин, для зон повышенной трещиноватости вблизи тектонических нарушений 1—5 л/мин, и для пологих нарушений — до сотен литров в минуту. Последние разделяют массив на ряд мощных близгоризонтальных плит, затрудняющих вертикальное погружение фильтрационного потока под плотину и восхождение его за плотиной. Каолинизированные зоны образуют в массиве слабопроницаемые близвертикальные диафрагмы. Таким образом, основание плотины отличается сложной фильтрационной анизотропностью, потребовавшей в дополнение к противофильтрационной завесе глубиной 60 м создание специальной дренажной системы для снижения противодавления. Для предотвращения размыва и суффозии слабого заполнителя тектонических нарушений была проведена усиленная цементационная блокада каолинизированных и милонитизированных пород. Водоприток в строительные котлованы достигал 3000 м³/ч, причем преобладающая его часть поступала через перемычки и только около 15 % — через трещины в гранитных породах.

Выявленные в процессе строительства несколько худшая сохранность гранитов, наличие пологих тектонических нарушений и очень неровная поверхность коренных пород потребовали частичного углубления котлована и дополнительной укрепительной цементации. К этому добавились неучтенное в проекте воздействие таких техногенных факторов как длительный разрыв во времени между окончанием вскрытия котлована и началом укладки бетона, а также большая интенсивность взрывных работ в котловане. Гравитационная разгрузка дна котлована и отчасти сезонные тем-

пературные колебания при длительном перерыве работ привели к самопроизвольному разуплотнению верхнего слоя пород и раскрытию пологих трещин. В результате общий объем скальных выемок возрос во время строительства с 2103 до 3409 тыс. м³ (с соответствующим увеличением объема уложенного бетона). Опыт строительства Красноярской плотины показал, что оценка глубины необходимого съема выветрелых пород только по данным разведочных выработок без учета условий производства строительных пород дает заниженные данные об объемах скальной выемки. Для уточнения фактических инженерно-геологических условий отдельных частей скального основания важное значение имела подробная геологическая документация котлованов.

Саяно-Шушенский гидрозел состоит из уникальной арочно-гравитационной бетонной плотины высотой 245 м, длиной по гребню 1066 м и приплотинной ГЭС с 10 агрегатами общей мощностью 6400 МВт [6].

Река Енисей пересекает северную окраинную часть Западного Саяна по долине асимметричного строения с одним крутым и другим террасированным склонами. Ширина долины по низу 250—500 м, глубина 400—700 м. Долина приурочена к ядру Джебашского антиклинория, сложенного протерозойскими метаморфическими сланцами джебашской серии. Сланцы смяты в крутые изоклинальные складки субширотного простирания и прорваны девонскими гранитами. Наиболее крупный — джойский интрузив имеет размеры в плане 7×10 км. Кандатский и борусский региональные разломы образуют так называемый джойско-кибикский структурно-тектонический блок, к границам которого приурочена слабая сейсмическая активность. Расчетная сейсмичность для средних грунтовых условий составляет 7 баллов.

По данным Института геологии и геофизики СО АН СССР, в районе Саяно-Шушенской плотины происходят современные дифференцированные движения структурных блоков, разграниченных разрывными нарушениями, со скоростью 1,6—1,4 мм/год. В связи с этим, а также принимая во внимание уникальность плотины и особые требования к ее надежности, в 1964—1969 гг. были выполнены специальные работы, включавшие геологические исследования, геодезические и наклономерные наблюдения. Изучение продольного профиля реки, поверхности нижних террас, рельефа цоколя коренных пород и гипсометрического уровня древней поверхности выравнивания в пределах джойско-кибикского структурного блока показало зависимость морфологии долины от состава и состояния слагающих ее коренных пород, а также выдержанность уровней нижних террас. Это указывает на цельность блока и отсутствие в его границах дифференцированных тектонических движений со времени образования нижних террас.

Наклономерные наблюдения, проведенные в 1965—1969 гг. на 7 пунктах в основных тектонических зонах и в сохранным массиве показали, что максимальные вертикальные перемещения в этих зонах составляют 3—10 мкм и не превышают 18 мкм в год.

Такие малые деформации и различия в направлении векторов на разных пунктах свидетельствуют о связи деформаций с климатическими изменениями. Отсутствие современных подвижек по нарушениям подтверждается наблюдениями за стеклянными маяками. За период наблюдений ни один маяк не был деформирован по естественным причинам. Повторное нивелирование I и III классов, проведенное в 1956—1982 гг., также показало незначительные ошибки расхождения отметок реперов, не выходящие за пределы допустимых ошибок геодезических наблюдений. Все это подтверждает, что современные дифференцированные тектонические движения в пределах джойско-кибикского структурно-тектонического блока отсутствуют.

Непосредственно основание гидроузла сложено сланцами верхней подсвиты джебашской серии, претерпевшими глубокий региональный метаморфизм с последующим интенсивным контактовым воздействием джойской интрузии гранитов. Сланцы залегают моноклинально с падением в сторону правого берега под углом 70—85°, слагая южное крыло орасукской антиклинали. Массив сланцев прорван дайками, простирающимися поперек долины. Физико-механические свойства парасланцев существенно зависят от степени воздействия контактового метаморфизма, т. е. степени ороговикования и практически не зависят от их состава. Более массивные ортосланцы подверглись слабому ороговикованию. Прочность сланцев на сжатие составляет 70—140 МПа.

Основание плотины пересекается крутопадающими тектоническими нарушениями, в основном диагональными к залеганию слоистости, простирающимися по азимуту 290—310° и находящимися на расстоянии 50—120 м одно от другого. Амплитуда смещения составляет 350—370 м. Мощность зон дробления достигает нескольких метров, однако широкое развитие гидротермальной кварц-карбонатной минерализации привело к определенной консолидации массива. Ввиду крутого падения этих нарушений для их разведки пришлось применить наклонное бурение. Существенное инженерно-геологическое значение имеют пологие разрывы, не залеченные гидротермальными минералами. Обнаружение в котловане пологих разрывов потребовало понижения отметки основания бетонных сооружений на 1—3 м.

Приповерхностная зона интенсивного выветривания и повышенной трещиноватости мощностью около 5 м в русле и около 10—15 м в береговых примыканиях была удалена. Мощность зоны разгрузки массива в русле достигает 60—70 м и в примыканиях 15—40 м, причем коэффициент трещинной пустотности в верхней части зоны разгрузки равен 0,19—0,29 и в нижней измеряется сотыми долями процента. Модуль деформации в зоне разгрузки составляет 5000—10 000 МПа, по сравнению с 10—18 ГПа в сохранных породах. В зонах тектонических нарушений коэффициент трещинной пустотности равен 0,65—0,70, а модуль деформации 7000—9000 МПа. В зонах пологих нарушений модуль деформации составляет 5 ГПа. Расчетные значения сопротивления сдви-

гу скальных пород на основании полевых опытов и с учетом геолого-структурных особенностей массива были приняты: $\tau = 1p + 0,5$ МПа для среднего массива и $\tau = 0,7p + 0,05$ МПа для тектонических зон и крупных трещин.

Водопроницаемость массива тесно связана с зоной разгрузки и с его разрывной структурой. Наиболее проницаемые породы в русле залегают до глубины 25—30 м (удельное водопоглощение 5—0,05 л/мин), а средне- и слабопроницаемые сланцы (1—0,01 л/мин) до глубины 90—100 м. В левобережном примыкании до глубины 90 м породы среднепроницаемы (0,6—0,05 л/мин), а в интервале 90—120 м слабопроницаемы. В правобережном примыкании до глубины 40 м залегают породы слабо- и среднепроницаемые (0,05—0,01 л/мин), глубже 110 м—практически непроницаемые. Цементационная завеса выполнена до глубины около 100 м и глубинный дрепаж на глубину 35—45 м.

Майнский гидроузел строится на р. Енисей в 25 км ниже по течению от Саяно-Шушенской ГЭС с целью перераспределения ее эксплуатационных расходов. В состав гидроузла входят земляная плотина ГЭС с бетонным водосливом высотой 20 м и ГЭС с 3 агрегатами общей мощностью 320 МВт.

Гидроузел располагается в области сочленения Западного Саяна и Миусинской впадины с серией глубинных разломов и гранитным батолитом. Древние метаморфические сланцы смяты здесь в субширотные линейные складки, образуя северную часть джебашского антиклинория. Антиклинорий осложнен грабен-синклиналью, к опущенному блоку которой приурочен выбранный створ. Таким образом, гидроузел приурочен к району интенсивных тектонических и новейших движений.

Долина Енисея на участке створа врезана на глубину 300—700 м при ширине около 1 км с образованием поймы и трех надпойменных террас. Непосредственно в основании плотины залегают нижнекембрийские глинистые и углистые сланцы чингинской серии с прослоями песчаников, мраморизованных известняков и т. д. общей мощностью более 4000 м. Сланцы сильно трещиноваты и рассечены тектоническими нарушениями, являющимися оперением к южной ветви Кондатского разлома, пересекающего Енисей в 0,2—0,4 км выше створа. Встречаются также пологие трещины разгрузки, развитые на глубину до 30 м. Зона интенсивного выветривания сланцев составляет в русле от 3 до 5 м и 7—10 м в примыканиях.

Мощность аллювиальных песчано-галечниковых отложений в русле, на пойме и террасах обычно не превышает 5—7 м, редко доходит до 15—20 м. Расчетный коэффициент фильтрации для руслового аллювия был принят 160 м/сут и для террасовых галечников 90 м/сут. Максимальный водоприток в котлован ГЭС составил 500 м³/ч и оказался значительно меньше расчетного.

Крапивинский гидроузел строится в среднем течении р. Томи в западных предгорьях хребта Кузнецкого Алатау. Важное назначение его — улучшение природной среды и, в частности, уменьшение

загрязнения реки путем сезонного регулирования ее стока. В состав гидроузла входят: водосливная и глухая плотина, а также приплотинная ГЭС. Выбранный участок створа приурочен к интрузивному массиву ниже-среднедевонских дибазовых порфири-тов, перекрытых на берегу четвертичным чехлом аллювиальных и делювиальных отложений мощностью 6—25 м. Основание плотины пересекается несколькими близвертикальными тектоническими нарушениями и многочисленными протяженными близгоризонтальными трещинами разгрузки, обнаруженными при вскрытии котлована. Близгоризонтальные трещины, существенно понижающие прочность массива на сдвиг, развиты только на левом пологом берегу, поскольку на крутом правом берегу разгрузка проявилась в раскрытии крутопадающих трещин.

Опыт гидроэнергетического строительства в регионе еще раз подтверждает, что магматические и сильно метаморфизованные породы не обуславливают автоматически прочные и монолитные основания. Важнейшее практическое значение имеют здесь разрывные структуры, образовавшиеся под влиянием длительной тектонической истории региона. Однако сложные тектонические условия при определенной детальности инженерных изысканий и тесной связи последних с проектированием не являются препятствием для сооружения крупных ГЭС.

13.4. Водохранилища

Крупнейшие водохранилища построенных гидроузлов — Красноярское и Саянское. Располагаются они на территории бурно развивающегося Саянского ТПК, а также на развитой в сельскохозяйственном отношении площади юга Средней Сибири. К берегам этих водохранилищ примыкают степи Хакассии и Тувы с развитым животноводством, зерновые районы Причулымья и районы лесного хозяйства Восточного и Западного Саяна.

Саяно-Шушенское водохранилище по сравнению с Красноярским характеризуется значительно меньшими затратами на перенесение населенных пунктов из зоны затопления. Под затопление здесь ушли в основном лесные угодья (57%), в меньшей степени — сельскохозяйственные угодья (табл. 13.1). Для Красноярского водохранилища характерен очень высокий процент затопленных сельскохозяйственных угодий. Затраты, связанные с созданием Красноярского водохранилища, составляют примерно 27% от общей стоимости гидроузла, Саяно-Шушенского водохранилища — 16% (по данным Р. Е. Милашкиной и В. М. Широкова).

Побережье Красноярского водохранилища характеризуется интенсивным освоением. Здесь расположено много населенных пунктов, вынесенных из зоны затопления, пристаней, хлебоприемных пунктов, баз отдыха, насосных станций и т. д. Значительные площади побережья заняты сельскохозяйственными угодьями. Поэтому большое значение имеет оценка устойчивости берегов и развитие неблагоприятных инженерно-геологических процессов.

Таблица 13.1

Структура затопляемых водохранилищами земельных угодий
(по данным Р. Е. Милашкиной, В. М. Широкова, 1970 г.)

Водохранилища	Затопленные земли, %			
	Сельскохозяйственные угодья	Леса	Мелколесья и кустарники	Прочие
Красноярское	66,7	28,4	2,2	2,7
Саяно-Шушенское	35,7	57,0	—	7,3

Красноярское водохранилище начинается у плотины ГЭС и заканчивается в месте слияния рек Енисея и Абакана. Длина его составляет 388 км, ширина до 15 км. При нормальном подпорном уровне 243 м площадь водного зеркала составляет около 2000 км², средняя глубина 36,8 м, максимальная — 105 м. В водохранилище содержится 73 км³ воды. Протяженность береговой линии 1660 км. Заполнение Красноярского водохранилища началось в феврале 1967 г., а в сентябре 1970 г. вода поднялась до НПГ — 243 м. Возникли новые гидрологические условия зон (рис. 13.5).

Факторы, влияющие на формирование берегов, — уровенный и ветровой режимы водохранилища.

Длительность стояния уровня на отметках больше НПГ в сочетании с волновым воздействием сопровождается увеличением абразии склонов (рис. 13.6). В 1984 г. линейное отступление абразионного уступа в пос. Куртак составило 11,5 м, в то время как в предыдущие годы оно не превышало 0,5—3,0 м.

Скорость осенне-зимней сработки характеризуется нестабильностью как за многолетний период, так и в пределах одного года, но обычно не превышает 0,5—5,5 см/сут. Сработка до минимума происходит в течение 6—8 мес. Максимальная амплитуда сработки уровня превышала 20 м, а минимальная равнялась 7 м. В последние годы она стабилизировалась, что объясняется, очевидно, регулирующим действием расположенных выше Майнской и Саяно-Шушенской ГЭС.

Ветровой режим водохранилища, оказывающий прямое воздействие на высоту волн и величину энергии волнения, также значительно влияет на переработку. Наименьшая активность ветровой деятельности приходится на середину лета. Этот период характеризуется минимальными среднемесячными скоростями ветра, наименьшим числом штормовых случаев (когда скорость ветра превышает 10 м/с). Наибольшая ветровая деятельность отмечается осенью. На октябрь и ноябрь приходится более 1/3 всех штормовых случаев за год. Значительные скорости ветра отмечаются также в мае, в период разрушения ледяного покрова и наименьшего уровня в водохранилище.

Саянское водохранилище начало образовываться в 1975 г. и представляет собой глубоководный водоем горного типа. Водохра-

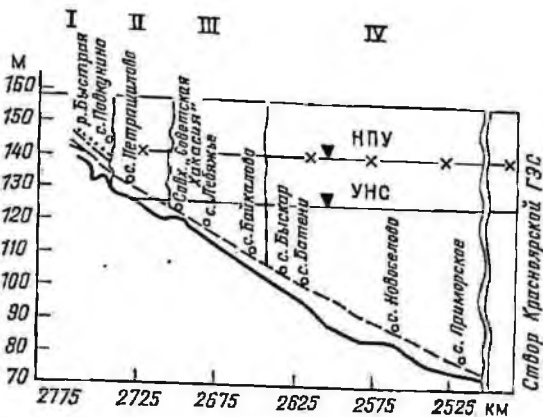


Рис. 13.5. Гидрологические зоны Красноярского водохранилища (по Зубенко Ф. С., Колбутову А. Д., Финарову Д. П., 1976):

I — выклинивания подпора; II — мелководная; III — переменного подпора; IV — постоянного подпора (глубоководная).

НПУ — нормальный подпорный уровень; УНС — уровень нормальной сработки

нилище является верхним в каскаде и работает на незарегулированном притоке с водосборного бассейна. Полный объем водохранилища составляет 31 км³, полезный 15 км³, длина 289 км, ширина до 9 км, глубина до 236 м. Превышение уровня воды над бытовым к моменту максимального заполнения должно составлять 230 м.

По конфигурации берегов, их геолого-геоморфологическому и инженерно-геологическому строению, а также по форме акватории водохранилища можно разделить на два района [38]. Нижний, с наиболее извилистыми берегами, глубинами 30—190 м, длиной около 230 км и шириной 0,5—2,5 км, находится в пределах горных сооружений Западного Саяна. Характерно отсутствие сколько-нибудь значительных ветровых волн. Верхний, протяженностью 50 км до зоны выклинивания, располагается в пределах Тувинской котловины и представляет собой расширенную и мелководную часть водохранилища, берега которой наиболее подвержены затоплению и осушению при сезонном наполнении и значительной (40 м) сработке водохранилища. Здесь водохранилище может сбавываться до естественных отметок. Характеризуется наиболее интенсивным ветровым волнением. Максимальные высоты волн будут достигать 1,4 м при скорости ветра 10 м/с. В сельскохозяйственном и промышленном отношении эта часть береговой зоны водохранилища наиболее освоена. Здесь располагаются населенные пункты, часть которых перенесена из зоны затопления, большое число ферм, отгонные пастбища и другие сельскохозяйственные объекты. В дальнейшем при эксплуатации водохранилища эта территория будет еще более интенсивно осваиваться.

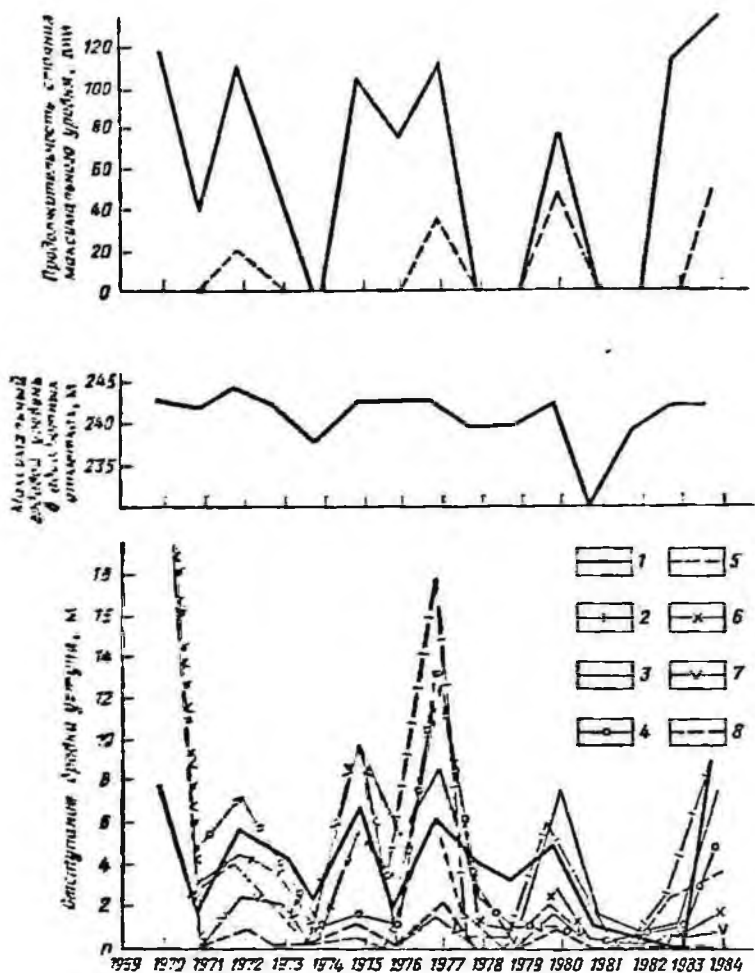


Рис. 13.6. Графики интенсивности отступления абразионного уступа в зависимости от стояния уровня в водохранилище (по Борозенцу Н. В., Курсову В. Г. в др., 1987 г.):

Станции: 1 — Беллык; 2 — Приморск; 3 — Куртак; 4 — Убей; 5 — Усть-Сида; 6 — Унюк; 7 — Беллык-1; 8 — Новоселово

13.5. Линейное строительство

В регионе построены крупные железнодорожные магистрали союзного значения, автомобильные тракты, линии электропередач. Опыт их строительства и эксплуатации свидетельствует о значительных трудностях, обусловленных сложностью инженерно-геологических условий: большими пространствами, занятыми горными

сооружениями, широким развитием лёссовых грунтов и др. В равнинной части дороги трассируются по пологим склонам водоразделов, террасам долин крупных рек, а в горной части — преимущественно по террасам и коренным склонам долин рек, при пересечении хребтов используются седловины, тоннели.

Сеть железных дорог региона представлена линиями: Ачинск—Абакан с ответвлением на Горячегорск; Новокузнецк—Абакан—Тайшет с ответвлением на Абазу; Транссибирской магистралью и др. Разнообразными и достаточно сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями строительства характеризуется железная дорога Абакан—Тайшет. Западный участок дороги проходит по всхолмленному району юго-восточной окраины Минусинской впадины. Здесь широко распространены пылеватые пески, супеси и пылеватые суглинки. Для района характерно выдувание пылеватых песков с откосов и основной площадки земляного полотна, оползание откосов насыпей, отсыпанных из суглинков и супесей, а также откосов глинистых выемок. Основные причины возникновения деформаций — отсутствие укрепления построенного земляного полотна, недостаточное уплотнение откосов насыпей при их отсыпке. После выполнения укрепительных работ большинство деформаций прекратилось.

Трасса восточного участка проходит по северо-западным отрогам Восточного Саяна. Колебание высот здесь превышает 190 м. много глубокооврезанных долин и логов. Характерны насыпи и выемки высотой более 25 м. Суровый климат, повсеместное развитие слабых аргиллитов и продуктов их выветривания, наличие болот, оползневых косогоров и обилие выходов грунтовых вод создали большие трудности для возведения полотна.

Железная дорога Новокузнецк—Абакан пересекает центральную, наиболее узкую, часть хребта Кузнецкого Алатау. Западная ее часть от Новокузнецка до перевала (около 220 км) проложена по долине р. Томи и долинам ее верхних притоков, а восточная — по долинам рек Аскиз и Абакан. При прокладке железнодорожного полотна в пределах р. Томи были отмечены специфические условия строительства, обусловленные широким распространением переувлажненных делювиальных суглинков. На таких участках при подрезке склона наблюдалось образование сплывов после затяжных дождей и особенно весной при таянии снега. Сплывший грунт задерживал в кюветах воду, что приводило к насыщению водой основания откоса, образованию новых сплывов, переувлажнению и ослаблению основной площадки земляного полотна. В итоге было принято решение сдвинуть путь на отвалы грунта, образовавшиеся в результате разработки полувыемки; суглинистый грунт на отвалах заменили дренирующим грунтом, преимущественно галечниками, взятыми из русла реки.

В горных районах используются насыпи из скальных грунтов, которые дают значительную, протекающую в течение длительного времени, осадку. Повышенной осадке скальных насыпей способствует отсыпка их без послойной укладки. Наблюдения показы-

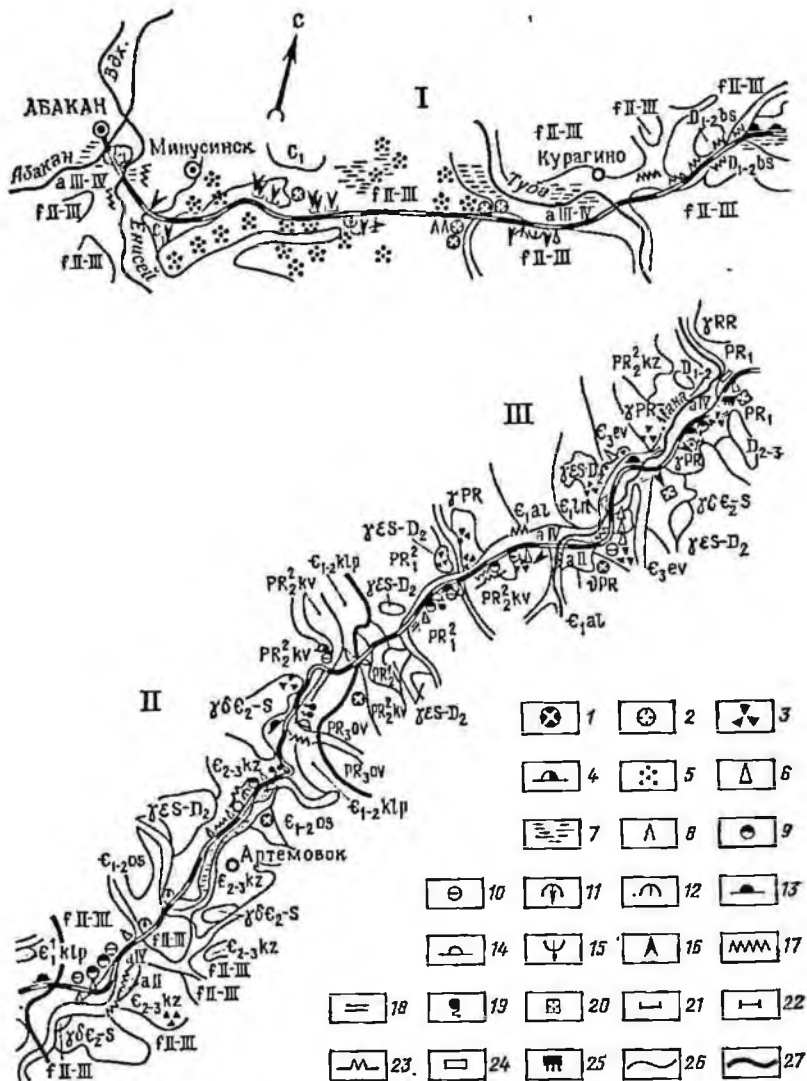


Рис. 13.7. Схема инженерно-геологического обследования железной дороги Абакан—Тайшет (по Бондареву Г. Е., Борозенцу Н. В. и др., 1983 г.):

Геологические процессы и явления: 1 — карстовые воронки; 2 — блюдцеобразные микропонижения; 3 — курумы; 4 — наледь в долинах рек; 5 — золотые бугры и дюны; 6 — древние овраги, балки; 7 — заболачивание речных долин и озер. Инженерно-геологические процессы и явления: 8 — осыпи на откосах выемок и насыпей; 9 — обвалы на откосах выемок; 10 — вывалы отдельных глыб пород с откосов; 11 — оползни; 12 — поверхностные оползания, оплывания; 13 — пучение; 14 — наледь; 15 — солифлюкция; 16 — овраги и промоины растущие; 17 — боковая эрозия; 18 — наледь; 19 — отдельные родинки и пластовые выходы подземных вод; 20 — карьеры. Инженерные мероприятия по борьбе с неблагоприятными геологическими и инженерно-геологическими процессами и явлениями: 21 — укрепление вершин оврагов бетонными плитами; 22 — укрепление тальвегов оврагов бетонными

вают, что при этом происходит сортировка крупных обломков, которые скатываются в нижнюю часть насыпи и укладываются произвольно с большими пустотами. При вибрации насыпи под подвижным составом эти пустоты постепенно заполняются за счет мелких частиц верхней части насыпи и даже балласта.

Сооружение выемок и полувыемок в скальных породах производилось преимущественно методом массовых взрывов. В результате была отмечена крайняя неустойчивость откосов в этих грунтах, что потребовало в ряде случаев сдвижения пути в сторону реки на отвале скального грунта.

При переходе из одной долины в другую применялось строительство тоннелей. При этом большую сложность представляет собой сооружение подходов выемок к тоннелям. Опыт проектирования и разработки подходов выемок перевальных тоннелей показал, что назначение таких выемок с целью сокращения длины тоннеля в наиболее пониженных местах, даже в заболоченных логах, оправдало себя. Подходные выемки содержат воду только до проходки тоннеля. Наиболее водообильная часть массива, прорезаемого тоннелем, — это первые 100—150 м от поверхности, сложенные склоновыми накоплениями и выветрелыми скальными грунтами. В естественном состоянии эта вода выходит на поверхность в логах и впадинах, создавая заболоченность. Тоннель работает как большая дрена, после его проходки подходные выемки теряли источник питания водой, просыхали, но поскольку разработка выемок предшествует проходке тоннеля, сооружение их осложнено работой в обводненных грунтах. На линии Абакан—Тайшет наибольшая фактическая глубина выемок у порталов достигала 20 м, при среднем значении ее — 15,5 м.

По бортам искусственных выемок и полувыемок, пройденных в скальных породах методом взрыва, развиты обвально-осыпные процессы. На участке железной дороги Абакан—Тайшет наиболее интенсивно обвально-осыпные процессы развиты по правому склону долины р. Мана (рис. 13.7). По мере накопления обломочного материала языки осыпей подходят на близкие расстояния к балластной насыпи. Борьба с последствиями обвально-осыпных явлений заключается в периодической ликвидации языков осыпей и обваливающихся глыб пород. Иногда приходится искусственно укреплять склоны.

Оползневые процессы на дороге Абакан—Тайшет значительного распространения не получили. При строительстве и в первые годы эксплуатации довольно часто возникали мелкие, до глубины 0,3—0,5 и 1—2 м, спливы и осывы в щебнисто-глыбовых и суглинистых грунтах. В основаниях, сложенных пластичными глинами и заторфованными суглинками, отмечалось их выдавливание.

лотками и водоудерживающими стенками; 23 — искусственное террасирование эрозионных склонов; 24 — противозеронозное укрепление откосов; 25 — подземные дренажные системы; 26—27 — гравитцы (26 — геологические, 27 — инженерно-геологических регионов). 1—111 — регионы (1 — Минусинский, 11 — Саяно-Алтауский, 111 — Саяно-Саянскский)

На участках, образованных увлажненными пылеватыми глинами и суглинками, довольно широко развиты процессы морозного пучения. Наиболее результативный метод борьбы с пучением — устройство подушек из дренирующих грунтов. Так, в первые годы эксплуатации линии Абакан—Тайшет пучины образовались на протяжении 92 км. Устройство гравийно-песчаных подушек толщиной 1—1,2 м резко снижало число и высоту пучин, а часто и предотвращало их возникновение. Только при резкой неоднородности грунтов под подушками в случаях высокой влажности глинистых (пучинистых) грунтов пучины все же имели место, но высота их не превышала 30—40 мм.

Опыт строительства и эксплуатации железных дорог в условиях Восточной Сибири показал, что выемки, сооружаемые в увлажненных пылеватых грунтах, должны проектироваться сразу с противопучинными гравийно-песчаными подушками, а откосы должны назначаться не круче 1 : 1,75 с устройством закуветных полок. Соблюдение этих условий — основа для строительства здорового земляного полотна.

В местах выходов подземных вод в основании искусственно подрезанных склонов возникают наледи. Незначительные наледи образуются также в местах сброса дренажных вод из тоннелей и подземных дренажных систем. Наледи этого типа небольших размеров и исчезают в начале лета. Существенного влияния на эксплуатацию дорог они не оказывают. Ограниченное распространение имеет процесс солифлюкции, развивающийся на крутых незначительно задернованных откосах выемок, сложенных преимущественно пылеватыми грунтами.

Оврагообразование развито на участках искусственных выемок, водоотводных канав и других объектов, сооруженных с нарушением технических правил строительства в рыхлых, особенно пылеватых и лёссовидных породах, покрывающих значительные пространства рассматриваемой территории. В то же время водоотводы, хорошо укрепленные одерновкой, каменным мощением, асфальто-бетоном, железобетонными плитками нормально функционируют, не вызывая значительного усиления эрозионных процессов.

Лавинообразование отмечено на горных участках дорог. Так, железнодорожная линия Новокузнецк—Абакан на протяжении 200 км пролегает по долине р. Томь, на склонах которой в отдельных местах отмечено появление снежных лавин, угрожающих в ряде случаев железнодорожному пути (по материалам И. П. Казимирова). Наиболее распространенный на этой линии метод защиты железнодорожного полотна от схода лавин — предупреждение подвижек снегового покрова установкой железобетонных упоров (надолб), размещенных по всей площади лавиноопасных бассейнов с целью удержания снегового покрова на склоне.

В Кузнецком бассейне при пересечении железной дорогой выработанных шахтных полей нередки просадки пути, достигающие нескольких сантиметров.

13.6. Сельскохозяйственное освоение

Алтае-Саянский регион обладает большими возможностями развития сельского хозяйства и в перспективе сможет стать одной из важных продовольственных баз страны, специализирующихся на производстве сельскохозяйственных продуктов для растущих индустриальных центров. Одни из важнейших сельскохозяйственных районов — Южно-Минусинская впадина. Площадь степной равнинной части ее на 75—90 % освоена в сельскохозяйственном отношении, в том числе 50—60 % площади находится непосредственно под пашней. Большие массивы пахотных земель находятся и в лесостепных районах впадины.

Площади земельных угодий западной части КАТЭКа, пригодных для сельскохозяйственного использования, сравнительно невелики. Это связано с целым рядом природных ограничений (рельеф, заболоченность и т. д.), промышленным и транспортным отторжением земель этой территории, а также с ветровой и водной эрозией. В западной части КАТЭКа общая площадь сельскохозяйственных угодий составляет около 47 % всего земельного фонда.

Значительные площади ценных земель будут и в дальнейшем отторгаться под новые промышленные объекты КАТЭКа.

В горно-таежных районах распаханые земли сконцентрированы в бассейнах рек. В общей площади сельскохозяйственных угодий Тувы пашня занимает лишь 13 %.

Для сельскохозяйственного использования предусматривается в целом для Кузбасса рекультивировать 10 % нарушенных земель под пашню, 15 % — под сенокосы и пастбища. Многолетнюю практику имеет сельскохозяйственное освоение Горного Алтая. Сельскохозяйственные угодья располагаются в основном в межгорных впадинах. Днища многих впадин полностью распаханы, интенсивно распахиваются и горные склоны. Внесение в почвы региона огромного количества удобрений и ядохимикатов приводит к значительному загрязнению окружающей среды.

Один из важных факторов антропогенного воздействия на геологическую среду региона — мелнорация. Широкий размах мелиоративное строительство получило в южных районах Красноярского края, Туве, в межгорных впадинах Горного Алтая.

Орошаемое земледелие в условиях засушливого климата Тувы — основной водопотребитель. Сосредоточено оно в основном в западной и центральной частях республики. По некоторым данным, забор воды по Туве оросительными системами составляет свыше 75 % от общего водопотребления; безвозвратные потери от орошения велики — до 80 % забираемого объема воды. В связи с орошением на мелнируемых территориях происходит подтопление, а затем и заболачивание земель.

Обширные площади земель требуют осушения. Так, в Туве насчитывается 180 тыс. га заболоченных земель и 1,3 млн га болот, а в Хакасии соответственно 32,6 тыс. га и 40 тыс. га.

Большинство современных объектов мелноративного строительства располагается в пределах речных террас и делювиальных склонов водоразделов, сложенных супесями, суглинками, песками, галечниками, с отдельными выходами трещиноватых скальных и полускальных пород палеозоя. Основные инженерно-геологические проблемы, возникавшие перед проектировщиками и строителями, — предотвращение фильтрационных потерь воды из каналов, обеспечение устойчивости откосов, дамб и других сооружений, заиление магистральных каналов. На поливных землях крупнейшей ирригационных систем Хакасии не удается создать эффективный горизонтальный дренаж из-за малых уклонов поверхности земли. На площадях нового мелноративного освоения дренажный сток так же будет затруднен, поскольку свыше 85 % земельного фонда занимают участки с уклонами менее 0,01.

Как показал опыт эксплуатации магистральных каналов в долинах и междуречье Абакана и Енисея, фильтрационные потери на незакрепленных участках в определенных условиях могут резко снизиться вследствие естественной коагуляции песков и заиления русла. В практике нередко применялось искусственное ускорение процесса коагуляции путем сбрасывания суглинков в каналы. Более эффективна деревянная, а позднее бетонная облицовка каналов, битумные и полиэтиленовые покрытия. При трассировании каналов по песчано-галечниковым отложениям с помощью бетонной облицовки нередко решалась и дополнительная задача обеспечения устойчивости откосов, хотя в условиях лесостепи вполне надежным и менее дорогостоящим способом крепления является одерновка с засевом многолетними травами.

Вопросами устойчивости гидросооружений на каналах и малых реках пока что не уделяется должного внимания. Многие мелкие земляные плотины и образованные ими пруды не имеют инженерно-геологического обоснования и службы контроля за их эксплуатацией. Это ведет в ряде случаев к прорывам плотин и созданию аварийных ситуаций.

ГЛАВА 14 **ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ,** **ПРОБЛЕМЫ ЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ** **И ОХРАНЫ В СВЯЗИ С ДАЛЬНЕЙШИМ** **НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНА**

14.1. Изменение **инженерно-геологических условий**

Интенсивное освоение Алтае-Саянского региона привело к существенным изменениям инженерно-геологических условий значительной части его территории, особенно в зоне непосредственного влияния техногенного воздействия. Произошли определенные изме-

нения состояния пород, гидрогеологических условий, рельефа, активизировались природные геологические и возникли новые нижеперно-геологические процессы.

Наиболее существенные изменения рельефа на значительных территориях связаны с разработкой месторождений полезных ископаемых, в первую очередь, угольных. Так, на всей территории Кузбасса сформировался своеобразный техногенный рельеф, основные формы которого — карьерные выемки, отвалы вскрышных пород, провалы и проседания земной поверхности. Площадь, занятая карьерными выемками, составляет более 40 % общей площади нарушений. Высота терриконов в Кузбассе достигает 60—80 м, а объем складированной породы — нескольких миллионов кубометров [17].

При подземной добыче угля деформации вышележащих толщ пород формируют на поверхности земли разнообразные провалы, мульды сдвижения и оседания. Наиболее резко рельеф нарушается на месторождениях с крутопадающими (45—90°) пластами, характерными для старейших Прокопьевского и Киселевского угольных районов. На этих территориях отмечаются широкие (до 50—70 м) и глубокие (от 20 до 30—50 м) каньонообразные провалы, имеющие также значительную протяженность по простиранию пластов. Провалы обычно располагаются рядами с промежутками 60—100 м. Часто борта провалов осложнены системами глубоких трещин и оползней. Общая просадка местности при планировке поверхности шахтного поля достигает 10—15 м, что в значительной степени нарушает общий гидрологический баланс территории и способствует обмелению рек. Полное прекращение нарушений поверхности происходит лишь тогда, когда разработка опускается на глубины порядка 700—800 м.

При пологом залегании пластов угля на поверхности горного отвода появляются плавные депрессии мульдообразной формы, ориентированные в направлении простирания рабочих пластов. Средняя глубина мульды оседания колеблется от 1 до 3—5 м, иногда достигая 10 м. По границам с нарушенным рельефом часто образуются глубокие трещины разрыва, ширина которых может достигать 0,5 м. В связи с особенностями технологии добычи угля из пологих пластов обычно через каждые 150—250 м порода складировается в так называемые «участковые» терриконы, объемом 1—2 тыс. м³, площадью 0,2—0,5 га. Располагаясь на шахтном поле недалеко друг от друга эти терриконы вместе с мульдообразными депрессиями создают характерный техногенный рельеф. Такие нарушения типичны для Беловского и Ленинского угольных районов (рис. 14.1). Глубина оседания поверхности зависит от отработанной мощности пласта и составляет от 40—60 % до 90 % ее при глубине производства работ 100—150 м.

Интенсивная разработка угольных месторождений Кузнецкого и Горловского бассейнов приводит к необходимости формирования больших по объему отвалов пород с содержащейся в них значительной (до 20 %) примесью угля. Площади, занимаемые отдель-

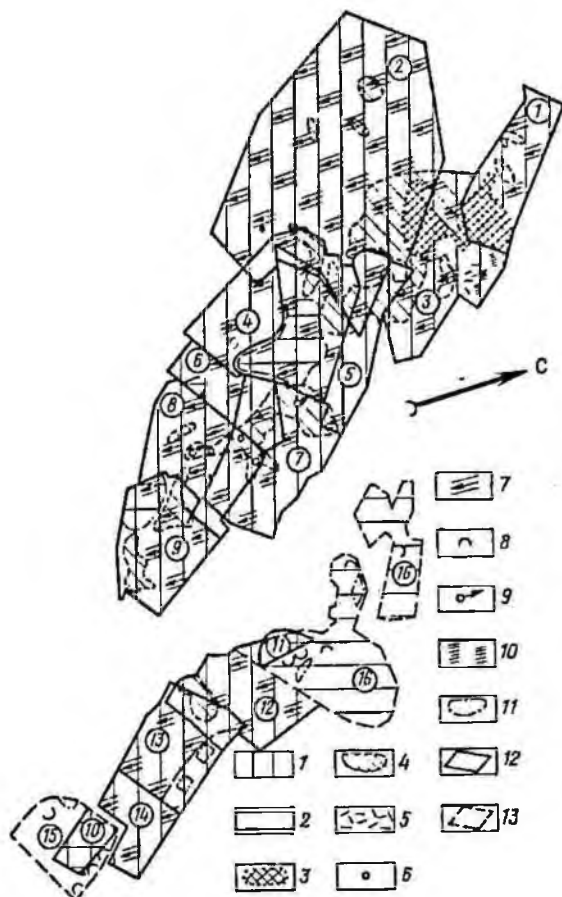


Рис. 14.1. Схема распространения инженерно-геологических процессов на территории Ленского угольного района (по Т. Б. Сабанеевой, Ю. Ф. Лакееву, 1985 г.):

1 — подработка поверхности подземными горными выработками; 2 — поверхность, нарушенная открытыми горными выработками; 3—4 — населенные пункты (3 — не подверженные подработке, 4 — подработанные подземными горными выработками); 5 — трещины на поверхности горных отвалов шахт; 6 — провалы; 7 — плавные проседания; 8 — оползни, развивающиеся при ведении открытых горных работ; 9 — газовыделения; 10 — заболачивание; 11 — рекультивированные земли; 12—13 — границы горных отвалов (12 — шахт, 13 — разрез). Цифры в кружках — горные отвалы шахт (1 — им. Ярославского, 2 — им. Кирова, 3 — Кольчугинского шахтоуправления, 4 — им. 7 ноября, 5 — Комсомолец, 6 — Заречная, 7 — Польсаявская, 8 — Октябрьская, 9 — Кузнецкая, 10 — Колмогоровская, 11 — Моховская, 12 — Грязотенского шахтоуправления, 13 — Шиска, 14 — Сигнал) и разрезов (15 — Колмогоровского, 16 — Моховского)

ными терриконами, достигают 75 тыс. м², а плоскими отвалами — 250 тыс. м².

Широко применяется вскрыша четвертичных отложений гидро-механизмами. Образовавшиеся при этом гидроотвалы занимают более 30 % общего объема вскрышных пород Кузбасса.

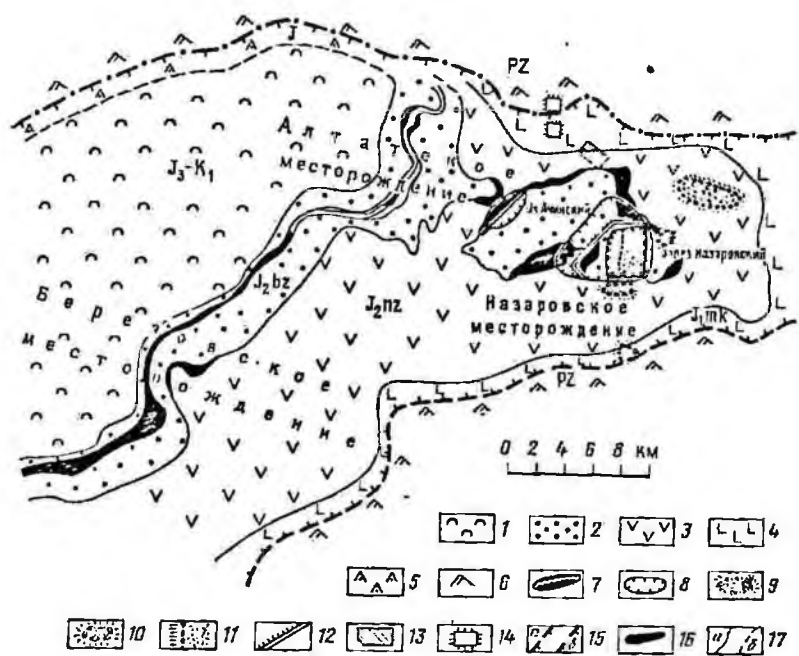


Рис. 14.2. Гидрогеологическая карта Берзовско-Назаровского района (по Ж. Л. Цыкиной, А. Ю. Озерскому, 1980 г.):

1 — водоносный горизонт берзовской савты среднеюрских отложений. Водоносные комплексы: 2 — нерасчлененных верхнеюрских и нижнемеловых отложений; 3 — назаровской савты среднеюрских отложений; 4 — макарской савты нижнеюрских отложений; 5 — нерасчлененных юрских отложений; 6 — палеозойских отложений. Промышленные объекты: 7 — угольный карьер; 8 — современная граница распространения депрессионной воронки; 9 — внешние отвалы; 10 — гидротоваля; 11 — внутренний отвал; 12 — каналы отвода поверхностных вод; 13 — площадка Назаровской ГРЭС; 14 — золошлакоотвалы. Прочие обозначения: 15 — граница распространения области юрских водоносных отложений (а — установленная; б — предполагаемая); 16 — пласты бурого угля; 17 — границы водоносных горизонтов и комплексов (а — установленные; б — предполагаемые)

Значительная депрессия в рельефе сформировалась в западной части КАТЭКа на крупнейшем Назаровском месторождении. Она представляет собой овальную террасированную котловину глубиной до 60 м. Длина ее по периметру летом 1982 г. составляла около 16 км. Днище карьера осложнено отвалами, представляющими собой систему, состоящую из нескольких террас высотой 15—20 м. Далее простирается грядово-гривистый рельеф относительно старых, преимущественно внешних отвалов, с относительным превышением поверхности 1,5—2 м, которые сменяются молодыми бестранспортными отвалами. Пространство по периферии разреза занято гидротовалями, часто занимающими понижения рельефа; транспортными и бестранспортными отвалами высотой 2—6 м, бестранспортными и бестранспортными отвалами высотой 2—6 м, бестранспортными и бестранспортными отвалами высотой 2—6 м, бестранспортными и бестранспортными отвалами высотой 2—6 м. В настоящее время на территории КАТЭКа темпы нарушения земель опережают темпы рекультивации.

Изменение состояния и свойств пород и образование техногенных отложений характерно как для горнодобывающих районов, так и для градопромышленных комплексов. Многие неблагоприятные процессы связаны с изменением влажности и температуры грунтов в основаниях фундаментов и в сфере воздействия сооружения на окружающую среду. При повторных инженерно-геологических изысканиях для обоснования проектов восстановления деформировавшихся зданий на территории Красноярского края всегда отмечалась повышенная влажность грунтов на застроенных площадках по сравнению с их естественным состоянием. Так, влажность грунтов на глубине заложения фундаментов в районах Ачинска, Красноярска и Черногорска увеличилась в 1,5—3 раза.

Горные породы в зоне влияния мощных угольных разрезов также претерпели значительные изменения в результате их разуплотнения и выветривания в дне и бортах карьеров [64, 79]. Грунты в откосах карьеров обладают более низкими объемной массой скелета и сцеплением. Максимальная глубина зоны изменения пород в бортах карьеров составляет 140 м.

В зоне влияния вскрышных работ Назаровского угольного разреза находятся супеси, суглинки и глины делювиальных, делювиально-пролювиальных и аллювиальных четвертичных отложений, а также породы нижне-среднеюрской угленосной формации. Разуплотнение пород отмечается в южном, юго-восточном, восточном и западном направлениях от углеразреза. Преобладает разуплотнение пород в западном направлении из-за ввода в эксплуатацию Ачинского и Чулымского участков и осушения угольных пластов.

Четвертичные отложения в бортах карьера подвергаются интенсивному выветриванию, при этом изменяется естественная влажность грунтов на расстоянии до 250—300 м, уменьшается угол внутреннего трения, растет сцепление (табл. 14.1).

Техногенное воздействие привело к формированию новых свойств в грунтах юрской угленосной формации. Так, в результате осушения алевролиты выветрелой зоны приобретают просадочные свойства и в то же время проявляют признаки набухания и усадки. Породы, находящиеся под отвалами, уплотняются; под отложениями гидроотвалов происходят те же процессы, но влажность пород значительно увеличивается.

На месторождениях КАТЭКа формируются крупные насыпные отвалы, представляющие неоднородную массу, сложенную смесью четвертичных и юрских пород, мощностью до 30 м и более. Инженерно-геологические свойства насыпных грунтов определяет их возраст. На ранней стадии (первые 10 лет) увеличиваются показатели плотности, сцепления, модуля общей деформации. Параллельно происходит и увеличение влажности, со временем более быстрое. Это связано с постепенным уплотнением пород под собственным весом и снижением коэффициента фильтрации. С дальнейшим увеличением влажности грунты приобретают способность к набуханию и усадке. Повсеместно наблюдается оседание поверхности отвалов, особенно значительное у старых (20-летних) отвалов. Так, в период

Свойства четвертичных отложений в восточном направлении от углеразреза «Назаровский» (Красноярскгеология, 1987)

Таблица 14.1

Показатель свойств	Усредненные показатели свойств, полученные на расстоянии от восточного борта углеразреза, км					
	в борту	0,085	0,25	0,35	0,45	2,0
Естественная влажность	0,26 (32)	0,23 (7)	0,20 (12)	0,18 (6)	0,19 (8)	0,21 (4)
Плотность, г/см ³	1,83 (16)	1,87 (7)	1,93 (12)	1,8 (6)	1,81 (8)	1,97 (4)
Плотность скелета, г/см ³	1,42 (16)	1,44 (7)	1,49 (12)	1,68 (6)	1,75 (8)	1,62 (4)
Угол внутреннего трения, градус	31 (16)	34 (7)	28 (12)	27 (6)	28 (8)	23 (4)
Сцепление, МПа	0,032(16)	0,068 (7)	0,099(12)	0,14 (6)	0,19 (8)	0,31 (4)

Примечание. В скобках приведено число определений.

с июня 1985 г. по июль 1986 г. оседание поверхности составило более 46 см. У молодых отвалов за этот же период оседание поверхности колебалось от 8 до 12,5 см.

К группе техногенных отложений относятся и золошлаки ГРЭС на базе КАТЭКа, складываемые на пойме р. Чулым гидроспособом в золоотвалах общей площадью свыше 2,5 км², мощностью до 9 м. С введением в эксплуатацию Назаровской ГРЭС (1961 г.) ежегодно сжигается несколько миллионов тонн угля, в результате чего образуются сотни тонн в год золошлаков [54, 79]. В зоне сброса пульпы преобладают грубо- и крупнозернистые (>2 мм) обломки шлаков, характеризующиеся невысокой влажностью (5—25%), высокой плотностью (до 2,24 г/см³) и пористостью (до 86%). Сцепление составляет 0,02—0,6 МПа. По мере удаления от места сброса пульпы в составе начинают доминировать зольные частицы, характеризующиеся широким разбросом значений всех показателей свойств. На периферии отвалов концентрируются частицы золы алевритовых размеров, составляющие 44—67% от объема золошлаковой смеси. Золошлаки практически не обладают пластическими свойствами, они неоднородны по плотности, прочности, деформируемости. В связи со слоистой структурой отмечается анизотропия фильтрационных свойств: коэффициент фильтрации в горизонтальном направлении в 5—10 раз больше, чем в вертикальном и составляет 0,1—10 м/сут до 100 м/сут в хорошо отсортированных крупнообломочных разностях. Практически вся толща в той или иной мере цементирована, а с поверхности породы покрыты относительно плотной коркой золы мощностью в несколько сантиметров.

Большие площади, особенно в Кузбассе, заняты гидроотвалами. Намывные грунты гидроотвалов образованы пылевато-глинистыми водонасыщенными массами с очень низкой несущей способностью. В процессе гидроотвалообразования по мере удаления фронта на-

мыва происходит дифференциация гидросмеси на фракции (рис. 14.3). Грубые песчаные частицы концентрируются в районе выпуска пульпы, формируя наружную приоткосную зону, более мелкие, преимущественно тонкопесчаные и пылеватые частицы относятся потоком несколько дальше и формируют промежуточную зону. Самые тонкие глинистые частицы осаждаются в пруде-отстойнике, формируя прудковую зону [41, 71]. Крупные гидроотвалы имеют высоту свыше 50 м, площадь их превышает 3 км².

Изменения гидрогеологических условий на территории Алтае-Саянского региона обусловлены всеми видами инженерно-хозяйственного освоения и происходят по всем параметрам. В городах и крупных промышленных центрах нередко формируются верховодка и постоянные техногенные водоносные горизонты. На величину 10 м со скоростью около 0,6 м/год поднимался уровень грунтовых вод на территории Ачинского глиноземного завода и его промбазы, расположенных вдоль северного склона хр. Арга. Появились линзы верховодки под цехами заводостроительного комбината в г. Красноярске. В последнее десятилетие наблюдается постоянный подъем уровня грунтовых вод и формирование техногенных водоносных горизонтов на территории г. Кемерово [19]. Продолжают повышаться уровни в пределах г. Минусинска, попадающего в зону влияния Красноярского водохранилища.

Значительное воздействие на подземные и поверхностные воды оказывают золошлакоотвалы, расположенные на пойме р. Чулым. Дамбы, ограждающие отвалы, поддерживают внутри них постоянно высокий уровень воды, расположенный на 2—3 м выше естественного рельефа поймы. Из золошлакоотвалов происходит фильтрация зольных вод в аллювиальный водоносный горизонт, проявляющаяся в виде «бугров» техногенных вод, растекающихся в аллювиальный горизонт от центральных частей отвалов. В районе г. Назарово развит техногенный водоносный горизонт, приуроченный к зоне распространения техногенных отложений Назаровского углераза и ГРЭС.

Создание Красноярского водохранилища значительно изменило гидрогеологические условия прибрежной зоны. Гидрогеологическая обстановка в естественных условиях характеризовалась разгрузкой подземных вод в р. Енисей. Уклоны и скорости движения естественных потоков подземных вод были незначительными. Зона влияния р. Енисей на подземные воды в период паводков не превышала 0,4—0,6 км. Для наиболее распространенных в акватории водохранилища отложений глубины залегания подземных вод составляли до подпора 10—100 м, после подпора 5—50 м. Ширина зоны развития подпора составила на участке Приморского и Куртаковского постов примерно 800—1000 м, Новоселовского — 700 м, Саргашского — более 2600 м, Абакан-Перевозного — до 3,8 км, Совхакасского — более 2 км. Различия в ширине зоны развития подпора объясняется неоднородностью фильтрационных свойств пород, значениями наибольших отметок уровня воды в водохранилище и расстояниями до гидрогеологического водораздела. Наблюдения по-

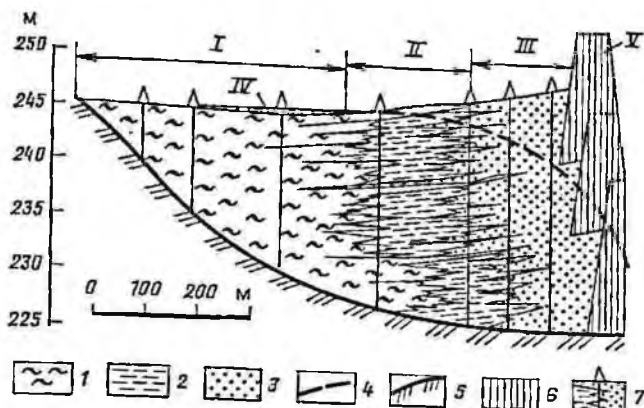


Рис. 14.3. Инженерно-геологический разрез массива гидротвала «Свободный» (по Е. А. Соколову, И. А. Лапочкину, 1979 г.):

I—III—зоны гидротвалов (I—прудовая, II—промежуточная, III—приоткосная, IV—фрагмент прудка-отстойника; V—дамба гидротвала)
 1,3—намытые грунты зон (1—глинистые прудковой, 2—суглинистые промежуточной, 3—сулещаные приоткосной); 4—уровень грунтовых вод; 5—почвенно-растительный слой основания гидротвала; 6—насыпные грунты тела дамбы гидротвала (щебень и дресва алевролитов и песчаника, суглинки, глины); 7—скважины инженерно-геологического обследования

казали, что подпор подземных вод в скальных породах развивается неравномерно из-за различной интенсивности трещиноватости, направления трещин и их величины. Фильтрационные свойства горных пород на берегах водохранилища крайне неоднородные [9]. По условиям и характеру развития подпора выделяются 3 района и 4 подрайона (рис. 14.4).

Подъем уровня грунтовых вод происходит почти на всех крупных орошаемых массивах. Значительная часть орошаемых земель региона располагается в степной зоне Минусинского межгорного прогиба по долинам рек Абакана, Енисея, Аскиза, Биджи, Ербы, Теси, Уйбат и других, занимая поверхности речных террас и делювиальных склонов водоразделов, сложенных сулещами, суглинками, песками, галечниками, с выходами трещиноватых скальных и полускальных пород палеозоя. Наиболее крупные системы—Абаканская, Койбалская, Уйбатская, Сагайская с общей площадью поливных земель более 20 тыс. га. Массивы орошения этих систем приурочены в основном к аллювиальным равнинам с преобладающими уклонами местности 1—3°. Аллювиальные равнины в нижней части разреза сложены гравийно-галечными отложениями с песчаным заполнителем, перекрытыми лёссовидными суглинками, сулещами, реже песками и глинами.

На орошаемых массивах южной части Красноярского края формируются несколько типов режима грунтовых вод. Ирригационный тип режима характеризуется подъемом уровня грунтовых вод с началом полива; подъем уровня с небольшими осложнениями происходит до конца сентября—начала октября. Амплитуда колеба-



Рис. 14.4. Районирование берегов Красноярского водохранилища по условиям развития подпора подземных вод (по В. С. Кусковскому, 1980 г.):

1 — границы районов (А, Б, В — части водохранилища, соответственно, нижняя, средняя и верхняя); 2 — границы подрайонов (Б₁ — Чебаково-Балактинский артезианский бассейн, Б₂ — бассейн трещинных вод Батеневского края. В₁ и В₂ — Сыдо-Ербинский и Южно-Минусинский артезианские бассейны); 3 — геологические створы (а — Приморский; б — Куртацкий-1; в — Куртацкий-11; г — Новоселовский; д — Сарагашский; е — Абакано-Перевозный; ж — Краснотуранский-1; з — Краснотуранский-11; и — Советско-Хаякасский; к — Листьяговский)

ния уровня составляет 0,7—0,95 м, в отдельные годы достигая 1,35 м. Фильтрационный тип режима грунтовых вод прослеживается на площади вдоль магистрального канала, где резкий подъем уровня происходит сразу же после пуска воды по каналу, и максимальные уровни сохраняются до конца полива. Амплитуда колебаний уровней составляет 1,5—3,5 м. Иригационно-фильтрационный тип режима распространен на участках распределительных каналов. Подъем уровней в этом случае происходит как за счет полива, так и в результате фильтрации из каналов. Колебания уровней приобретают сложный характер, на фоне подъемов отмечаются незначительные спады уровней.

На Койбальской оросительной системе максимальных значений уровня грунтовых вод достигают к концу поливного сезона (июль). Наиболее высокие уровни отмечаются на участках распределительных каналов. В среднем на площади оросительной системы за 20 лет произошло повышение максимальных уровней на 0,8—2,5 м (рис. 14.5). Воды гидрокарбонатные натриевые с минерализацией менее 1 г/л. Грунтовые воды с минерализацией более 1 г/л с преобладанием сульфатного иона распространены в северной части оросительной системы. Температура грунтовых вод 3—8°, причём с началом поливного сезона она повышается до 7—8°, после полива происходит ее снижение.

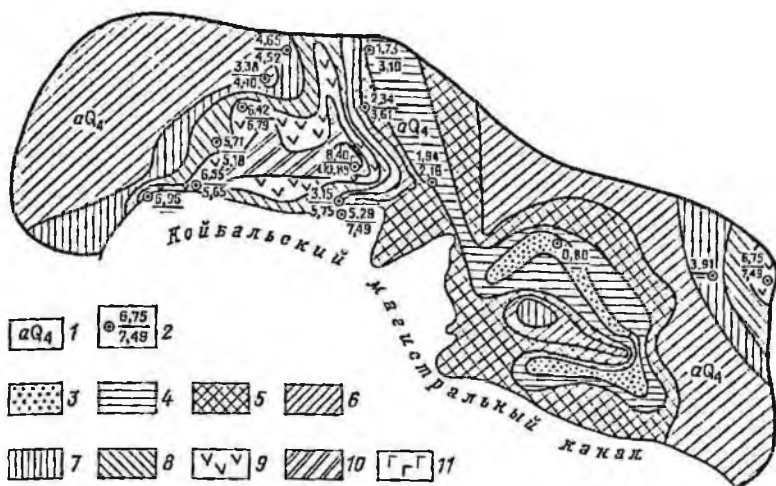


Рис. 14.5. Схематическая карта глубины залегания грунтовых вод по площади Койбальского поста по состоянию на июнь 1985 г. (по В. А. Мельниковой):
 1 — водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений; 2 — наблюдательные скважины (цифры в числителе и знаменателе — уровни воды на июнь соответственно 1985 и 1965 гг.); 3—11 — глубины залегания грунтовых вод, м (3—0—1; 4—1—2; 5—2—3; 6—3—4; 7—4—5; 8—5—6; 9—6—7; 10—7—8; 11—8—9)

Эксплуатация орошаемых массивов Тувы, большинство которых приурочено к конусам выноса предгорий, характеризуется большими фильтрационными потерями из каналов [92]. На основании ранее проведенных работ, экспериментальных данных и опыта отечественной практики фильтрационные потери из каналов Барлыкской оросительной системы (Западная Тува) оцениваются в 20—120 л/с/км, или до 25 % от общего забора воды.

В Горноалтайской зоне орошения 1/5 часть всех земель находится в неудовлетворительном состоянии, в основном из-за неглубокого залегания грунтовых вод [45]. Здесь применяются стандартные схемы полива и нормы орошения, не пригодные для этой природной зоны, что приводит к повышению уровня грунтовых вод.

Наряду с повышением уровня подземных вод при хозяйственном освоении региона во многих случаях отмечается его снижение. Так, снижение уровня подземных вод и образование депрессионных воронок площадью в сотни квадратных километров отмечается в районе действующих водозаборов. В ряде случаев динамический уровень устанавливается ниже кровли эксплуатируемых водоносных горизонтов.

В Кузнецком угольном бассейне резко изменен режим подземных вод. Уровень подземных вод в зависимости от глубины производства горных работ снижен до 100—400 м от дневной поверхности. В районе Прокопьевска, Киселевска, Ленинск-Кузнецка и других городов, где разработка углей производится одновременно несколькими смежными шахтами, депрессионные воронки смыкаются [66]. Во вновь осваиваемых районах при строительстве шахт, раз-

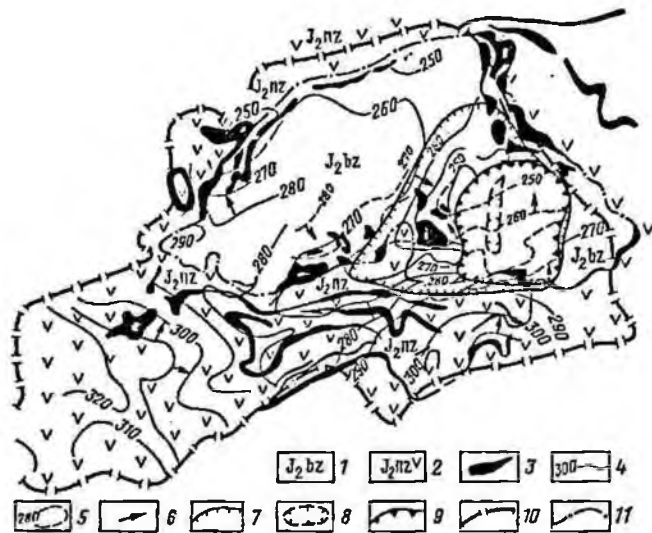


Рис. 14.6. Формирование депрессионной воронки Назаровского карьера (по Ж. Л. Цыкиной, А. Ю. Озерскому, 1980 г.):

1—2 — подошвенные комплексы среднеюрских отложений (1 — березовской свиты, 2 — назаровской свиты); 3 — угольные пласты; 4—5 — пьезозонгипсы на период (4 — 1979 г., 5 — 1949 г.); 6 — направление движения подземных вод; 7—10 — контуры (7 — депрессионной воронки на 1980 г., 8 — проектируемого в 1949 г. карьера, 9 — карьера на период 1980 г., 10 — Назаровского месторождения; 11 — границы водоносных комплексов)

резов и развития фронта горных работ скорость падения уровня достигает 5—20 м/год. Развития на больших площадях депрессионных воронок и снижение уровня подземных вод приводят к тому, что эксплуатационные запасы подземных вод срываются и возникает опасность вывода из строя действующих водозаборов, расположенных вблизи шахт и карьеров.

Осушение угольных разрезов КАТЭКа в процессе их строительства и эксплуатации привело к формированию локальных депрессионных воронок вокруг карьеров, осушению крупных болот; уровни подземных вод при этом понизились на 30—40 м. В результате многолетних понижений и откачки воды на Назаровском разрезе сформировалась депрессионная воронка значительных размеров (на начало 1986 г. около 5 км в диаметре). На формирование депрессионной воронки оказывали влияние не только осушительные мероприятия но и создание в южной части месторождения гидроотвалов, из которых осуществлялась фильтрация в водоносные горизонты, в результате чего уровень подземных вод через несколько лет повысился до первоначального (рис. 14.6). На данном этапе для Назаровского разреза характерно медленное увеличение размеров депрессионной воронки, которое, по прогнозным расчетам, за период с 1986 по 2000 г. составит всего лишь 900 м.

На Березовском месторождении в 1975 г. началось осушение на опытно-промышленном разрезе. Пьезометрическая поверхность

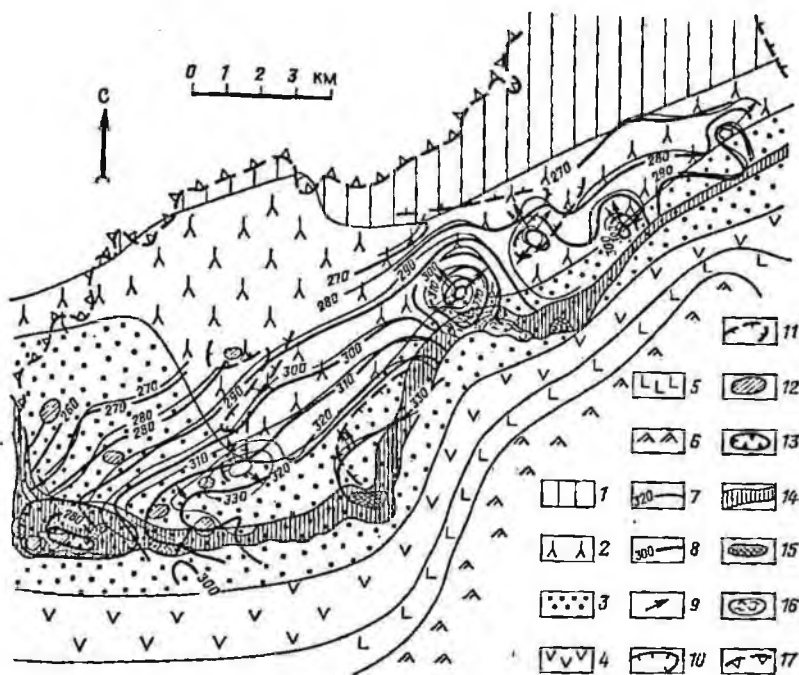


Рис. 14.7. Схематическая гидродинамическая карта западной части Березовского месторождения (по Ж. Л. Цыкиной, А. Ю. Озерскому, 1980 г.):

1—6 — водоносные комплексы отложений (1 — нижнемеловых, 2 — верхнеюрских тяжинской свиты, 3 — среднеюрских березовской свиты, 4 — среднеюрских пазаровской свиты, 5 — нижнеюрских мажаровской свиты, 6 — палеозойских); 7—8 — пьезозонгипсы (7 — до эксплуатации карьера, 8 — на период 1980 г.); 9 — направление движения подземных вод; 10 — контур депрессионной воронки; 11 — площади распространения самоизливающегося первого водоносного горизонта; 12 — участки гидравлической связи первого и второго водоносных горизонтов; 13 — контур карьера на период 1980 г.; 14 — выходы угольных пластов под четвертичные отложения; 15 — выходы горелых пород; 16 — выходы пласта Березовского с частичным выгоранием угля; 17 — контур детально разведанных участков месторождения

надугольного водоносного горизонта на многих участках раньше располагалась выше земли на 1,5—15 м (рис. 14.7). В течение года депрессионная воронка вокруг разреза распространилась на 500—600 м. В результате водопонижительных работ уровень воды снизился в среднем на 28—35 м. По форме депрессионная воронка близка к контуру опытно-промышленного разреза. Радиус ее в западном направлении составлял 450 м, в северном — 1000 м.

Очень сложные инженерно-геологические условия отмечаются на рудных месторождениях, приуроченных к закарстованным карбонатным породам ниже базиса эрозии, в зоне циркуляции подземных вод. Шахтный водоотлив приводит к резкому изменению путей движения подземных вод, гидродинамических напоров в зоне депрессионных воронок. На Абаканском железорудном месторождении, расположенном в северных отрогах Западного Саяна и экс-

платируемом с 1930 г. сначала открытым способом, а с 1961 г. — подземным, снижение уровней составило 240 м (рис. 14.8). На Таштагольском железорудном месторождении, расположенном на левом склоне р. Ксидома, в результате шахтного водоотлива сформировалась асимметричная депрессионная воронка с понижением в центре, равным 520 м, с крутыми крыльями в сторону р. Кондома и пологими к водоразделу. Радиус воронки более 2 км, площадь нарушенного режима более 10 км².

В промышленных районах возрастает сброс отходов, недостаточно очищенных стоков. Существует локальное загрязнение, фиксируемое ухудшением качества эксплуатируемых горизонтов; отмечается загрязнение грунтовых вод, приуроченных к песчано-галечниковым аллювиальным отложениям рек Енисея, Чулыма, Абакана вблизи наиболее крупных городов Красноярска, Ачинска, Абакана, Черногорска, Минусинска. На территории г. Красноярска наиболее широко распространены водоносные горизонты современных, верхне- и среднечетвертичных аллювиальных отложений, естественная защищенность которых незначительна. Сравнительно небольшая мощность зоны аэрации, высокая проницаемость отложений, затрудненность стока поверхностных вод обуславливают быстрое поглощение загрязненных вод через зону аэрации. Наблюдения за подземными водами аллювиальных отложений свидетельствуют об изменении их качественного состава; повышении содержания нитратов, загрязнении нефтепродуктами, марганцем, фенолами.

На территории городов Кемеровской области (Кемерово, Новокузнецк, Салаир, Мыски и другие) происходит загрязнение водоносных горизонтов аллювиальных отложений нефтепродуктами, бензолом, фенолами, хлоридами, азотистыми соединениями. Во многих случаях сточные воды промышленных предприятий Кузбасса без очистки сбрасываются в поверхностные водотоки и загрязняют их [66].

В пределах застроенных территорий установлены и существенные изменения температуры подземных вод неглубоко залегающих водоносных горизонтов. Так, в интенсивно застроенной правобережной части Красноярска при глубинах уровней воды 7—9 м температура не опускалась ниже 5,5 °С зимой, достигая в ноябре—декабре 7 °С. В естественных условиях при сходных глубинах залегания грунтовых вод среднегодовые значения температур на 1,5—2,5 °С ниже. Несколько меньшие амплитуды температур фиксировались в г. Абакане [90]. В г. Минусинске в отдельные годы на локальных участках отмечалось резкое повышение температуры грунтовых вод до 35—40° в результате значительных утечек промышленно-бытовых теплых вод. Крупные загрязнители среды — золошлакоотвалы Назаровской ГРЭС. Поступление техногенных вод отвалов в аллювиальный горизонт поймы р. Чулым значительно изменяет гидрохимическую обстановку. В аллювии концентрируются ионы сульфата, натрия, некоторые микроэлементы. В районе золошлакоотвалов происходит и загрязнение поверхностных вод. Переход Назаровской ГРЭС на оборотную схему работы си-

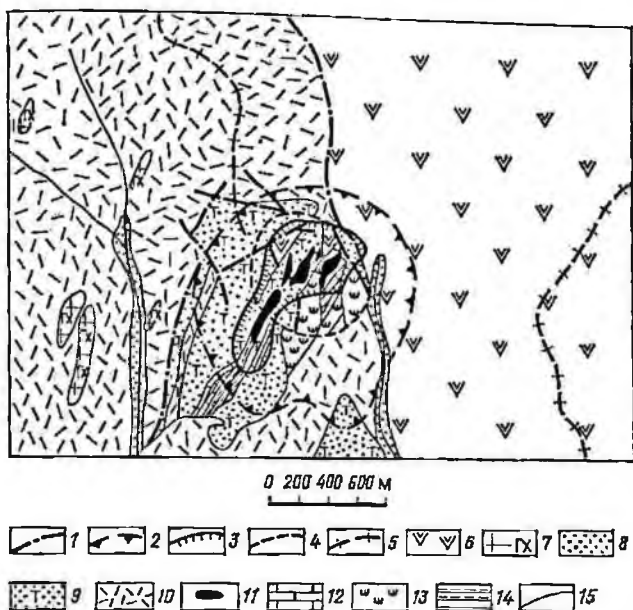


Рис. 14.8. Влияние Абаканского месторождения железных руд на геологическую среду (по С. В. Кравчуку, В. И. Фоменко и др., 1980 г.):

1 — тектонические нарушения; 2 — граница распространения депрессионной воронки; 3 — зона обрушения горных пород; 4 — зона повышенной водопроницаемости; 5 — линия водораздела; 6 — эффузивы кислого и среднего состава; 7 — плагιοграниты и габбро-диориты; 8 — пески, галечники; 9 — алевролиты, песчаники, конгломераты; 10 — кератофилы, спидиты; 11 — руда; 12 — известняки; 13 — туфоконгломераты; 14 — известняки с алевролитами; 15 — геологические границы

стемы гидрозолоудаления привел к повышению минерализации воды в золотостале более чем в 3 раза (до 1800 мг/л). Периодический сброс воды в р. Чулым вызывает кратковременные, но заметные изменения химического состава речной воды [11].

Наполнение Красноярского водохранилища вызвало также изменение химического состава подземных вод, находящихся в зоне его влияния. Изменение минерализации и качества вод наблюдались как в процессе наполнения, так и в последующие годы. Участки прибрежной зоны, где состав вод изменился наиболее значительно, сложены загипсованными породами верхнего девона. Изменение минерализации наиболее отчетливо прослежено для водоносных горизонтов песчаников девонского возраста. Для них характерно снижение минерализации в прибрежной зоне из-за процессов разбавления вод в результате интенсивной фильтрации из водохранилища и повышение ее в наиболее удаленных от берега участках. При удалении от берега на расстоянии до 1,3 км минерализация увеличивается в 3,5—6 раз [91].

Наполнение водохранилища оказало значительное влияние и на температуру подземных вод. Ежегодная весенняя фильтрация

из водохранилища в водоносные горизонты способствуют понижению минимальных температурных значений на 0,5—1,0 °С, а максимальных на 0,8—3,5 °С. Под влиянием фильтрационных и ирригационных потерь на орошаемых массивах формируется температурный режим грунтовых вод, что в значительной степени обусловлено нерегулируемым подъемом их уровней [90].

Под воздействием орошения грунтовые воды сформировали свой химический состав. В период зимней межени, между влагозарядковым и предпосевным поливами, влияние орошения на химический состав и минерализацию грунтовых вод практически мало сказывается. В это время на большей части территории формируются содовые и гидрокарбонатно-сульфатные воды смешанного состава с минерализацией 0,4—1 г/л; на отдельных участках, изолированных и небольших по площади, — слабо солоноватые гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые и смешанные по катионам воды с минерализацией не более 1,3 г/л. При поливах, работе магистрального, распределительных и поливных каналов происходит сплошное снижение минерализации на 0,1—0,2 г/л за счет разбавления их речными водами с меньшей минерализацией.

Нарушение гидрогеологической обстановки и свойств пород обуславливает возникновение различных неблагоприятных инженерно-геологических процессов, требующих в ряде случаев инженерной защиты территории. Так, подъем уровня грунтовых вод, образование верховодки и техногенных водоносных горизонтов вызывает в отдельных случаях подтопление части городских территорий. Широко развиты процессы подтопления и заболачивания на территории г. Ачинска на участках второй надпойменной террасы с затрудненным стоком атмосферных вод и близким залеганием грунтовых вод. В Кузбасском промышленном районе на больших промплощадках здания также оказываются подтопленными; причем до строительства грунтовые воды не встречались часто до глубины 20—25 м. Подтопление подземных частей сооружений в г. Кемерово происходит через 1—10 лет после сдачи их в эксплуатацию [19]. Процессы подтопления отмечаются и на территории других крупных промышленных центров Кемеровской области.

В ряде населенных пунктов отмечается подтопление, вызванное подпором грунтовых вод в связи со строительством Красноярского водохранилища (пос. Усть-Абакан, г. Абакан, расположенные на левом берегу р. Енисей в хвостовой части водохранилища). Для предупреждения подтопления застроенных площадей в пос. Усть-Абакан и г. Абакане были сооружены ограждающие дамбы в комплексе с дренажными каналами, отметка воды в которых принудительно поддерживается на уровне естественного зеркала грунтовых вод.

Многие изменения геологической среды обусловлены широким развитием в межгорных котловинах лёссовых пород значительной мощности. Крупные просадки и связанные с ними деформации сооружений появились еще при освоении Кузбасса в 30-е годы. Величина просадок здесь достигает 40—80 см. Просадочность лёссов

вых пород обычно прослеживается до глубины 10 м. В Кемеровской области в таких крупных городах, как Новокузнецк, Кемерово лёссовые породы II группы просадочности занимают около 40 % территории. Деформации зданий и сооружений в результате неравномерной просадки лёссовых пород при замачивании их в основании фундаментов наблюдались и в межгорных впадинах Горного Алтая. Широко развитие получили просадочные явления в г. Назарово, в Северо-Минусинской впадине.

Искусственное водонасыщение рыхлых пород на склонах может приводить к катастрофически быстрым деформациям оползневого характера. Так, в г. Дивногорске, основанном в 1955 г., на правобережном склоне Енисея в ноябре 1962 г. произошел сплыв пород объемом более 15 тыс. м³, в результате которого образовался цирк размером в плане 50×50 м и глубиной 5—8 м. Потеря устойчивости склона произошла в результате искусственного насыщения склоновых отложений из магистрального водопровода, расположенного выше по склону, разрушения их структуры и последующего выплывания под действием фильтрационного выпора. Оползни известны и в городах Красноярске, Назарово, Горно-Алтайске.

Глинистые и лёссовые породы на склонах легко размываются. В ряде городов имеются примеры, когда в течение нескольких дней при сбросе по склонам сточных вод с предприятий образовались овраги длиной 35—50 м, иногда больше. Так, в пос. Мундыбаш в результате сброса воды открытым способом с обогатительной фабрики образовались два V-образных оврага длиной около 500 м и глубиной 15—20 м. Широко распространены молодые растущие овраги в г. Ачинске, где они приурочены к склонам долины р. Чулым и бровкам надпойменных террас, сложенных лёссовидными суглинками и супесями. Основная причина их развития — снятие растительного покрова, искусственная концентрация стока, вырубка кустарника, распашка склонов и т. д. Овраги эти довольно опасны, так как развиваются высокими темпами в легкоразмываемых породах. Опасны техногенные овраги в левобережной части г. Красноярска, развивающиеся также в лёссовидных четвертичных отложениях. Скорость роста этих оврагов довольно высокая, и они представляют существенную угрозу для городских построек и требуют эффективных мер борьбы. Овраги и промоины могут также образовываться вдоль трасс подземных коммуникаций из-за некачественной засыпки траншей.

Вблизи бровок террас отмечается техногенная суффозия, с которой связаны оседания и провалы. Особенно сильный вынос материала происходит вдоль трасс горячего водоснабжения. Часты также случаи суффозионного выноса из-под зданий, вызывающие их деформации. Суффозионно-эрозионные процессы широко развиты на левом берегу Енисея в г. Красноярске, в отложениях высоких террас, сложенных лёссовидными породами. Проявляются они в виде воронок, каналов, дудок, диаметром до 5 м. Формирование

их происходит при попадании сточных и хозяйственных вод в лесовые породы.

Региональное значение имеют процессы плоскостного смыва на сельскохозяйственных территориях межгорных впадин. Антропогенная денудация на распаханных землях, по некоторым данным, составляет 1—3 мм/год [65], тогда как естественная денудация в среднем за неоген-четвертичное время достигала первых сотых — первых десятых миллиметров в год.

В последнее время под пашни стали использоваться склоны крутизной более 5°, при этом пахота производится нередко вдоль склона, что приводит к увеличению интенсивности смыва почв, особенно в период ливневых дождей. Так, в Назаровской впадине смыв почв со склонов за счет техногенного воздействия увеличился по сравнению с доагрокультурным периодом на 1—2, а в отдельных случаях на 3 порядка. Смыв почв, величина которого зависит от состояния растительного покрова и геоморфологических параметров, колеблется от 2 до 35 м³/га. Практически полная распашка котловин в Горном Алтае привела к серьезным отрицательным последствиям: в ряде мест процесс остепнения и опустынивания приобрел необратимый характер, заметно проявляется водная и ветровая эрозия земель [4].

Экстенсивное ведение животноводства в Горно-Алтайской автономной области привело к перегрузке пастбищ, особенно в межгорных впадинах. Происходит деградация пастбищ, отмечается пастбищная эрозия почв [51]. Своеобразные изменения среды происходят на местах вырубки и трелевки деревьев. В горно-таежной зоне Саянского ТПК (Западный Саян), Горного Алтая и Салаира рубки представляют собой наиболее мощный территориальный вид антропогенного воздействия. В таежных районах Западного Саяна активизируется линейный размыв; овраги возникают на трелевочных дорогах и по лесным вырубкам. Интенсивность линейного прироста этих оврагов увеличивается в сравнении со степными районами за счет активного талого стока и работы мощных временных ливневых потоков [44].

Инженерно-геологические процессы характерны для мелиорируемых территорий региона. Почти на всех крупных орошаемых массивах происходит подъем уровней грунтовых вод, возникают процессы заболачивания и засоления почв и грунтов зоны аэрации. Одна из основных причин развития процессов вторичного засоления и заболачивания — большие инфильтрационные потери воды из каналов, достигающие на отдельных участках оросительно-обводнительных систем или по всей системе 15—20 % объема забираемой воды. Кольматация ложа и бортов магистральных каналов достигается как минимум через 8—10 лет работы мелиоративной системы. Другие причины — несоблюдение норм полива и низкая эффективность работы дренажной сети.

В Чуйской котловине на отдельных массивах в результате неправильного применения орошения (без учета оптимальных сроков, норм и способов полива) происходит образование соленой

корки и выцветов солей на поверхности почв. Широко применяемый способ полива по бороздам нередко приводит к размыванию почв и образованию оврагов [85]. Нарушение хозяйственных мероприятий при проведении мелиоративных работ в Уймонской котловине привело к тому, что реки Чендек, Кастаха, Терехта и другие теряют русло и не доходят до основной реки [51]. Перечень подобных примеров можно продолжить.

Создание Красноярского и Саянского водохранилищ на р. Енисей привело к значительному переформированию их берегов, начавшемуся со времени заполнения водохранилищ и продолжающемуся поныне. При создании Красноярского водохранилища обширные площади террас оказались затопленными, и в настоящее время прослеживаются лишь их реликты на локальных участках. По характеру переработки берегов территорию водохранилища можно разделить на две части. В горных районах (Восточный Саян, Батеневский кряж) разрушение берегов происходит в виде мелких осовов, осыпей, вывалов и лишь локально — в виде оползней-сдвигов по плоскостям напластования пород, а подпор не распространяется далеко в глубь берега. В Минусинских впадинах наблюдаются максимальные скорости и величины переработки, подпор грунтовых вод, миграция солей. Размокание и размыв лёссовидных супесей и суглинков сопровождается оползнями, обвалами, суффозией и овражной эрозией.

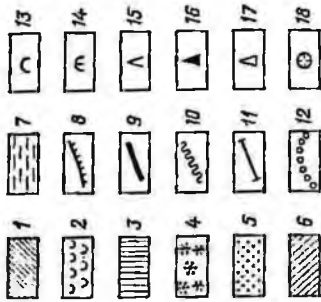
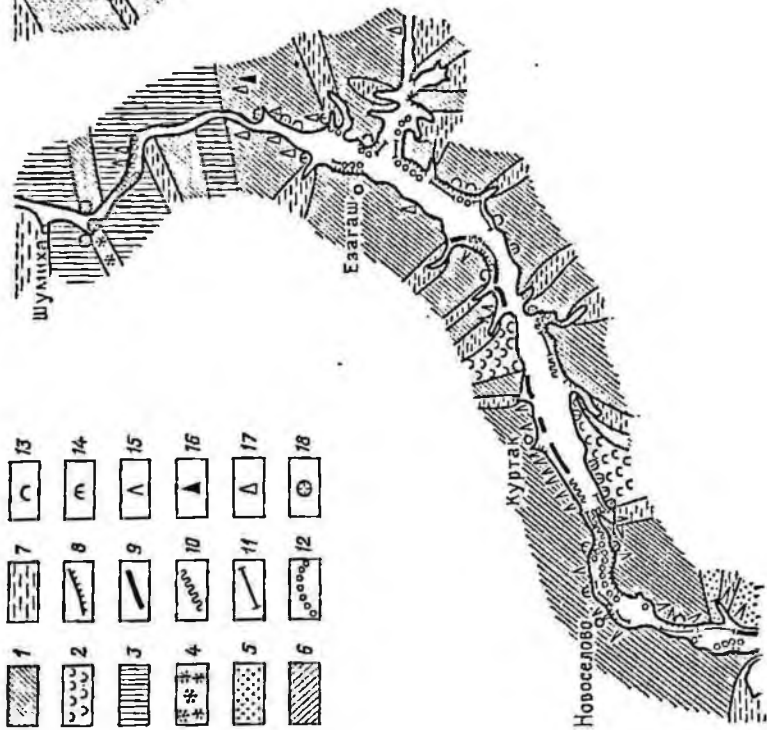
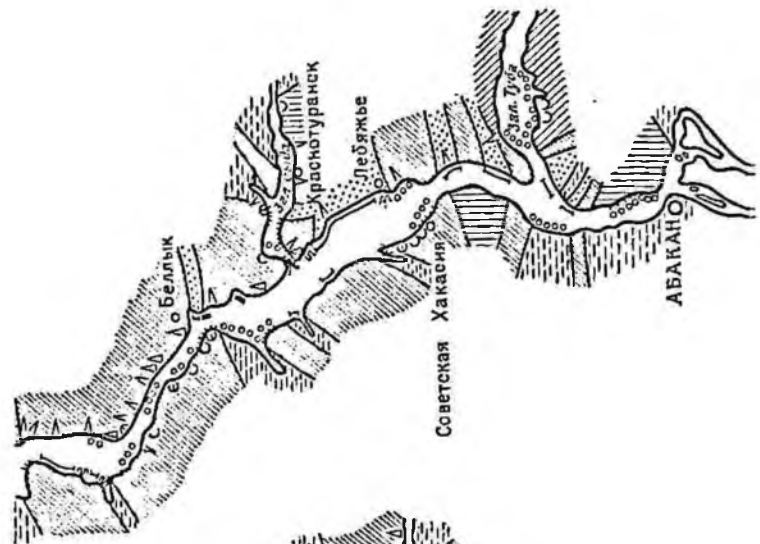
Наиболее активная переработка берегов происходила при заполнении водохранилища. Активность не снижалась и в первые два-три года нормальной эксплуатации, а затем имела «пульсирующий» характер, обусловленный непостоянством режима заполнения и сработки водохранилища [37].

Наибольшему разрушению в период заполнения водохранилища подверглись высокие береговые склоны, сложенные в верхней части лёссовидными супесями. Смачивание их на контакте со скальными породами приводило к интенсивному образованию оползней. За период заполнения отступление таких берегов составило до 280 м. Берега, сложенные суглинками с высотой уступа до 3 м, за это же время отступили на 100 м.

После нескольких лет эксплуатации изменились в сравнении с периодом наполнения характер и состояние устойчивости берегов в целом по водохранилищу. Значительное развитие получили оползневые берега в скальных породах. Они часто приурочены к очагам распространения древних оползней, но появились и новые оползневые участки. Так, в приплотинной части водохранилища возникли оползни в прочных палеозойских породах на склонах крутизной примерно 20°, с объемом оползших масс до 100 тыс. м³.

Значительная сработка водохранилища (до 18 м) существенно влияет на динамику оползневого процесса: разрушаются контрфорсы древних оползней, в связи с чем начинается интенсивное их оживление.

В настоящее время наибольшее распространение получили обвально-осыпные и «нейтральные» берега (рис. 14.9).



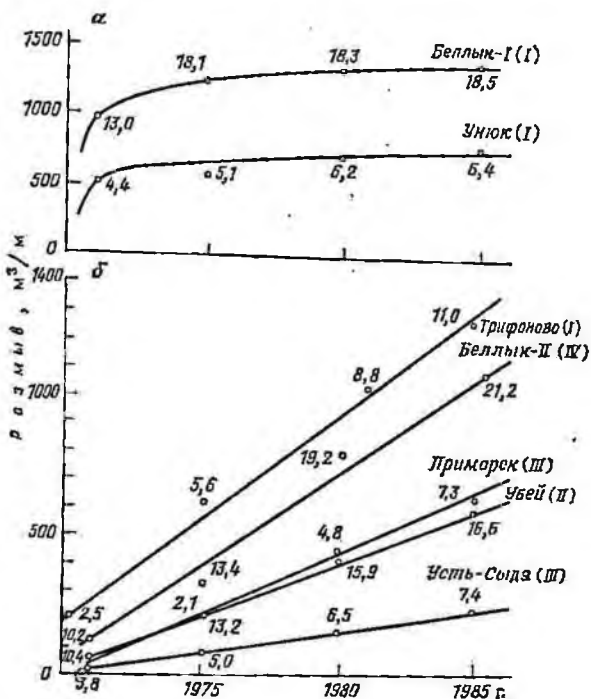


Рис. 14.10. Графики интенсивности размыва берегов в песчаных (а) и суглинистых (б) грунтах Красноярского водохранилища (по Н. В. Борозенцу, В. Г. Курсову и др., 1987 г.):

Цифры на графиках — высота абразионного уступа, м. Римские цифры в скобках — номера профилей

Абразионные обвально-осыпные берега формируются там, где размыву подвержены делювиально-элювиальные и аллювиальные песчано-глинистые отложения, а также выветрелые коренные породы. Наибольшим развитием они пользуются в средней части водохранилища (Чебаково-Балахтинская впадина). Наиболее интенсивно процесс размыва берегов этого типа происходил в период заполнения и первых лет нормальной эксплуатации водохранилища. На это время приходится около 30—50 %, в некоторых случаях до 70—80 % общего объема размыва по участкам. В последние

Рис. 14.9. Схема типов берегов Красноярского водохранилища (по В. Г. Курсову, 1987 г.):

Основные типы берегов: 1 — обвально-осыпные; 2 — оползневые; 3 — денудационные; 4 — карстовые; 5 — осыпные; 6 — эрозийные; 7 — нейтральные; 8 — выходы коренных пород в основании абразионных уступов. Величина суммарной линейной переработки за период 1967—1986 гг., м: 9 — более 100; 10 — 50—100; 11 — 25—50; 12 — 10—25. Инженерно-геологические процессы и явления: 13 — оползни в рыхлых породах; 14 — оползни в коренных породах; 15 — овражная эрозия; 16 — курумы; 17 — осыпи; 18 — карст

годы основным размывоопределяющим фактором стал уровенный режим водохранилища. При приближении уровня к отметкам НПГ в отдельные годы практически везде наблюдается активизация абразии и разрушения береговых склонов. В последние годы, очевидно, в связи с регулирующим действием расположенных выше по каскаду Майнского и Саяно-Шушенского гидроузлов уровенный режим водохранилища можно считать стабильным и соответствующим проектному. Этот фактор сказывается на интенсивности переработки берегов, сложенных песчано-глинистыми породами четвертичного возраста. Практически по всем участкам, начиная с 1983 г., наблюдается резкая активизация размыва береговых склонов.

Отмечается различие в характере переработки берегов, сложенных песчаными и лёссовидными суглинистыми разностями пород (рис. 14.10). Берега, сложенные песчаными породами, интенсивно перерабатывались в первые два-три года эксплуатации водохранилища. В последующем интенсивность размыва закономерно снижалась, так как сформировались широкие и довольно пологие абразии-аккумулятивные отмели. На участках, сложенных лёссовидными суглинками, процесс переработки имеет незатухающий характер и отличается равномерностью во времени, что объясняется затяжным характером формирования прибрежных отмелей, обусловленным переносом глинистых частиц обрушенного грунта вдольбереговыми течениями и волновыми потоками, иногда на значительные расстояния. Даже при крутизне отмелей 3—5° и ширине их до 100—150 м происходит интенсивный размыв береговых склонов, особенно активно переработка берега происходит у пос. Куртак.

В начальный период заполнения водохранилища в аллювиальных пылеватых суглинках и супесях высоких террас Енисея мощностью до 35—40 м, подстилаемых аргиллитами и алевролитами нижнего карбона, развивались абразии-оползневые берега. Комплексное воздействие абразии и оползневых процессов обусловило интенсивное отступление береговой линии, достигшее, по данным «Красноярскгеологини», к осени 1970 г. 274 м. К 1973 г. оползневые деформации прекратились, и в настоящее время развиваются абразии-обвальные берега, характеризующиеся значительным развитием процессов переработки. С 1975 г. отступление кромки уступа превысило 75 м, а объемная переработка — 1100 м³ на метр длины берега.

На некоторых участках прибрежные отмели к настоящему времени имеют сравнительно пологое заложение и достаточную ширину, тем не менее затухание размыва не наблюдается, отмечается некоторая его активизация в результате высокой размокаемости пород, слагающих склон, и ежегодного размыва и переотложения дезинтегрированного материала отмелей.

Иначе формирование обвальных берегов протекает в коренных породах. Наиболее активно абразия происходила при заполнении и в первые годы эксплуатации водохранилища, когда в зоне вол-

нового воздействия находились сильно выветрелые коренные породы. В последующие годы в зону волнового воздействия попали слабо выветрелые породы, интенсивность переработки резко снизилась и определяется в настоящее время главным образом скоростью выветривания пород, слагающих абразионные уступы. Скорость выветривания и обрушения литологических разностей пород различна: трещиноватые выветрелые аргиллиты, алевролиты разрушаются в 2—3 раза быстрее песчаников и конгломератов. В случае, когда менее прочные породы залегают на урезе, а более прочные обнажаются выше, в уступе наблюдаются крупные волноприбойные ниши, или нависающие карнизы, которые постепенно обрушаются вниз к урезу. Отмели у таких берегов, как правило, абразионного типа, крутые.

Абразионно-осыпные берега протяженностью 86 км распространены в основном в южной половине водохранилища, где береговые склоны сложены разнозернистыми песками и супесями. Наиболее активно процессы разрушения берегов этого типа происходили в период наполнения и в первый год (1970 г.) нормальной эксплуатации водохранилища. На это время приходится более 70 % как линейной, так и объемной переработки.

Абразионно-оползневые берега занимают лишь 1,7 % от всей линии побережья. Протяженность оползневых участков обычно ограничена одной—тремя сотнями метров, реже длина их возрастает до 3—3,5 км. Развиты они в резко различных по составу, генезису, возрасту, а главное, по прочности грунтах — от скальных дислоцированных пород девона и карбона до слабо связанных четвертичных отложений. В настоящее время на побережье Красноярского водохранилища закартировано порядка 65 крупных оползней, большая часть которых приурочена к Чебаково-Балахтинской впадине. Оползни в скальных породах развиваются в основном в эффузивных или туфогенных породах. Наиболее крупный оползень данного типа расположен на Быскарском участке. Это оползень блокового типа, языковой формы, длиной по водохранилищу 280 м и по оси движения 700 м. Язык оползня уходит в водохранилище. Смещение блоков проходит по подтопленным подземными водами ослабленным трещиноватым зонам.

Берега абразионно-эрозионного типа, протяженностью 39 км, распространены в зоне выклинивания водохранилища и на границах распространения подпора в крупных заливах. Береговая линия в основном стабилизирована, переработка берегов незначительна. Таков, например, левый берег Тубинского залива. Береговой склон представлен здесь уступом II надпойменной террасы т. Тубы, сложенным легкоразмываемыми супесями, подстилаемыми песчаниками карбона. Максимальное отступление берега за весь период наблюдения составило всего 2,5 м, объемная переработка — 33,3 м³ на погонный метр.

В зоне выклинивания водохранилища ведущая роль при разрушении берегов принадлежит эрозионным процессам. Эрозионные процессы здесь проявляются в основном в размыве русловых отло-

жений при низких уровнях водохранилища. В заливах, где ширина и глубина водоема не позволяют образоваться значительному волнению, ведущая роль в переработке принадлежит боковой эрозии.

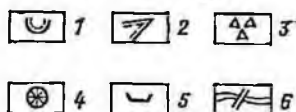
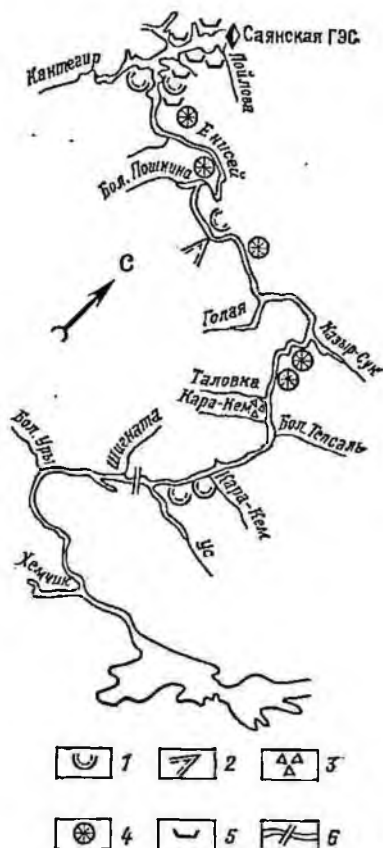
Денудационные берега распространены в основном в северной части водохранилища и приурочены к протерозойским скальным породам. Протяженность их незначительна (см. рис. 14.9). Крутизна береговых склонов достигает 40° . Сложены они крепкими эффузивными породами, с поверхности перекрытыми маломощным чехлом делювиальных образований. Отмели у таких берегов практически не сформировались и представляют собой продолжение береговых склонов. Отступания абразионного уступа не наблюдается.

Карстовые берега отмечаются лишь в районе залива Бируса в северной части водохранилища и имеют протяженность 37 км. Карстовые явления развиваются по карстующимся известнякам и доломитам нижнекембрийского возраста и приурочены в основном к участкам береговой линии с крутосклонным рельефом и скалами. Резкого, заметного увеличения карстовых процессов при эксплуатации водохранилища не отмечалось, но их развития следует ожидать в 16-метровой зоне сработки водохранилища, имеющего гидравлическую связь с карстовыми водами.

Основная часть Саянского водохранилища располагается в пределах горной системы Западного Саяна, где долина р. Енисей представляет собой каньон с крутыми берегами. Урез воды при НПУ приходится на скальные склоны, сложенные палеозойскими осадочными и изверженными породами, трещиноватыми, различной прочности и только в верховьях крупных заливов берега — рыхлыми четвертичными образованиями [38]. Обследование долины р. Енисей в пределах береговой полосы в 1971—1975 гг., до начала заполнения водохранилища, выявило несколько очагов развития оползней в скальных и рыхлых породах (в устьях рек Джой, Казыр-Сук, Хемчик, Хазе и др.). Были выявлены очаги возможного возникновения оползней при эксплуатации водохранилища. Проведенное в 1982 г. обследование берегов заполняющегося водохранилища от плотины ГЭС до выклинивания (т. е. до устья р. Ус) при максимальном подъеме воды около 150 м показало, что в первую стадию наполнения водохранилища крупными оползнями в скальных породах, которые прогнозировались ранее, не происходило (рис. 14.11). Было обнаружено несколько относительно небольших оползней-осовов в рыхлых делювиальных отложениях, представленных обломками, щебнем, дресвой с суглинчатым заполнителем. Размеры оползневых тел: длина до 50 м, ширина до 30 м, максимальная амплитуда срыва 0,5 м. Оползни имели место на крутых ($40\text{—}50^\circ$) склонах в районе устьев рек Кантегир, Ус, Абдыр. Основными крупными процессами первой стадии наполнения Саянского водохранилища следует считать сели, снежные лавины и ледовую экзарацию, которые представляют собой особенности формирования этих берегов в отличие от Красноярского водохранилища. Крупные сели наблюдались близ устья р. Абдыр. На этом участке они отмечались и до заполнения водохранилища.

Рис. 14.11. Состояние устойчивости берегов в первую стадию заполнения Саянского водохранилища (по В. С. Кусковскому, 1984 г.):

1 — оползни — осыпи в рыхлых делювиальных отложениях; 2 — оживление осыпей; 3 — сели; 4 — крупные снежные лавины; 5 — ледовая экзаркация; 6 — выклинивание водохранилища в июле 1982 г.



В приплотинной части Саянского водохранилища в первую стадию наполнения имела место значительная ледовая экзаркация. Так, в 1982 г. водохранилище подверглось глубокой сезонной сработке, достигшей 60 м (проектная — 40 м); при этом значительная ее часть пришлось на конец зимы, когда толщина льда достигала максимальной величины — 1 м и более. На повсеместно развитых здесь крутых склонах лед сломало, он сдвинулся, сломал и вырвал с корнем деревья в приурезовой части шириной около 80—100 м. Единичный вес ледяных масс в зоне сработки составлял 40—50 т, на отдельных участках ледяные глыбы вспахали крутые склоны, сложенные рыхлым делювиальным материалом.

Из изложенного следует, что разнообразные виды техногенной нагрузки привели к различным по масштабам, интенсивности и характеру изменениям геологической среды. В большинстве случаев эти изменения носят локальный характер и приурочены к промышлен-

ленным центрам, линейным сооружениям, берегам вдоль водохранилищ. Вместе с тем в ряде промышленных районов эти изменения носят комплексный характер и приобрели региональное значение.

14.2. Региональные тенденции изменения геологической среды и некоторые вопросы ее рационального использования

Реакция геологической среды на инженерно-хозяйственное воздействие в Алтае-Саянском регионе определяется основными его инженерно-геологическими особенностями и характером техногенной нагрузки, анализ которых позволил провести типизацию территории с учетом ожидаемых изменений геологической среды в связи с дальнейшим освоением региона (рис. 14.12). Прежде всего выделяют территории горно-складчатых сооружений Саяно-Саянско-Алтайского, Саяно-Алатауского, Тувинского, Западно-Саянского и Горно-Алтайского регионов. Для них характерно развитие сильно и глубоко расчлененного, крутосклонного, преимущественно средне- и высокогорного, рельефа. Долины рек глубоко врезаны, с крутыми склонами, V-образные или троговые, с незначительным развитием террасовых комплексов.

Повсеместно развиты прочные, но сложно дислоцированные, в приповерхностной зоне трещиноватые, разбитые многочисленными разломами породы метаморфических, вулканогенных, вулканогенно-осадочных, осадочных и интрузивных формаций архея, протерозоя, шужинского и среднего палеозоя, перекрытые маломощными щебнисто-глыбовыми элювиальными, делювиальными и осыпными накоплениями четвертичного возраста. Особое место занимают широко развитые в этой части Алтае-Саянского региона карбонатные породы (мраморы, известняки, доломиты). Важная особенность региона — широкое распространение многолетнемерзлых пород (как островного, так и сплошного развития), мощность которых в большинстве случаев возрастает с увеличением абсолютных высот и уменьшается под долинами.

Подземные воды имеют трещинный, трещинно-жильный и трещинно-карстовый характер. Трещинные воды приурочены к зоне выветривания горных пород; мощность ее обычно не превышает 40—50 м, и лишь на отдельных участках трещины выветривания проникают до глубины 100 м и более. Трещинно-жильные воды приурочены к зонам тектонических разломов, обильность их значительна, минерализация и химический состав разнообразны. Трещинно-карстовые воды, связанные с карбонатными толщами верхнего протерозоя и кембрия, встречаются на глубинах до 400 м и характеризуются весьма высокими притоками в строительные котлованы, тоннели, шахты и другие выработки.

Вся территория относится к области повышенной тектонической активности, для которой характерны частые землетрясения различной силы, иногда достигающие 8—10 баллов. Преобладают склоновые процессы: обвалы, осыпи, сели, снежные лавины, реже

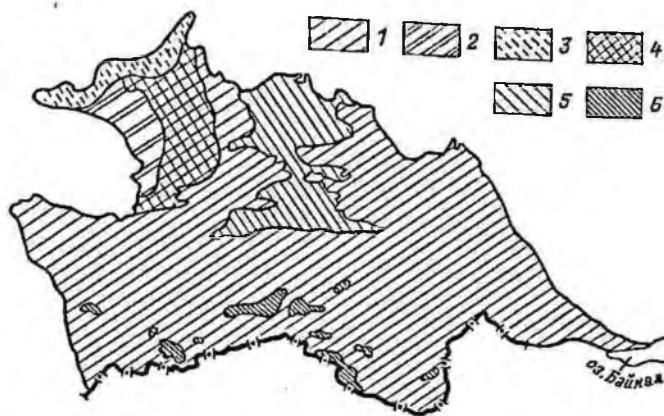


Рис. 14.12. Типизация инженерно-геологических регионов Алтае-Саянской складчатой страны по особенностям изменения геологической среды:

1 — инженерно-геологические регионы горно-складчатых сооружений (Саяно-Саянский, Саяно-Алтайский, Тувинский, Алтайский, Западно-Саянский). Инженерно-геологические регионы Салаирской и Кольвань-Томской складчатых зон; 2 — Салаирский; 3 — Кольвань-Томский. Инженерно-геологические регионы межгорных прогибов и впадин: 4 — Кузнецкий; 5 — Милусинский; 6 — межгорные впадины Горного Алтая и Тувы

оползни. Склоны долин, особенно северные, подвержены солифлюкционным процессам. В районах развития мраморов, известняков и доломитов развит карст, имеющий региональное значение в Кузнецком Алатау, Восточном Саяне и Горном Алтае. Здесь отмечаются воронки, каверны, пещеры, карстовые родники, поглощение ручьев и «ныряние» рек.

Преобладающие виды инженерно-хозяйственного использования этих районов в настоящее время — горнодобывающие предприятия, линейные сооружения, плотины Саянской и Майнской ГЭС, водохранилища, вырубка лесов. В ближайшей перспективе освоение этих регионов будет связано с дальнейшим развитием горной промышленности, строительством дорог и ЛЭП, лесозаготовительными работами. Строительство и эксплуатация рудников связаны с водопонижением и формированием локальных воронок депрессии. Рудничные воды обычно загрязняют подземные и поверхностные воды, но этот процесс носит локальный характер. При планировке промплощадок и подрезке склонов возможна активизация и возникновение различных склоновых процессов. Особое внимание следует обратить на районы развития карбонатных закарстованных пород, где необходимо учитывать возможность активизации карстовых и карстово-суффозионных процессов.

Создание крупных водохранилищ вызывает активизацию склоновых процессов: оползней, осыпей, обвалов, селей, снежных лавин. Следует отметить, что в первую стадию заполнения Саянского водохранилища крупными оползней, которые прогнозировались раньше, не произошло; абразивные процессы в этот период были весьма незначительными благодаря малой ширине водоема, невоз-

Региональные изменения геологической среды Алтае-Саянской складчатой страны

Типизация инженерно-геологических регионов по особенностям изменения геологической среды	Факторы инженерно-геологических условий, определяющие региональные изменения геологической среды
Инженерно-геологические регионы горно-складчатых сооружений (Саяно-Саянский, Саяно-Алатауский, Тувинский, Горно-Алтайский, Западно-Саянский)	Сильно- и глубокорасчлененный, крутосклонный, преимущественно средне- и высокогорный рельеф Повсеместное развитие прочных сложнодислоцированных скальных грунтов Широкое распространение карбонатных пород Повсеместное развитие многолетней мерзлоты Карстовые, склоновые процессы
Инженерно-геологические регионы Салаирской и Колывань-Томской складчатых зон	Салаирский Плоскогорный слаборасчлененный рельеф Значительное распространение карбонатных закарстованных пород Повсеместное развитие лёссовых грунтов Оврагообразование, суффозия, просадки в лёссах
	Колывань-Томский Равнинный расчлененный эрозионно-аккумулятивный рельеф Широкое развитие дислоцированных, преимущественно терригенных, формаций Сплошной покров лёссовых грунтов
Инженерно-геологические регионы межгорных прогибов и впадин	Кузнецкий Преимущественно равнинный денудационно-аккумулятивный рельеф Широкое распространение пород угленосной формации, сложно и неоднородно дислоцированных, легко выветривающихся Широкое развитие лёссовых грунтов Оврагообразование, речная эрозия, оползни, суффозионно-просадочные явления
	Минусинский Преобладание равнинного денудационно-аккумулятивного рельефа Широкое распространение прочных осадочных слабодислоцированных пород Широкое развитие суглинистых пылеватых преимущественно лёссовых отложений

Таблица 14.2

Основные виды инженерно-хозяйственного освоения	Региональные изменения геологической среды
<p>Горнодобывающая промышленность Линейные сооружения Гидроэнергетика Вырубка лесов</p>	<p>Изменение температурного режима и состояния мерзлых грунтов Активизация склоновых процессов</p>
<p>Регион освоен слабо. Разрабатываются отдельные месторождения. Имеются сельскохозяйственные угодья</p>	<p>Региональные изменения отсутствуют Возможна активизация эрозонных процессов</p>
<p>Гражданское строительство Угольная промышленность Железные дороги Зерновое и животноводческое сельское хозяйство</p>	<p>Просадки в лёссовых грунтах</p>
<p>Разработка месторождений угля Промышленно-гражданское строительство</p>	<p>Формирование техногенного рельефа Изменение режима и состава подземных вод Локальное истощение запасов и загрязнение подземных вод Подтопление городских территорий Провалы и мульды оседания над шахтами Активизация суффозионно-просадочных процессов и оврагообразования</p>
<p>Мелиорируемое земледелие, животноводство Промышленно-гражданское и дорожное строительство Разработка месторождений угля открытым способом (КАТЭК) Водоохранилища</p>	<p>Активизация суффозионно-просадочных, оползневых процессов, плоскостной эрозии и оврагообразования Вторичное засоление почв и грунтов на орошаемых массивах</p>

Типизация инженерно-геологических регионов по особенностям изменения геологической среды	Факторы инженерно-геологических условий, определяющие региональные изменения геологической среды
Межгорные впадины Горного Алтая и Тувы	Равнинный преимущественно аккумулятивный рельеф Мощные толщи четвертичных отложений, в верхней части облессованных или песчаных Пестрые мерзлотные условия Широкое развитие мерзлотных процессов

возникновения сколько-нибудь значительных волн и повсеместному развитию прочных скальных пород. В дальнейшем склоновые процессы, несомненно, активизируются, возможны крупные смещения, аналогичные известным на Красноярском водохранилище. Оживление склоновых процессов происходит и в результате подрезки склонов при линейном строительстве.

Промышленная вырубка лесов на значительных площадях имеет резко отрицательные последствия. В Западной Саяне она способствует возникновению линейного размыва: на трелевочных дорогах и по лесным вырубкам возникают овраги; для Горного Алтая отмечается усиление в аналогичных районах лавинной опасности.

Таким образом, основными факторами в горно-складчатых сооружениях Алтае-Саянского региона, определяющими региональные изменения геологической среды, являются сильно- и глубоко-расчлененный горный рельеф и широкое распространение карбонатных закарстованных пород, а региональными инженерно-геологическими процессами — склоновые, геокриологические и суффозионно-карстовые, возможная активизация которых должна учитываться при любом виде освоения региона.

Иные инженерно-геологические условия определяют характер региональных изменений геологической среды в Минусинском и Кузнецком регионах, в межгорных впадинах Алтая и Тувы. Крупные межгорные впадины характеризуются достаточно разнообразным рельефом: от денудационного низкогорного и холмисто-увалистого, холмисто-грядового до слабо расчлененного аккумулятивных равнин. В геологическом строении их ведущая роль принадлежит угленосным отложениям верхнего палеозоя и мезозоя, определяющим и целевое использование этих территорий. Значительные площади заняты также лёссовыми породами различного генезиса. Из геологических процессов региональное значение имеют формирование суффозионно-просадочных западин, оврагообразование, речная эрозия, высокая скорость выветривания алевролитов и аргиллитов угленосной формации (табл. 14.2).

Для Кузнецкого региона основной вид хозяйственного использования — разработка месторождений угля как открытым спосо-

Основные виды инженерно-хозяйственного освоения	Региональные изменения геологической среды
Земледелие, часто с применением водной мелиорации; животноводство Промышленно-гражданское строительство Разработка месторождений угля, стройматериалов	Активизация геокриологических процессов (лучение, термокарст, палеол), суффозионно-просадочных и эоловых процессов

бом, так и подземными горными выработками. Продолжительность воздействия и масштабы техногенной нагрузки привели к тому, что изменения геологической среды здесь имеют региональный характер. Во всех угленосных районах Кузбасса на больших площадях создан техногенный рельеф: сочетание крупных карьеров, лишь частично рекультивированных, провалов и проседаний земной поверхности, большого количества терриконов и плоских отвалов вокруг горных выработок. Провалы и оседания над выработанными угольными пластами приводят к деформациям наземных инженерных сооружений, расположенных на подрабатываемых территориях.

Снижение уровня подземных вод и формирование депрессионных воронок, местами смыкающихся друг с другом, привело к тому, что над шахтными полями образовались зоны дренированных пород площадью в десятки квадратных километров. Происходит сработка эксплуатационных запасов подземных вод, возникает опасность вывода из строя вблизи шахт и карьеров действующих водозаборов. Дальнейшая эксплуатация месторождений угля в Кузбассе может только усиливать эти негативные процессы, имеющие во многом необратимый характер.

Промышленно-гражданское строительство в Кузнецком регионе в районах распространения слабо проницаемых грунтов практически всегда сопровождается их обводнением, вплоть до образования техногенного водоносного горизонта и подтопления фундаментов и подземных коммуникаций. В связи с замачиванием лёссовых пород образуются крупные просадки и связанные с ними деформации сооружений. Для сельскохозяйственных районов Кузбасса характерно развитие плоскостного смыва и оврагообразования в результате распашки земель. Существующее в крупных населенных пунктах загрязнение подземных вод за счет сброса промышленных и хозяйственных вод имеет более локальный характер; наименее защищены от загрязнения водоносные горизонты аллювиальных отложений.

В Минусинском регионе разработка месторождений угля открытым способом на территории западного КАТЭКа пока не привела

к региональным изменениям геологической среды. Изменения носят локальный характер и связаны с понижением уровня подземных вод и формированием депрессионных воронок вокруг угольных разрезов.

В результате горных работ были нарушены значительные площади земель, рекультивация которых ведется неудовлетворительными темпами. Так, из общей площади плодородных земель, составляющих свыше 3800 га (Назаровский разрез), нарушено горными работами 2700 га, а рекультивировано лишь 500 га (по данным О. Н. Толстихина, Ю. А. Озерского, 1985 г.). Площадь нарушенных земель Березовского разреза составляет 1000 га, рекультивировано всего 100 га. В результате эксплуатации Березовского разреза в течение 75 лет будет нарушено свыше 6000 га земель, половина которых используется под пашню. Площади нарушенных земель КАТЭКа будут расти (рис. 14.13).

Для всей территории Минусинского региона значительную роль играет сельскохозяйственное использование ее с применением водной мелнорации, особенно в южных районах. Распашка земель способствует активизации эрозии как плоскостной, так и линейной, даже на склонах малой крутизны. Этот процесс здесь имеет региональный характер. На мелнорируемых землях отмечаются подъем уровня грунтовых вод вдоль трасс магистральных и распределительных каналов и вторичное засоление грунтов, которое происходит практически на всех орошаемых массивах. Подъем грунтовых вод может вызывать образование просадочных деформаций в районах развития лёссовых грунтов.

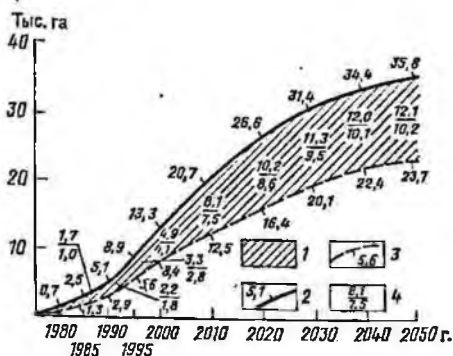
По интенсивности нагрузки на геологическую среду в Минусинском регионе большое значение имеет широкая сеть городов и крупных поселков с развитой в них разнообразной промышленностью. На многих застроенных территориях формируется техногенная верховодка и новые постоянные техногенные водоносные горизонты; в отдельных случаях происходит подтопление городских территорий.

Региональное значение имеют изменения геологической среды в зоне влияния Красноярского водохранилища. Произошедшая более чем за двадцать лет переработка его берегов привела к преобладающему формированию абразионно-обвальных и нейтральных типов берегов, занимающих почти 80 % общей протяженности береговой линии. Характерна приуроченность больших объемов переработки к берегам, сложенным легкоразмываемыми породами, в том числе и лёссовидными суглинками. В этом случае активно развиваются суффозионно-просадочные, эрозионные и оползневые процессы. Наполнение и эксплуатация Красноярского водохранилища вызвали возникновение новых и активизацию древних оползней. В дальнейшем интенсивность переработки береговых склонов Красноярского водохранилища в значительной степени будет определяться его уровенным режимом.

В связи с подпором подземных вод при наполнении водохранилища были улучшены условия водоснабжения народнохозяй-

Рис. 14.13. Нарушение и рекультивация земель первоочередными разрезами КАТЭКа (по О. Н. Толстихино, Ю. А. Озерскому и др., 1985 г.):

1 — потери земельных ресурсов; 2 — нарушаемые земли; 3 — рекультивируемые земли; 4 — потери земельных ресурсов, тыс. га (в числителе — общие, а в знаменателе — сельскохозяйственных угодий)



ственных объектов, но частично подтопленными и заболоченными оказались пониженные участки прибрежных частей берега. Характерно значительное изменение химического состава подземных вод, находящихся в зоне влияния Красноярского водохранилища, особенно в районах, сложенных загипсованными породами девона.

Таким образом, основной фактор, предопределяющий изменения геологической среды в крупных межгорных впадинах Алтае-Саянского региона, — геологическое строение: развитие здесь прочных пород палеозоя, угленосных отложений верхнего палеозоя и юры, лёссовидных четвертичных отложений. Хозяйственное освоение этих важных в народнохозяйственном отношении регионов привело к повсеместной активизации плоскостного смыва, оврагообразования, суффозионно-просадочных и оползневых явлений. Для Кузбасса региональный характер приобрел специфический техногенный рельеф, снижение уровня подземных вод в результате горных работ, провалы над выработанным пространством.

Межгорные впадины Тувы и Горного Алтая обычно представляют собой расчлененные равнины, занятые степями, рассеченные сравнительно редкой сетью рек. Сложены они мезозойскими молассами или угленосной формацией с широким развитием пролювиальных и делювиально-коллювиальных шлейфов у подножия склонов; в ряде межгорных впадин встречаются просадочные лёссовые породы в виде покровов мощностью до 6—7 м. Характерными особенностями также являются повышенная сейсмичность, близкое от поверхности залегание грунтовых вод, широко развитие многолетнемерзлых пород и связанных с ними различных мерзлотных процессов: солифлюкции, пучения, термокарста.

В пределах обширных горных сооружений Алтае-Саянского региона межгорные впадины наиболее благоприятны для многих видов хозяйственной деятельности. Здесь широко развиты животноводство и сельское хозяйство, часто с применением водной мелiorации, промышленно-гражданское строительство, разработка угольных месторождений во впадинах Тувы. Для изменений геологической среды решающее значение имеет развитие лёссовидных и многолетнемерзлых пород. Распашка земель, особенно в

предгорных районах, способствует размыву почв, образованию промоин. Водная и ветровая эрозия активизируется также в результате сведения лесов. На мелнирируемых землях отмечается повышение уровня грунтовых вод в приканальной зоне и вторичное засоление почв и грунтов. В районах близкого к поверхности залегания грунтовых вод происходит заболачивание территории. Эти процессы не являются неизбежными, они скорее результат нарушения норм и сроков полива, а также плохой изоляции дна и стенок каналов.

При промышленно-гражданском строительстве сооружений дорог в результате замачивания происходят неравномерные просадки лёссовых пород; отмечается вытаивание линз и прослоев льда в толще дисперсных мерзлых пород, пучение грунтов.

Северо-западные регионы описываемой территории — Колывань-Томский и Салаирский — в геоморфологическом отношении представляют плоскогорье или полого-увалистые эрозионные возвышенные равнины. В геологическом строении Салаирского региона существенное значение имеют закарстованные карбонатные породы. В Колывань-Томском регионе в геологическом разрезе резко преобладают терригенные породы. На водоразделах, пологих склонах и высоких террасах почти повсеместно залегают лёссовидные грунты, местами просадочные. Из геологических процессов следует обратить внимание на широкое распространение оврагов, суффозионных воронок и пещер, просадочных блюдечек, а в карбонатных породах — карста.

В связи с широким развитием легко размываемых лёссовых пород при всех видах хозяйственной деятельности следует ожидать появление таких негативных процессов, влияющих на нормальную эксплуатацию инженерных сооружений, как просадки лёссовых пород при замачивании и оврагообразование. В районах развития закарстованных карбонатных пород возможна активизация суффозионно-карстовых процессов. Относительно выровненный рельеф и развитие суглинистых отложений не исключают возможности подтопления городских территорий и заболачивания вдоль дорог. Распашка земель и вырубка лесов способствуют активизации плоскостной и линейной эрозии.

Негативные проявления техногенного воздействия на геологическую среду, выразившиеся в отрицательных изменениях инженерно-геологических условий больших территорий, как показано выше, наиболее интенсивно проявились в Кузнецком и Минусинском регионах, для которых вопросы рационального использования геологической среды особенно актуальны, прежде всего в связи с широким развитием угледобывающей промышленности. Наиболее остро стоят вопросы рекультивации нарушенных земель. Особого внимания как объекты рекультивации и резерв земель сельскохозяйственного использования заслуживают гидроотвалы, занимающие более 30 % общего объема вскрышных пород при добыче угля в Кузбассе. Гидроотвалы Кузбасса, сложенные преимущественно покровными четвертичными суглинками, относящимися к потенци-

ально плодородным грунтам, имеют ряд преимуществ по сравнению с другими объектами рекультивации: благоприятные условия увлажнения, достаточно однородный гранулометрический состав, пригодную для машинной обработки поверхность, не требующую затрат на выравнивание и другие горнотехнические операции; в них отсутствуют токсичные для растительности компоненты. Все это способствует вовлечению их в сельскохозяйственный оборот в течение 10—15 лет.

Потери земель образуют также сухие отвалы, которые занимают 48 % нарушенных территорий Кузнецкого угольного бассейна. Внешние отвалы Кузбасса сложены обычно четвертичными отложениями с небольшой примесью коренных пород (песчаников, алевролитов, аргиллитов и др.). Все они без исключения подвержены в очень сильной степени ветровой и водной эрозии. Породные отвалы создают неблагоприятные условия, усугубляющие неблагоприятную экологическую обстановку, общее санитарное состояние среды в Кузбассе, и требуют безотлагательной рекультивации.

Район, требующий особого внимания при его освоении, западная часть КАТЭКа. Охрана окружающей среды при формировании КАТЭКа — одна из главнейших народнохозяйственных и социальных задач. Создание сверхмощных тепловых электростанций, новых угольных разрезов, различных промышленных предприятий, мощных высоковольтных ЛЭП, транспортных магистралей, новых городов ведет к резкому увеличению антропогенной нагрузки на геологическую среду района. В результате изъятия земель в связи с открытой разработкой угольных месторождений, строительством водохранилищ и золоотвалов ГРЭС произойдут значительные изменения современной структуры землепользования. Строящиеся и существующие углеразрезы КАТЭКа снижают площади плодородных земель. Рекультивация, как правило, значительно отстает от темпов уменьшения сельскохозяйственных угодий при добыче угля. Страдают отрасли, давно сложившиеся и являющиеся здесь традиционными: сельское и отчасти лесное хозяйство. Огромные земельные отводы под угольные разрезы, ГРЭС и их водохранилища, объекты инфраструктуры и селитебные территории исчисляются десятками тысяч гектаров. В отчужденных площадях 80—85 % составляют сельскохозяйственные угодья, а в них пашня — в среднем 62 %. В дальнейшем расширение сельскохозяйственного земельного фонда возможно лишь за счет таежных территорий более северных районов или на более высоких уровнях [63]. Существует много путей сокращения изымаемых площадей; некоторые из них реализуются на КАТЭКе. Безотвалный способ карьерной добычи угля, например, принят как основной в проектах угольных разрезов. Площади земель, затопливаемых искусственными водоемами, будут сокращаться за счет отказа от сооружения крупных водохранилищ. Полностью пересматривается схема комплексного использования р. Чулым. Изучается возможность обеспечения будущих энергопромышленных объектов водой без сооружения на этой реке крупных регулирующих водохранилищ, созда-

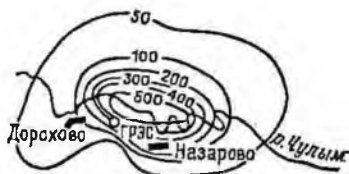
ние которых намечалось в предварительных проектных разработках. Обязательными условиями, разрешающими начало строительства, служат селективное снятие, транспортировка и хранение почвенного горизонта с последующим его использованием при рекультивационных работах.

Значительный ущерб ресурсам подземных вод КАТЭКа наносят водопонижительные мероприятия на карьерах. Важная задача — рациональное использование карьерных и дренажных вод. Расход сточных вод на производственные нужды разрезов составляет несколько процентов от общего объема сбрасываемых вод. Часть очищенных карьерных и дренажных вод, планируемых для сброса в водосмы, может служить для пополнения запасов подземных вод, а затем для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Использование карьерных и дренажных вод для искусственного пополнения грунтовых вод позволит избежать сброса в водоемы неочищенных сточных вод и увеличить запасы подземных вод вблизи действующих водозаборов.

При сжигании угля на Назаровской ГРЭС основная масса отходов сбрасывается в золоотвалы. Дно водоемов постепенно покрывается слабощементированной коркой, которая легко разрушается и пропускает сильнощелочные, богатые легкорастворимыми веществами растворы, попадающие в р. Чулым. Часть зольных веществ проникает сквозь фильтры и уносится в атмосферу, оседая впоследствии на земной поверхности. Перенос твердых аэрозолей осуществляется на расстоянии до 20 км (рис. 14.14). Наибольшее их количество оседает в пойме р. Чулым, на склонах хр. Арга и может достигать 1000 т/км² [63]. Частично аэрозоли растворяются во влаге атмосферных осадков и образуют щелочные воды с минерализацией до 200 мг/л и содержанием минеральных примесей до 3500 мг/л. В зоне наибольшего влияния дымовых выбросов Назаровской ГРЭС почвы приобретают некоторые новые свойства или усиливают уже имеющиеся. Так, для серых лесных почв приобретенным свойством является карбонатность верхнего слоя дернового горизонта; почвенные растворы становятся более минерализованными. Очевидно, что при разработке природоохранных мероприятий по другим ГРЭС КАТЭКа необходимо учитывать заложенные в их проектах решения по увеличению эффективности золоулавливающих фильтров, усовершенствованию технологии сжигания угля с целью значительного понижения содержания окислов азота.

Остро стоят вопросы засоления и заболачивания орошаемых земель региона. Большая часть орошаемого фонда сосредоточена в долинах рек Енисей, Абакан и их притоков. Наиболее рациональным для этой территории признается полив дождеванием три-четыре раза в году: осенний влагозарядковый или весенний предпосевной и один-два летних вегетационных. Это позволит только на действующих системах сократить до 40 % существующую сеть оросительных, распределительных, сбросных каналов, что выво-

Рис. 14.14. Схема рассеивания аэрозольей (в т/км² в год) по средним данным запасов их в снежном покрове за 1977—1981 гг. (по В. В. Буфалу, И. Л. Савельевой, Л. А. Турушной и др., 1983 г.)



бодит для полива до 20 % ирригационно-подготовленных земель [84]. При мелиоративном освоении районов развития лёссовидных отложений следует предусмотреть меры по укреплению дна и стенок каналов; при освоении районов, где распространены суглинистые отложения, отличающиеся низкой водопроницаемостью, для избежания переувлажнения и заболачивания территорий, а также засоления почв необходимо строго соблюдать нормы и сроки полива.

Особого внимания заслуживают вопросы охраны земельных ресурсов горных территорий, особенно Горного Алтая. Наибольшая антропогенная нагрузка в Горном Алтае приходится на районы межгорных впадин и речных долин. Здесь наблюдается сокращение площадей пахотных земель вследствие постоянного изъятия их под строительство разного рода коммуникаций.

В пределах котловины и речных долин могут быть существенно расширены площади орошаемых земель. Однако орошение следует производить с обязательным учетом количества и состава солей в почвенном профиле, в почвообразующих и подстилающих породах и характера рельефа, так как на многих участках Чуйской котловины возможны процессы вторичного засоления почв. Широко практикуемый в настоящее время способ полива по бороздам не только малоэффективен, но нередко приводит к размыванию почв, заливанию посевов и даже образованию оврагов. Необходимо применение более эффективных способов полива, например дождевания. Многолетняя практика земледелия Горного Алтая показывает, что обычная отвальная вспашка почв долины способствует дефляции и эрозии самой плодородной части. В связи с этим наиболее эффективной, вероятно, окажется безотвальная вспашка, которая предохраняет пахотный слой от эрозии, способствует накоплению влаги, защищает почвы от глубокого промерзания и т. д.

Из изложенного следует, что для уточнения прогнозов изменения геологической среды, выработки рекомендаций по управлению ее состоянием и свойствами весьма срочной и актуальной задачей становится организация в регионе системы мониторинга, как на региональном, так и, особенно, на локальном уровнях. При организации службы мониторинга должны быть учтены особенности строения геологической среды и техногенной нагрузки на нее. Пункты режимных наблюдений должны быть расположены как в регионах, промышленно освоенных (Кузнецком, Минусинском), так и в тех, промышленное освоение которых только еще начинается.

Часть вторая ЗАБАЙКАЛЬЕ

ВВЕДЕНИЕ

К Забайкалью относится горный пояс Южной Сибири и Дальнего Востока от Тункинской котловины и оз. Байкал на западе до бассейна р. Бурей на востоке и от Патомского нагорья и Станового хребта на севере до Государственной границы на юге. В административном отношении Забайкалье включает Читинскую и Амурскую области, почти всю Бурятскую АССР, часть Иркутской области и небольшую часть Хабаровского края РСФСР. Площадь региона в данных границах составляет около 2 млн. км².

Природа этой территории характеризуется следующими общими чертами: преимущественно горным сильно пересеченным рельефом; исключительно широким распространением кристаллических горных пород, особенно гранитоидов; высокой сейсмичностью (6—10 баллов); суровым, резко континентальным климатом, обуславливающим глубокое сезонное промерзание грунтов; широким распространением многолетнемерзлых горных пород, играющих существенную роль в формировании инженерно-геологических особенностей региона.

В экономическом отношении регион развит еще слабо и мало населен, особенно северные его районы. Основные отрасли экономики Забайкалья — горнорудная, лесодобывающая, транспортная и строительная, а также сельскохозяйственные и агропромышленные предприятия. Однако роль Забайкалья в экономике страны непрерывно возрастает. Здесь осуществляются крупные региональные программы: строительство Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, развитие тяжелой, легкой и пищевой промышленности, электроэнергетики, судостроения (г. Благовещенск) и др. Главный промышленный потенциал территории представляют ее минерально-сырьевые ресурсы. В недрах Забайкалья имеются большие запасы бурых и каменных углей, железных и полиметаллических руд, золота, меди, слюды, асбеста, плавикового шпата и других полезных ископаемых. Большую ценность представляют источники минеральных и термальных вод, используемые пока недостаточно. Уникальное богатство края — оз. Байкал — величайшее в мире хранилище пресной воды.

Завершение строительства Байкало-Амурской магистрали знаменует начало осуществления многоцелевой народнохозяйственной программы по интенсификации развития производительных сил Северного Забайкалья и Приамурья. Эти районы обладают богатыми минеральными ресурсами. Их успешное освоение требует

дальнейшего развития транспортной сети, строительства горнообогатительных комбинатов, гидроэлектростанций, новых поселков и городов. На основе минерально-сырьевой базы в зоне БАМ формируются новые территориально-производственные комплексы и промышленные узлы. Однако наращивание минерально-сырьевой базы будет осуществляться не только за счет освоения новых месторождений, но и за счет более полного использования уже освоенных, расположенных в южных районах Забайкалья с более благоприятными экономико-географическими условиями.

Проблемы комплексного освоения природных ресурсов и развития производительных сил Забайкалья изложены в программе «Сибирь» СО АН СССР, где важное место занимают вопросы рационального использования и охраны природной среды. Проблемы охраны природы и рационального использования ее ресурсов в Забайкалье приобретают большую остроту в связи с особой ранимостью его природы и особым режимом природопользования в бассейне оз. Байкал.

Успешное хозяйственное освоение Забайкалья возможно лишь на основе глубоких и всесторонних знаний о природных особенностях территории и, прежде всего, о ее инженерно-геологических условиях, определяющих принципы и способы строительства различных сооружений с учетом требований рационального использования и охраны геологической среды и научного прогноза изменения этих условий под влиянием производственного освоения территории.

В инженерно-геологическом отношении Забайкалье изучено относительно хорошо, хотя и неравномерно. Впервые инженерно-геологические исследования здесь были выполнены в конце XIX — начале XX вв. для обоснования проекта строительства Транссибирской железной дороги. После Великой Октябрьской социалистической революции инженерно-геологические исследования в регионе проводились в связи с разведкой и эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, строительством Амуро-Якутской автомагистрали, железной дороги Улан-Удэ—Наушки и др.

В годы первой пятилетки встал вопрос о строительстве железной дороги к северу от главной Сибирской магистрали — Байкало-Амурской магистрали (БАМ). До 1942 г. была обследована площадь пятнадцатикилометровой полосы на всем протяжении намеченного варианта трассы и вдоль соединительных линий от Транссибирской магистрали: БАМ—Тында и Известковая—Ургал. По результатам изысканий в 1945 г. в Комсомольске-на-Амуре была издана книга (технический проект) под названием «Байкало-Амурская магистраль». В ней содержится богатый проектно-изыскательский материал, не потерявший своего значения и сегодня. К сожалению, начавшаяся Великая Отечественная война надолго прервала осуществление этого проекта.

В послевоенное время — в 50-х — начале 60-х годов наиболее значительные инженерно-геологические исследования были прове-

дены Ленинградским отделением института Гидропроектим. С. Я. Жука с целью составления схемы гидроэнергетического использования рек Бодайбо, Мамакан, Витим, Зея, Буряя и Амур. В верхнем течении Амура работы проводились совместно с экспедицией геологического факультета МГУ. Результаты этих исследований опубликованы в монографии: «Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика долины верхнего Амура» (1962 г.).

В 60-х — начале 70-х годов, в связи с намечавшимся освоением Удоканского медного месторождения, инженерно-геологические и геокриологические исследования были проведены в Кодаро-Удоканском районе, в результате которых получены ценные материалы об условиях строительства в северном Забайкалье. В 1964—66 гг. Институтом земной коры СО АН СССР проведены исследования в Прибайкалье, значительно расширяются геокриологические исследования, выполнявшиеся Институтом мерзлотоведения СО АН СССР.

Широкий и разносторонний характер инженерно-геологических исследований этого периода позволил создать ряд сводных работ и монографий, среди которых следует назвать: «Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири» (В. П. Солоненко, 1960), «Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового нагорья» (1966), «Инженерная геология Прибайкалья» (1968), «Инженерно-геологические условия Центрального и Восточного Забайкалья» (В. П. Портнова, 1976) и др. Наиболее полно инженерно-геологические условия Забайкалья были отражены в многотомных монографиях: «Гидрогеология СССР», т. 19, 21, 22, 23 (1968—1971) и «Инженерная геология СССР», т. 3, 4 (1977), созданных на основе обобщения фактического материала, накопленного к тому времени.

С 1967 г. возобновились инженерно-геологические изыскания по трассе БАМ. Это было вызвано тем, что за более чем двадцатилетний период, прошедший со времени составления технического проекта (1945 г.), изменились нормы и технические условия проектирования дорог, а также требования к содержанию инженерно-геологических материалов. Поэтому проектирование магистрали по существу пришлось вести заново. В течение 1967—1975 гг. по всей трассе были выполнены инженерно-геологическая съемка масштаба 1 : 25 000—1 : 5000 и разведочные работы под отдельные сооружения. Несмотря на то, что эти исследования проведены на ограниченной по ширине площади, они дают богатый материал об инженерно-геологических условиях трассы. Уникальные материалы по инженерной геологии БАМ получены при проходке Байкальского, Мысовых, Северо-Муйского, Кодарского и Нагорного тоннелей.

Строительство Байкало-Амурской железной дороги и намеченные планы освоения территории, прилегающей к магистрали, явились мощным стимулом для широкого развертывания инженерно-геологических исследований зоны освоения БАМ. Исследованиями была охвачена вся территория зоны площадью около 1,5 млн км². В этих работах принял участие большой коллектив исследователей

производственных геологических объединений Мингео СССР, а также ВСЕГИНГЕО, МГУ и других организаций. Исследования особое внимание уделялось изучению современных экзогенных геологических процессов. В результате этих работ составлен комплект мелкомасштабных инженерно-геологических и мерзлотно-гидрогеологических карт, охватывающих всю территорию зоны БАМ, и написано множество статей и обобщающих работ широкого инженерно-геологического содержания.

Таким образом, в результате исследований самого последнего времени сведения по региональной инженерной геологии Забайкалья, приводимые в монографии «Инженерная геология СССР» (т. 3, 4), значительно дополнены и расширены.

Раздел IV ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ

Геолого-структурное районирование. Забайкалье включает в полном объеме или частично четыре разновозрастные складчатые области: позднеархейскую — Становую, позднепротерозойскую — Байкальскую, раннепалеозойскую — Селенгино-Яблоновую и палеозой-мезозойскую — Монголо-Охотскую. Крупный самостоятельный структурный элемент земной коры на юго-востоке региона — Буренский массив, который вместе с Аргунским массивом представляют северный выступ Китайской платформы. Эти крупные структурно-тектонические единицы в свою очередь состоят из ряда структур второго и третьего порядков (складчатых систем, массивов, прогибов и т. д.), отличающихся составом геологических формаций, характером проявления складчатости, магматизма, метаморфизма и т. п.

На площади Селенгино-Яблоновой области и Монголо-Забайкальской складчатой системы¹ размещаются зоны тектоно-магматической активизации мезозойского времени — вулканические пояса и впадины забайкальского типа; на территории Байкальской складчатой области — структуры кайнозойского этапа тектонической активизации — рифтовые впадины байкальского типа (рис. 15.1).

¹ Под Монголо-Забайкальской складчатой системой подразумевается юго-западная половина Монголо-Охотской области, за восточной ее половиной закрепилось название «Амуро-Охотская складчатая система».

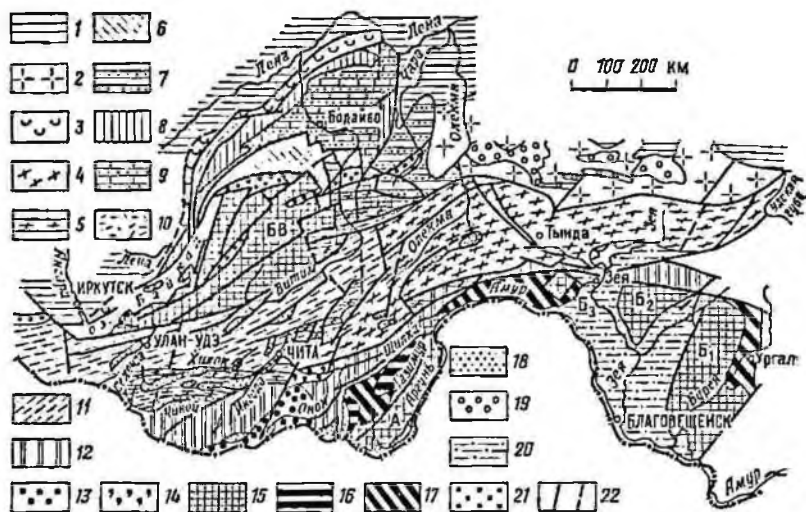


Рис. 15.1. Схема геолого-структурного районирования Забайкалья (по В. А. Амантову и др. [14], с изменениями):

1—3 — Сибирская платформа (1 — плита, 2 — Алданский щит, 3 — краевые прогибы); 4 — Становая складчатая-глыбовая область; 5 — выступы становид в более молодых складчатых областях, переработанные; 6—10 — Байкальская складчатая область (6 — Байкало-Витимская складчатая система, 7 — Кодаро-Удоканская складчатая система, 8—9 — Байкало-Патомская складчатая система (8 — Чульско-Тондосо-Нечерское поднятие, 9 — Бодайбинский прогиб); 10 — Актитканский вулканоген); 11 — Селенгино-Яблоновая складчатая область; 12—14 — Монголо-Охотская складчатая область (12 — геосинклинальные зоны и краевые поднятия, 13—14 — межгорные прогибы; 13 — палеозой-мезозойские, 14 — мезозойские); 15 — массивы: А — Аргунский, Б — Буренский (Б₁ — Хингано-Буренский или Тураинский), Б₂ — Мамынский, Б₃ — Гонжинский выступы массива); БВ — Баргузино-Витимский; 16—17 — пригеосинклинальные прогибы на окраинах массивов (16 — палеозойские, 17 — мезозойские); 18—21 — интрузивные (тафрозенные) впадины: 18 — забайкальского типа, 19 — южноякутского типа, 20 — Амуро-Зейская и Верхисейская, 21 — рифтовые байкальского типа); 22 — разломы установленные следа и предполагаемые справа

ГЛАВА 15 ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Архей-раннепротерозойский этап. Складчатые области Забайкалья возникли на месте геосинклинальных систем, заложившихся на раздробленном архейском фундаменте Становой области, Сибирской и Китайской платформ. Начало формирования их было положено расчленением в раннем протерозое архейского фундамента системой глубинных разломов на крупные блоки. Одни из них, с преобладающей тенденцией к опусканиям, дали начало геосинклинальным прогибам, другие, с тенденцией к поднятиям, — стали ядрами или внутренними массивами складчатых систем.

Архейские толщи, слагающие эти структуры, отличаются однообразием состава. Среди них преобладают гнейсы и кристаллические сланцы с горизонтами кварцитов, амфиболитов, мраморов и кальцифиров. Повсеместно в них проявлены гранитизация и миг-

матизация. В целом архейская история в регионе характеризуется общей высокой подвижностью земной коры, разнохарактерным и интенсивным метасоматизмом, гранитообразованием и сложными деформациями.

С распадом архейской коры на блоки в раннем протерозое по северной окраине Баргузино-Витимского массива формируется Байкало-Витимская геосинклиналь, приуроченная к зоне глубинных разломов. В раннем протерозое здесь происходило накопление эффузивных, пирокластических и терригенных пород, составляющих вулканогенно-осадочную формацию, общая мощность которой достигает 10—12 тыс. м.

К востоку, между структурами Алданского щита и складчатой областью байкалид, закладывается Кодаро-Удоканский прогиб (авлакоген, по Л. И. Красному), в котором шло накопление преимущественно терригенных морских осадков. Выполняющая прогиб нижнепротерозойская толща (удоканская серия) имеет мощность 10—14 тыс. м и представлена в основном песчаниками и алевролитами с прослоями карбонатных пород. Одновозрастные с ними образования выделяются в Чуйско-Тонодской и Нечерской зонах Байкало-Патомской складчатой системы. Раннепротерозойский возраст имеют также метаморфические комплексы Баргузино-Витимского массива, Селенгино-Яблоньской области, Аргунского и Бурейского массивов. С ранним протерозоем связано и заложение Аkitканского вулканического пояса, в котором сформировалась мощная (до 4 тыс. м) толща вулканитов рполитового состава, вмещающая одновозрастные интрузии гранитоидов.

В раннем протерозое выделяется несколько эпох складчатости, магматизма и метаморфизма. В результате регионального метаморфизма осадочные и вулканогенные породы были превращены в гнейсы и кристаллические сланцы. Относительно слабо метаморфизованными (до зеленосланцевой фации) остались толщи терригенной удоканской и вулканогенной аkitканской серий. Глубокие в целом преобразования пород нижнего протерозоя не имели себе равных в последующие этапы геологического развития.

Рифей-раннепалеозойский этап. Внедрением крупных интрузий гранитоидов заканчивается формирование нижнепротерозойского яруса и оформляются основные структуры Забайкалья. Территория испытывает общее поднятие и денудацию. Однако уже в начале позднего протерозоя (рифее) движения положительного знака сменились погружениями, восстановившими, хотя и в несколько иных границах, многие прогибы, существовавшие в конце раннего протерозоя. Лишь Становая область начиная с раннего протерозоя и во все последующее время развивалась как структура сводово-глыбового типа, испытывая перманентно поднятие, размыв и внедрение интрузий различного возраста и состава.

Рифейские и нижнекембрийские отложения на территории всего Забайкалья имеют определенные черты сходства в формационном отношении. Господство карбонатного или терригенно-карбонатного осадконакопления составляет характерную особенность

этого времени. Наиболее полно оно представлено мощной терригенно-карбонатной толщей в Байкало-Патомской складчатой системе (патомская серия).

Такой характер седиментации сохранялся на протяжении всего кембрия.

На территории Агинского прогиба Монголо-Забайкальской системы в раннем кембрии происходило накопление вулканогенно-терригенных отложений, где они вместе с рифейскими образованиями составляют единую вулканогенно-терригенную формацию мощностью до 10 тыс. м (ононская серия). Карбонатные породы для этой толщи не характерны. Разрезы терригенно-карбонатных толщ наиболее полны в Приаргунье. Самая представительная среди них — быстринская свита известняков и доломитов мощностью до 3500 м. Терригенно-карбонатное осадконакопление в позднем протерозое и раннем кембрии происходило также в восточной части Бурейского массива (чагойнская и мельгинская свиты).

Тектонические движения и складчатые процессы конца кембрия имели исключительно большое значение во всей последующей геологической истории региона, так как в это время была оформлена в основных чертах складчатая структура байкалид и каледонид и они, став областью завершенной складчатости, превратились в гористую сушу. Тектогенез сопровождался активной магматической деятельностью. С внедрением интрузий связаны процессы регионального и контактового метаморфизма рифейских и кембрийских отложений. Степень метаморфизма этих отложений крайне неравномерна. На территории Забайкалья известны как весьма слабо измененные породы рифея и кембрия, так и глубокометаморфизованные — вплоть до кристаллических сланцев и гнейсов. Наиболее типична для отложений этого возраста зеленосланцевая фация метаморфизма.

Средний-поздний палеозой. Орогенные тенденции в конце кембрия, в ордовике и силуре охватили почти целиком территорию Забайкалья. Геосинклинальные прогибы в это время сохранились только на востоке Монголо-Охотского пояса (Омутнинский и Мамынский прогибы), где происходило накопление преимущественно терригенных толщ (кварцитовидные песчаники, гравелиты с прослоями известняков и кремней). Этот отрезок времени ознаменовался интенсивным интрузивным магматизмом. Интрузии гранитондов образуют четыре крупных плутонических ареала: Селенгино-Яблоновый, Баргузино-Муйский, Приаргунский и Бурейский.

В девоне произошла значительная перестройка геологической структуры Забайкалья. В Монголо-Охотской области возникают обширные прогибы и геосинклинальные поднятия, по окраинам Аргунского и Бурейского массивов закладываются окраинные (пригеосинклинальные) прогибы.

Геосинклинальные прогибы Монголо-Охотского пояса (Даурский, Восточно-Агинский, Янканский, Соктаханский) характеризуются кремнисто-терригенным осадконакоплением, протекавшим в обстановке интенсивной вулканической деятельности. В карбоне

осадконакопление в этих прогибах продолжалось, причем происходит усиление вулканизма. В Агинской и Борщевочной зонах отложения этого возраста представлены терригенно-вулканогенно-карбонатными толщами (уртуйская свита).

Активная седиментация осуществляется в окраинных (пригеосинклинальных) прогибах — Газимурском и Верхнеамурском (Ольдойском). Ведущая роль в них принадлежит терригенной и карбонатно-терригенной формациям. В среднекаменноугольное — пермское время происходило значительное накопление морской молассы в Борзинском и Чиронском прогибах Монголо-Забайкальской системы.

Общее поднятие значительной части территории Забайкалья в позднем палеозое завершилось складчатостью и внедрением интрузий гранитоидов. Сформировались крупные гранитоидные плутоны в Даурской, Газимурской, Ундинской зонах южного Забайкалья и на Бурейском массиве; внедрились интрузии габбро- и плагиогранитов вдоль южной окраины Тукурингра-Джагдинской зоны; стала ареной интенсивного вулканизма Селенгино-Яблоновая область.

Для палеозойских отложений более резко проявился неравномерный метаморфизм, связанный главным образом с контактовым воздействием интрузий. Отмечаются зоны расланцевания и повышенного метаморфизма пород вдоль крупных разломов. В целом региональный метаморфизм пород среднего и верхнего палеозоя не выходит за пределы стадии глинистых сланцев и филлитов.

Мезозойский этап. К началу мезозойской эры Байкальская складчатая область представляла собой горную, значительно денудированную местность, накопление осадочных или вулканогенных толщ в мезозое здесь происходило на очень ограниченных участках. Существенно иной была тектоническая обстановка в пределах Селенгино-Яблоновой складчатой области, где возник своеобразный подвижный пояс, продолжавшийся далее на северо-восток в пределы Становой области. В нем происходили интенсивные тектонические движения и вулканизм, сопровождавшиеся внедрением интрузий гранитоидов. В течение триаса и юры здесь сформировались вулканогенные толщи базальт-андезит-липаритовой формации мощностью до нескольких тысяч метров. Вместе с комагматичными интрузиями гранитоидов они тяготеют к глубинным разломам северо-восточного простирания.

В Монголо-Охотском поясе этапу интенсивного вулканизма Селенгино-Яблоновой области соответствует накопление морских осадков. Отложения триаса, нижней и средней юры здесь представлены морскими, прибрежно-морскими и континентальными образованиями преимущественно терригенного состава. Главнейшие площади их распространения — Восточно-Забайкальский, Верхнеамурский, Бурейнский и Джагдинский прогибы. Образованием верхнегазимурской молассы (конгломераты, песчаники) завершается ранне-среднеюрская стадия развития южного Забайкалья. В отличие от последнего в Верхнеамурском и Бурейском

прогибах, а также на площади современной Амуро-Зейской впадины осадконакопление продолжалось в течение всей юры. Основной разрез юры здесь представлен чередованием песчаников и алевролитов с прослоями конгломератов и признаками угленосности в верхах разреза.

В позднелюрско-раннемеловое время происходит активизация тектонических движений, формирование Даурского, Шилкинского-Аргунского, Тукурингра-Джагдинского, Туранского и других сводовых поднятий, сопровождавшихся интенсивным гранитным плутонизмом и вулканической деятельностью. С этого времени различия в тектоническом режиме Селенгино-Яблоновой и Монголо-Забайкальской складчатых систем стираются. Вулканические процессы здесь завершились образованием зон погружения земной коры, в пределах которых сформировались грабенообразные впадины забайкальского типа. Они приурочены к той же системе разломов, которые ранее служили каналами излияния эффузивов. В позднелюрское-раннемеловое время в них происходит накопление угленосной формации, среди которой известны мощные пласты бурых углей.

Конец раннего—начало позднего мела на территории Селенгино-Яблоновой и Монголо-Забайкальской складчатых систем характеризуется накоплением вдоль бортов впадин грубообломочных отложений — конгломератов и фангломератов, свидетельствующих об обстановке интенсивных тектонических движений того времени. С ними связано развитие надвигов, по которым кристаллические породы прилегающих хребтов надвинуты на юрско-меловые отложения впадины с амплитудой до нескольких километров. Примерно к этому же времени относится развитие надвигов в зоне Станового разлома и надвигов в зонах Южно- и Северо-Тукурингрских разломов, ограничивающих хребет Тукурингра-Джагды.

Накоплением грубообломочной молассы и оформлением мощных надвигов завершается мезозойский этап развития западной части региона. На востоке региона происходило дальнейшее формирование Амуро-Зейской впадины. Возникшие в Зее-Селемджинском междуречье отдельные грабены, образованию которых предшествовал интенсивный вулканизм, в меловое время объединяются в единый Амуро-Зейский прогиб. Особые структуры раннего мела на восточной окраине Буренинского массива — Тырминская, Ургальская и Огоджинская впадины, возникшие в пределах Буренинского мезозойского прогиба. В раннемеловое время они продолжали заполняться терригенными угленосными осадками.

Осадки позднемелового времени наиболее полно представлены на площади Амуро-Зейской молодой плиты отложениями цагайинской и кивдинской свит. Грубообломочные породы в основании разреза этой толщи выше по разрезу сменяются песками, алевролитами и глинами с пластами и линзами бурых углей.

Палеоген-раннеплиоценовый этап. В конце мелового времени процессы тектонической активизации прекратились и на всей территории Забайкалья установился спокойный тектонический режим.

В условиях относительного тектонического покоя и теплого влажного климата происходило денудационное выравнивание рельефа и формирование коры выветривания каолинового типа. Раннепалеогеновое осадконакопление продолжалось только в пределах Амуро-Зейской плиты, где оно представлено угленосными отложениями райчихинской и мухинской (сукромлиинской) свит.

Спокойное тектоническое развитие Забайкалья продолжалось до эоценового времени включительно. В олигоцене и раннем миоцене происходит активизация тектонических движений, следствием которых явилось образование Байкальского (Саяно-Байкальского) сводового поднятия. В осевой его части возникают прогибы — прообразы впадин байкальского типа. В этих впадинах в течение миоцена и раннего плиоцена за счет размыва и переотложения кор выветривания формировались терригенные толщи, содержащие пласты бурых углей (танхойская свита).

Литологический и минеральный состав миоценовых отложений Прибайкалья позволяет сопоставить их с так называемой «белесой» или кангильской свитой Восточного Забайкалья [67]. Эти отложения приурочены к днищам долин крупных рек и мезозойских впадин и представлены гравелистыми песками, алевритами и глинами мощностью до 140 м. В составе глинистой фракции «белесой» свиты характерно присутствие каолинита аллохтонного происхождения, указывающего на образование толщ за счет перебива и переотложения кор выветривания каолинового типа.

По времени накопления танхойских отложений Прибайкалья и «белесой» толщи Центрального Забайкалья в Амуро-Зейской впадине им соответствуют отложения бузулинской и сазанковской свит. Отложения эти представлены каолинсодержащими песками, алевритами и глинами с пластами бурых углей и углистых глин. По фациальной обстановке (каолинсодержащие пески, глины) можно предположить, что развитие Верхнезейской впадины в олигоцен-миоценовое время происходило аналогично Амуро-Зейской впадине. Отложения этого времени вероятны также в наиболее погруженных частях Верхне-Урканской и Уруша-Ольдойской впадин.

С миоцен-раннеплиоценовой стадией развития региона и формированием Байкальского сводового поднятия были связаны извержения базальтовых лав, продолжавшиеся также в плиоценовое и четвертичное время вплоть до голоцена.

Плиоцен-четвертичный этап. Плиоценовая эпоха ознаменовалась резким изменением всей природной обстановки Забайкалья. Изменились палеоклиматические условия и, соответственно, характер процессов выветривания и осадконакопления, значительно активизировались тектонические движения.

В Прибайкалье с середины плиоцена произошло резкое усиление и дифференциация тектонических движений, сопровождавшихся погружением впадин байкальского типа и воздыманием окружающих их горных хребтов, образующих Байкальскую рифтовую зону. Плиоценовые осадки здесь представлены фациально изменчивыми отложениями, выделяемыми в Туинской впадине под на-

званием «охристой» свиты из-за насыщенности ее пород гидроокислами железа. Активизация тектонических движений и развитие рифтовой системы сопровождалась вулканическими извержениями. Наиболее интенсивными они были на крайних флангах рифтовой зоны — в хребтах Хамар-Дабан, в верховьях р. Джиды, в Тункинской котловине, на хребте Удокан и на Витимском плоскогорье. В это же время начинают излияния лав в пределах Хэнтэй-Чжонгского нагорья. Продукты извержений представлены базальтами, образующими обширные покровы.

В Юго-Западном и Центральном Забайкалье, а также на Байкало-Патомском нагорье и юге Витимского плоскогорья, испытавших менее интенсивные тектонические деформации, плиоценовые образования представлены красноцветными корами выветривания и продуктами ее недалекого переотложения — делювиальными и пролювиальными фациями. Среди них преобладают красноцветные глины, суглинки и супеси, реже встречаются пески и галечники.

Плиоцен-раннечетвертичная стадия осадконакопления в Амуро-Зейской впадине представлена отложениями белогорской свиты, известными во всех впадинах Приамурья. Существенное значение в составе белогорской свиты имеют разнозернистые пески с прослоями гравийников, галечников и глин. При этом в центральной части впадины преобладают песчаные осадки с прослоями глин, в то время как вдоль восточного и северного ее обрамления — песчаные, гравийные и галечные. Это обстоятельство свидетельствует о достаточно расчлененном горном характере внешнего обрамления Амуро-Зейской и других впадин Приамурья. Состав, строение и размещение плиоценовых осадков показывают, что наблюдаемая ныне общая морфоструктурная картина Забайкалья и характер рельефа в основных своих чертах определились к концу плиоцена. К этому времени в результате особенно интенсивного темпа опускания возник единый глубоководный Байкал почти в современных очертаниях и все крупнейшие впадины Байкальской системы [47].

Начало четвертичного периода в Забайкалье явилось важным рубежом в развитии климата, ландшафтов и осадконакопления. Отмечается прогрессивное похолодание и усиление континентальности климата. Тектоническая обстановка в целом существенно не меняется, хотя в Байкальской рифтовой зоне активность тектонических процессов продолжала нарастать, обуславливая дальнейшее поднятие горных хребтов, углубление и разрастание межгорных впадин. Возникают и развиваются новые впадины — эмбриональные формы рифтовых впадин. Тектонические движения, как и в неогене, сопровождаются вулканической деятельностью. Состав вулканических извержений и участки их проявления были унаследованы с плиоцена.

В Приамурье в раннечетвертичное время заканчивается формирование белогорских отложений и во всей этой области отмечается проявление инверсионных процессов, врезание рек и формирование речных террас.

Важнейшим событием в геологической истории Забайкалья было четвертичное оледенение. Оно носило горно-долинный характер и охватывало территорию площадью до 300 тыс. км² (рис. 15.2). Наиболее мощными ледники были в горах Прибайкалья и на юго-восточных склонах хребта Джугджур. Длина ледников достигала 75—120 км при мощности льда до 500—700 м. В результате экзарационной деятельности ледников горы приобрели резкий альпийский облик, древние эрозионные долины были переработаны в ледниковые долины—троги с характерной корытообразной формой. У окончания троговых долин ледники оставили мощные конечно-моренные образования, сложенные толщей несортированных валунно-глыбовых образований.

В перигляциальной зоне осадконакопление происходило под сильнейшим воздействием холодного климата. Резко активизировались процессы морозного выветривания. В условиях резко континентального климата и усиления меридиональной (антициклональной) циркуляции атмосферы усилились эоловые процессы. С открытием бесчисленных пространств песчаные продукты выветривания выдувались, переносились в южном направлении и аккумуляровались на наветренных склонах хребтов (рис. 15.3). Впоследствии они сносились со склонов в днища долин и впадин, неоднократно перерабатывались и переоткладывались речными потоками и озерами, формируя своеобразную полигенетическую песчаную формацию эолового генезиса. Обычная мощность плейстоценовой песчаной толщи 50—100 м, максимальная у юго-восточных бортов впадин — 150—200 м и более.

Начало оледенения и накопления песчаных толщ совпало, а вероятнее всего предвлялось развитием многолетней мерзлоты, сковавшей толщи горных пород в Забайкалье на глубину до 200—300 м и более. Следует, однако, отметить, что происходившие в плейстоцене и голоцене значительные изменения климата, обусловившие частые смены теплых и холодных (ледниковых) эпох, приводили к частичному, а местами (на равнинах и в низкогорье южных районов Забайкалья) к полному протаянию многолетней мерзлоты и ее новообразованию в эпохи похолодания. Флуктуации климата, уменьшение и увеличение мощности криолитозоны оказали существенное влияние на развитие трещиноватости горных пород — формирование значительной по мощности зоны криогенной трещиноватости.

Характерная особенность эпохи позднего плейстоцена и голоцена — образование в южных районах Забайкалья лёссовидных пород. Они возникли в результате эпигенетического преобразования (облессования) мелкозема различного происхождения.

Голоценовое время в Забайкалье не было периодом тектонического покоя. Об этом свидетельствуют следы грандиозных сейсмических катастроф недавнего геологического прошлого (сотни, тысячи лет). Многочисленные крупные сейсмодислокации выявлены в Байкальской рифтовой зоне, в хребтах Становом, Джугджур, Турунгра-Джагды, в Хэнтэй-Чикойском нагорье, Гусиноозерской

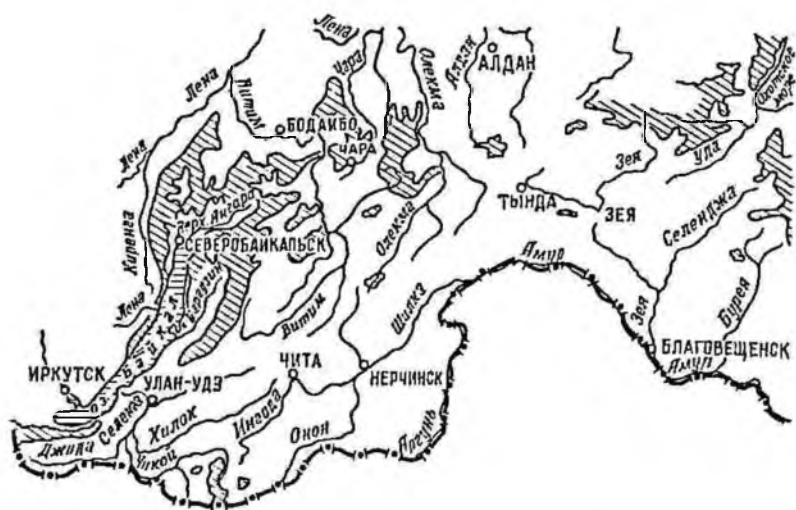


Рис. 15.2. Площади плейстоценового горно-долинного оледенения

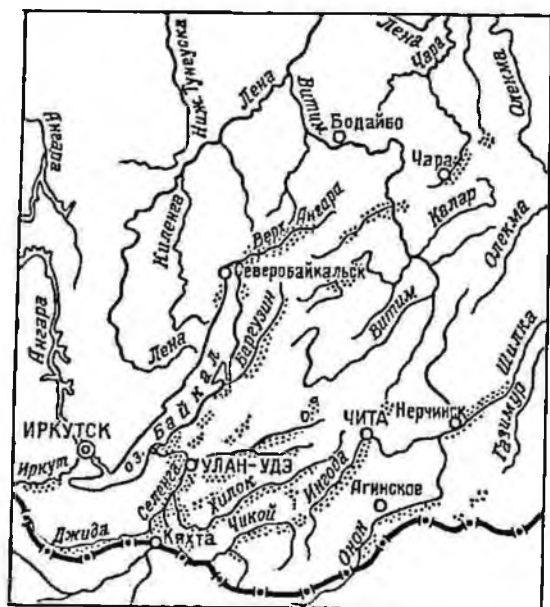


Рис. 15.3. Площади распространения плейстоценовых полигенетических песков

впадине и других местах [18, 26, 75 и др.]. В голоцене имела место новая вспышка вулканических извержений в пределах хребта Удокан, на Витимском плоскогорье, в Тункинской впадине и бассейне р. Джиды. Наиболее интенсивными они были на Витимском плоскогорье, где насчитывается до 12 хорошо сохранившихся вулканов.

Важнейшие инженерно-геологические особенности Забайкалья определяются тем, что оно включает разновозрастные геологоструктурные элементы, сложенные различными по физико-механическим свойствам горными породами, оказывающими существенное влияние на устойчивость сооружений, а также на развитие разнообразных геологических процессов.

16.1. Основные закономерности пространственной приуроченности и строения горных пород

При всем многообразии формационного состава и возраста преобладают в регионе метаморфические и интрузивные породы, а среди последних особенно широко распространены гранитоиды. Площадь распространения нормальноосадочных (не метаморфизованных или слабо метаморфизованных) пород, за исключением рыхлых отложений четвертичного возраста, незначительна и в общем не превышает 15—20%. Доля нормальноосадочных пород возрастает от древних к более молодым структурно-тектоническим элементам территории — наибольшая в пределах Монголо-Охотской складчатой области. Доля же метаморфических пород, степень их метаморфизма и насыщенность территории гранитоидами возрастают от более молодых к более древним структурам — наибольшая в пределах Становой и Байкальской областей, а также в выступах фундамента Буреинского массива (рис. 16.1).

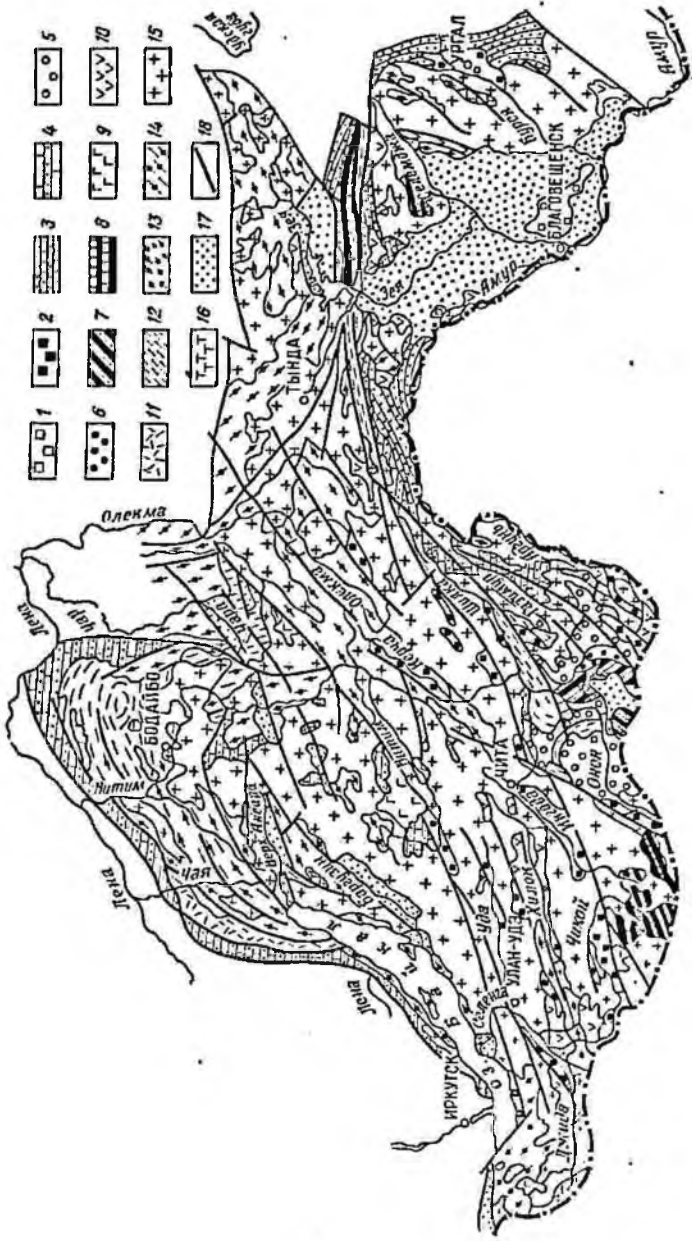
Среди рыхлых четвертичных отложений в регионе наиболее широко распространены аллювиальные отложения, а также толщи плейстоценовых полигенетических песков.

Ниже приводится краткая инженерно-геологическая характеристика наиболее распространенных в регионе формаций и стратиграфо-генетических комплексов горных пород.

Группа метаморфических формаций. Среди формаций этой группы различаются толщии пород, метаморфизованные в фации зеленых сланцев, и толщии глубокометаморфизованных пород амфиболитовой и гранулитовой фаций.

Комплекс пород зеленосланцевой фации метаморфизма представлен широким набором формаций нижнепротерозойского, рифейского и нижнекембрийского возрастов.

Большое разнообразие пород и изменчивость степени метаморфизма обуславливают различия их физико-механических свойств. Среди них присутствуют как очень прочные породы (метапесчаники, кварциты, метаэффузивы, мраморизованные известняки и доломиты), так и малопрочные (сланцы, филлиты, углистомы), и глинистые, углисто-карбонатные породы и др.). Главная отличительная особенность пород, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации, — интенсивное проявление сланцевого кли-



коры выветривания мощностью до 10—30 м и более. Особенно широкое распространение они получили в Прибайкалье, Становом и Туранском хребтах.

Формации гранитоидов. Группа этих формаций включает гранитоиды архейского, протерозойского, палеозойского и мезозойского возрастов. Они образуют тела различных размеров — от громадных батолитов площадью 50—100 тыс. км² (Баргузино-Витимский ареал-плутон) до мелких линзовидных тел и даек. При этом по физико-механическим свойствам гранитоиды крупных батолитов несколько отличаются от ультраметаморфических гранитоидов гранит-мигматитовой формации, образующих согласные линзо- и плитообразные тела среди глубоко метаморфизованных пород архея и нижнего протерозоя.

Среди гранитоидов батолитовой формации выделяется много разновидностей пород: граниты, гранодиориты, граносениты, сениты, диориты и др., причем биотитовые и биотитово-роговообманковые граниты преобладают. Это преимущественно средне- и крупнозернистые, местами порфириовидные породы полнокристаллической структуры. Для них типично однородное сложение на всей площади массива. По физико-механическим свойствам породы изотропны.

Гранитоиды гранит-мигматитовой формации представлены гранитогнейсами, очковыми гнейсогранитами, аляскитовыми и легматондными гранитами. Контакты их с вмещающими породами нерезкие, постепенные, между ними обычно наблюдаются широкие зоны мигматитов, а внутри массивов — многочисленные ксенолиты гнейсов и сланцев. Гранитоиды характеризуются отчетливой полосчатой (гнейсовидной) текстурой, обуславливающей некоторую анизотропию их физико-механических свойств.

В общей своей массе гранитоиды являются прочными и очень прочными, невлагоемкими, неразмокающими породами, устойчивыми к выветриванию. Временное сопротивление сжатию гранитоидов в сухом состоянии находится в пределах 80—200 МПа, в водонасыщенном — 70—180 МПа. Потеря прочности после 25-кратного замораживания у некоторых разновидностей достигает 30 %.

Более древние гранитоиды более трещиноваты. Данные по водообильности разновозрастных интрузивных пород Забайкалья свидетельствуют, что раннепалеозойские граниты, например, более трещиноваты, чем гранитоиды мезозойского возраста [62].

Нередко в Забайкалье можно видеть, что гранитоиды, так же как и гнейсы, при выветривании разрушаются сразу на дресву и песок, не давая промежуточных продуктов разрушения — глыб и щебня. В результате образуются своеобразные дресвяные (сапролитовые) коры выветривания, сохраняющие текстуру материнских пород, но легко режущиеся лопатой и рассыпающиеся при ударе молотком. Мощные (до 10—30 м) коры выветривания такого типа наблюдаются в основном в пределах пологих склонов с замедленной скоростью денудации. Вдоль зон разломов сапролитизация

проникает на большие глубины, образуя так называемые «линейные» коры выветривания. При проходке Муйского и Нагорного тоннелей они были встречены на глубинах более 100 м.

Четвертичные отложения. Аллювиальные отложения в Забайкалье представлены широким по составу спектром пород — от валунно-глыбовых до песчаных и глинистых. Соотношение крупнообломочных, песчаных и глинистых пород в разрезах этих отложений от места к месту неодинаково и обусловлено особенностями рельефа в бассейне реки и составом размываемых пород.

Современные и верхнечетвертичные аллювиальные отложения, слагающие пойму и первую надпойменную террасу горных рек и ручьев, характеризуются обычно однослойным строением разреза. Они сложены в основном аллювием русловой фации, представленной валунно-галечниковыми отложениями мощностью 2—5 м. Вниз по течению рек отмечается закономерное увеличение дисперсности и однородности отложений. В долинах крупных рек и межгорных впадин в разрезе аллювиальных отложений выделяются русловая, пойменная и старичная фации.

Отложения пойменной и старичной фаций образуют верхнюю часть разреза мощностью 1—2, реже до 4—6 м (долины рек Селенги, Амура, Зеи и др.). Чаще всего они представлены суглинками, супесями, песками, реже илами, глинами. Нижняя часть разреза (русловая фация аллювия) сложена крупнообломочными породами — галечниками, валунниками, гравием, реже гравелистыми песками. В межгорных впадинах с широким распространением древних песчаных отложений аллювий как в пойменной, так и русловой фациях, существенно песчаный.

Общая мощность отложений обычно не превышает 10—12 м, в долинах Амура, Зеи, Селенги и других рек, а также во впадинах байкальского типа достигает 20—30 м.

Суглинки и супеси играют доминирующую роль в сложении верхней части разреза пойм и первых надпойменных террас. Обычно они содержат растительные остатки, местами заторфованы, встречаются линзы погребенного торфа. Породы отличаются в общем высокой естественной влажностью (в среднем 25—30 %) со значительным преобладанием суммарной влажности у заторфованных грунтов (40—70 %) и грунтов, находящихся в многолетнемерзлом состоянии (до 110 %). На большей части территории Забайкалья эти отложения с глубины 1—1,5 м находятся в многолетнемерзлом состоянии. Для них типичны слоистая, линзовидная, сетчатая и массивная криотекстуры и высокая льдистость, особенно старичных фаций и в тыловых частях пойм — до 40—70 %.

В слое сезонного промерзания — протаивания грунты сильно разуплотнены и переувлажнены, при промерзании характеризуются сильной пучинистостью. Консистенция талых суглинков и супесей от твердой до текучей с преобладанием у суглинков мягкопластичной, у супесей — пластичной. При оттаивании многолетнемерзлых пород консистенция их преимущественно текучая. Объемная масса талых глинистых грунтов при естественной влажности изменя-

ется незначительно ($1,5-1,75 \text{ г/см}^3$), у многолетнемерзлых разностей она варьирует от $1,1$ до $1,7 \text{ г/см}^3$. Среди талых глинистых грунтов встречаются просадочные и непросадочные разности, многолетнемерзлые характеризуются значительной осадкой при оттаивании. По величине сжимаемости они относятся к сильно- и среднесжимаемым. Наибольшей сжимаемостью характеризуются заторфованные грунты и многолетнемерзлые после оттаивания.

Следует отметить, что физико-механические свойства одного и того же литологического вида пород во многом определяются пространственным их расположением. Так, в отношении показателя естественной влажности, определяющего прочностные и деформационные свойства грунтов, широтное положение района их распространения играет важную роль. Анализ обширного лабораторного материала свидетельствует о том, что в северных районах Забайкалья естественная влажность грунтов выше, чем в центральных и южных. Величина естественной влажности аллювиальных суглинков и супесей в северных районах составляет в среднем $25-35\%$ (по данным Сибгипротранса, ВостСибТНЦИЗа, ПГО Гидроспецгеология), тогда как в южных районах она равна в среднем 18% [62].

Крупнообломочные породы слагают нижнюю часть разреза пойм и первых надпойменных террас, обычно ниже уреза воды. Гранулометрический состав их весьма разнообразен — от гравийно-галечниковых до валунисто-глибовых. По размерам обломков преобладают галечниковые грунты. Заполнитель в них — крупный и средней крупности песок.

Талые галечники и валуники среднеплотного сложения. В зависимости от состава и содержания заполнителя коэффициент фильтрации их изменяется от 50 до 600 м/сут , чаще всего составляя $100-200 \text{ м/сут}$.

Грунты находятся как в талом, так и многолетнемерзлом состоянии. Характерные криогенные текстуры — корковая вокруг обломков и массивная в заполнителе; объемная льдистость незначительна ($10-15\%$), при оттаивании существенных осадок не происходит. Однако нередко в разрезе этих отложений встречаются ископаемые льды различного происхождения: сегрегационные, инъекционные, а севернее широты 53° — современные и сингенетические повторно-жильные льды мощностью от $0,5-2$ до $5-6 \text{ м}$ и более.

Аллювиальные отложения высоких террас ниже-верхнечетвертичного возраста имеют в Забайкалье небольшое площадное распространение (исключая террасо-увалы, сложенные плейстоценовыми полигенетическими песками). Они образуют фрагменты речных террас высотой от $10-12$ до $50-80 \text{ м}$, ширина которых обычно не превышает $0,5-1 \text{ км}$, протяженность $3-5 \text{ км}$, редко более. Террасы, как правило, докольные, аллювиальные отложения слагают обычно лишь верхний покров мощностью от $1-2$ до $10-15 \text{ м}$. Сложены они галечниками, реже песками, суглинками и глинами с включением гальки, гравия и щебня.

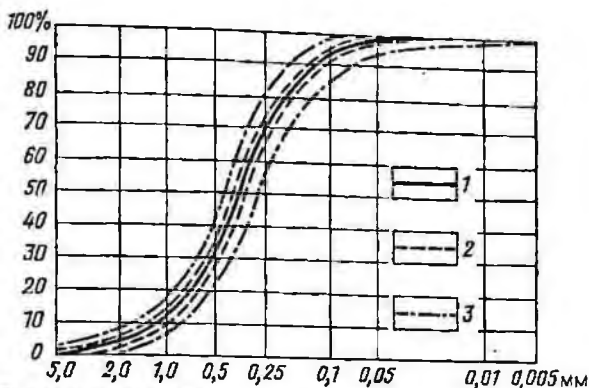


Рис. 16.2. Гранулометрический состав плейстоценовых полигенетических песков Забайкалья (по данным 390 анализов):

1 — среднее арифметическое значение (\bar{X}); 2 — доверительный предел ($\bar{X} \pm \sigma$), где σ — среднее квадратическое отклонение; 3 — доверительный предел при вероятности 95 %

Глинистые грунты, слагающие верхнюю часть разреза террас, отличаются от грунтов пойм и первой надпойменной террасы большей плотностью сложения и меньшей влажностью, что определяет повышенные значения их деформационных и прочностных свойств. При сезонном промерзании они относятся к среднепучинистым.

Галечники, преобладающие в составе аллювия террасового комплекса, плотного сложения, практически несжимаемые. Коэффициент фильтрации их обычно до 50 м/сут, причем в тыловых участках террас фильтрационные свойства пород значительно понижены. Отложения, находящиеся в многолетнемерзлом состоянии, характеризуются относительно невысокой льдистостью — 4—15 %, но нередко в их прибортовых частях встречаются подземные льды инъекционного генезиса мощностью от 2,5—3 до 10 м.

Плейстоценовые полигенетические отложения. К этому стратиграфо-генетическому комплексу отнесены мощные (до 200 м и более) толщи песков, распространенных у юго-восточных бортов впадин байкальского и забайкальского типов, образующих пологонаклонные террасоподобные увалы высотой в тыловых частях до 150—200 м над урезом рек. В юго-западном Забайкалье (Селенгинское среднегорье) они заполняют многие речные долины и паводки, местами высоко (до 300 м над днищами долины и впадины) поднимаются на северо-западные склоны хребтов и даже на вершины низких перевалов (см. рис. 15.3).

Рассматриваемые песчаные толщи полигенетические. В их сложении участвуют аллювиальные, озерные, флювиогляциальные, пролювиальные и другие типы осадков, но наибольшую роль в них играют, по-видимому, эоловые отложения. Песчаные толщи характеризуются выдержанностью гранулометрического состава в горизонтальном и вертикальном направлениях, хорошо отсортированы. Сложены они в основном тремя фракциями: 0,5—0,25; 0,25—

0,1 и 0,1—0,05 мм — в среднем около 85 % с небольшой примесью пылеватых и глинистых частиц (рис. 16.2). Пески маловлажные (1—5 %), рыхлые, сжимаемые. При нагрузках от 0,1 до 0,3 МПа компрессионный модуль деформации изменяется от 5 до 12,5 МПа, средний по 10 определениям равен 8,7 МПа [26]. На большей части своего распространения пески находятся в талом состоянии или с глубоким (40—100 м) залеганием многолетней мерзлоты. Глубина сезонного промерзания песков достигает 4—5 м, зеркало грунтовых вод в них на глубине, как правило, более 10—12 м. Коэффициент фильтрации песков изменяется от 3 до 20 м/сут.

16.2. Основные особенности строения рельефа

Геологическое развитие Забайкалья (см. гл. 15) к концу плейцена привело к формированию на его территории крупных неотектонических структур (морфоструктур), среди которых выделяются положительные и отрицательные (относительно отрицательные) структурные формы. Положительные морфоструктуры — это крупные сводовые и сводово-глыбовые поднятия: Байкальское, Джугджуро-Становое, Байкало-Патомское, Хэнтэй-Чикойское (Даурское), Шилкинско-Аргунское, Тукуруингра-Джагдинское, Хинганобуренское (Туранское), господствующие над окружающими территориями. Относительно отрицательными морфоструктурами являются: Селенгинско-Витимская, Агинская, Верхнеамурская, Амуро-Зейская и Буренская, представляющие собой равнины или территории пониженного горного рельефа (рис. 16.3). Впадины байкальского, забайкальского и приамурского типов, а также частные горные хребты по отношению к этим крупнейшим морфоструктурам выступают как структурные формы второго и третьего порядков.

Каждая из выделенных морфоструктур отличается характером рельефа — высотой и степенью его расчлененности, набором геологических формаций, уровнем сейсмичности и т. п.

Байкальское сводовое поднятие, соответствующее зоне молодого рифтогенеза, представляет гигантский горный вал шириной около 200 км, протягивающийся в общем северо-восточном направлении от Восточного Саяна до р. Олекмы на расстояние до 2000 км. К осевой его части приурочена цепь межгорных рифтовых впадин, крупнейшая из которых — впадина оз. Байкал протяженностью 600 км и шириной до 80 км. Остальные впадины (Тункинская, Баргузинская, Верхнеангарская, Муйская, Чарская, Токкская) имеют значительно меньшие размеры. Их протяженность составляет 120—150 км при ширине 30—40 км. Наряду с вышеназванными крупными впадинами здесь имеется много мелких молодых впадин (эмбриональных и зарождающихся, по В. П. Солоненко), относящихся также к рифтовым структурным формам.

Высокогорность и контрастность рельефа составляют характерную особенность Байкальского свода. Так, вершинная поверхность хребтов, разделяющих впадины, поднята местами до абсолютных отметок 2500—3000 м, тогда как днища впадин располагаются на

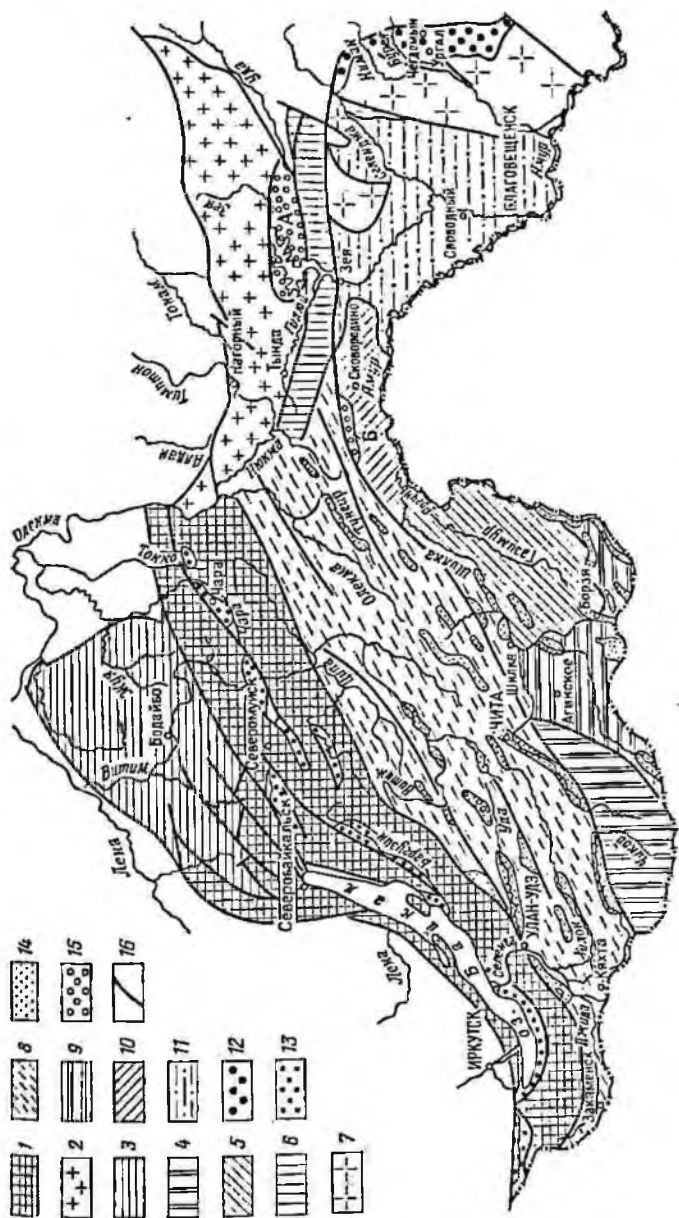


Рис. 16.3. Морфоструктурная схема Забайкалья:

1-7 — полокитые морфоструктуры — сводовые и сводово-глыбные подпятия (1 — Байкальское — рифтовая зона, 2 — Джунгаро-Становое, 3 — Байкало-Платонское, 4 — Дaurское — Хайтар-Чикойское, 5 — Шилкиско-Аргунское, 6 — Тукуринь-Дарданское, 7 — Хитгайо-Буренинское); 8-12 — относительно отрицательные морфоструктуры (8 — Селенгино-Витимская, 9 — Алтискай, 10 — Верхнеамурская, 11 — Ануро-Зейская, 12 — Бурейская); 13-15 — впадины соответственно байкальского, забайкальского и приамурского типов; 16 — разломы, вклинные в неотчетвертичное время; А — Верхнезейская впадина; Б — Уруши-Ольдейская впадина

уровне 500—800 м, а фундамент в них опущен ниже уровня моря до 2000—2500 м, в Байкальской впадине даже до 6000 м.

В целом Байкальское сводовое поднятие представляет собой единый комплекс рифтогенных впадин и разделяющих их горных хребтов. Для него характерна яркая морфологическая выраженность блоковых неотектонических структур, обусловленных дифференцированными движениями по разломам при подчиненной роли изгибных деформаций. Разломы (сбросы) ограничивают рифтовые впадины и, как правило, хорошо выражены в рельефе. Обычно молодые разломы наследуют древние дизъюнктивные швы, однако в большинстве своем структурные элементы Байкальской рифтовой зоны обязаны своим происхождением новейшим тектоническим движениям [47].

Джугджуро-Становое сводовое поднятие, протянувшееся в субширотном направлении от р. Олекмы до Охотского моря, представляет собой массивный, не расчлененный межгорными впадинами асимметричный свод, круто опускающийся к Алданскому щиту и полого понижающийся к югу. Преобладающие абсолютные высоты в осевой части поднятия составляют 1300—1500 м, максимальные в верховьях р. Зеи достигают 2000—2488 м. Наиболее пониженная низкогорная часть южного склона Станового хребта, ограниченная с юга хребтами Янкан-Тукуруингра-Джагды, именуется Нюкжа-Зейской депрессией. В крайней восточной ее части располагается обширная Верхне-Зейская впадина.

Байкало-Патомское нагорье. Морфоструктура этого нагорья представляется в виде щитовидного поднятия, глубоко вдающегося клином в пределы Байкальской рифтовой зоны между хребтами Аkitкан и Унгдар в месте их разветвления и постепенно расширяющегося в северо-восточном направлении. Одновременно с расширением с юго-запада на северо-восток происходит снижение абсолютных высот его поверхности с 1700—2000 до 1100—1300 м. Центральная часть морфоструктуры, названная А. Г. Золотаревым Чае-Жуинской депрессией, понижена относительно краевых участков поднятия с абсолютными отметками 800—1000 м. Для этой депрессии характерны переуглубленные долины с повышенной мощностью отложений.

Хэнтэй-Чикойское (Даурское) нагорье имеет вид массивного, лишённого межгорных впадин сводового поднятия северо-восточного простираения, ограниченного зонами региональных разломов. Большая часть нагорья расположена на территории МНР. На меридиане г. Читы поднятие замыкается и далее на восток не продолжается. При погружении (морфологически это выражено в снижении абсолютных отметок с 2500 до 1000—1100 м) одновременно наблюдается его сужение с 200 до 50 км.

Шилкинско-Аргунское сводовое поднятие занимает междуречье Шилки и Аргуни и представляет собой асимметричный свод северо-восточного простираения, максимальные отметки которого (1400—1600 м) приурочены к его северо-западной части. В преде-

дах поднятия находится несколько небольших межгорных впадин забайкальского типа.

Тукуринара-Джагдинская морфоструктура представляет узкое сводово-горстовое поднятие запад-северо-западного простирания протяженностью около 700 км при ширине 50—60 км. Абсолютные высоты его достигают 1500—1600 м. Северный склон хребта крутой и на протяжении сотен километров почти прямолинейен, южный — более пологий и длинный. Продольные, диагональные и поперечные разрывные нарушения с различной амплитудой вертикальных смещений создают ступенчатый характер морфоструктуры. В восточной части она рассечена субмеридиональной Огоронской впадиной, по которой Байкало-Амурская железнодорожная магистраль пересекает хребет.

Хингано-Бурейское поднятие включает Туранский и Мамынский выступы кристаллического фундамента Бурейского массива. Туранский выступ представляет собой сводово-глыбовое поднятие субмеридионального простирания с преобладающими абсолютными высотами 1000—1200 м и максимальными в северной его части 1700—1800 м. Мамынский выступ в междуречье Зей и Селемджи представляет останцовые низкие горы с максимальной абсолютной отметкой 904 м, выступающие в виде острова среди обширной Амуро-Зейской равнины.

Селенгино-Витимская зона (Селенгино-Витимский синклиниорий, по Н. А. Флоренсову) — крупнейшая относительно отрицательная морфоструктура Забайкалья, протянувшаяся от верховьев р. Джиды до р. Олекмы на расстояние до 2000 км при средней ширине 300—500 км. Главная особенность этой территории заключается в пониженном общем гипсометрическом уровне по сравнению с ограничивающими ее с севера Байкальским, а с юга — Хэнтэй-Чикойским нагорьями.

Внутреннее ее строение характеризуется чередованием линейно вытянутых горст-антиклинальных хребтов и параллельных им грабен-синклинальных впадин забайкальского типа. Соединяясь между собой по простиранию, впадины через невысокие горные перемычки практически сливаются в весьма протяженные (до 500—1000 км) узкие депрессии.

Агинская морфоструктура представляет обширную холмисто-увалистую денудационную равнину на юге Восточного Забайкалья. Впадины забайкальского типа, расположенные в ее пределах, отличаются изометричностью и несколько повышенной мощностью кайнозойских отложений.

Верхнеамурская морфоструктура расположена на левобережье Верхнего Амура и приурочена к Верхнеамурскому палеозойскому синклинирию и наложенному на него Ольдойскому мезозойскому прогибу. В неотектонический этап морфоструктура испытала слабые дифференцированные движения, денудационные процессы привели к выработке обширной поверхности выравнивания, сливающейся в общий уровень с такой же поверхностью Гонжинского кристаллического выступа. В современном рельефе территории

преобладает платообразное низкогорье с абсолютными отметками 500—600 м. В зоне Монголо-Охотского разлома, ограничивающего морфоструктуру с севера, сформировались небольшие межгорные впадины — Уруша-Ольдойская и Верхне-Урканская, выполненные кайнозойскими осадками.

Амуро-Зейская равнина охватывает обширное пространство в среднем течении р. Амур и нижнем течении р. Зей. В морфоструктурном плане она соответствует одноименной мезозойско-кайнозойской впадине (молодой плите). По характеру рельефа впадина представляет аккумулятивную равнину с абсолютными отметками 200—400 м, среди которой породы фундамента местами выступают на поверхность в виде отдельных останцовых сопок.

Буренская морфоструктура пространственно совпадает с одноименным мезозойским прогибом, окаймляющим Туранский выступ Буренского массива с востока и севера. В современном рельефе прогиб выражен цепью холмисто-увалистых впадин (с юга на север): Тырминской, Верхнебуренской (Ургальской) и Огоджинской, разделенных низкогорными перемычками.

Сформировавшиеся таким образом на территории Забайкалья крупнейшие морфоструктуры обусловили важные различия в инженерно-геологических условиях территории.

16.3. Сейсмичность

Почти вся территория Забайкалья принадлежит к числу высокосейсмичных районов (рис. 16.4). Наиболее сейсмоактивная морфоструктура — Байкальское сводовое поднятие, а в нем — пояс рифтовых впадин и межвпадинных перемычек. Показатели высокой сейсмической активности этой зоны — следы грандиозных сейсмических катастроф недавнего геологического прошлого, а также землетрясения 1829, 1862, 1950, 1957, 1958, 1959 и 1967 гг. силой до 9—10 баллов. Ежегодно здесь регистрируется большое число землетрясений меньшей силы [69].

Большинство эпицентров землетрясений в Прибайкалье располагается в зонах разломов, ограничивающих рифтовые впадины. Частично эпицентры располагаются в пределах Байкала, на его берегах и в дельте р. Селенги, где в 1862 г. произошло одно из сильнейших в Прибайкалье землетрясений. В результате землетрясения в северо-восточной части дельты опустился значительный участок побережья и образовался неглубокий залив «Провал» площадью около 197 км².

Особо сейсмоопасны зарождающиеся и эмбриональные формы межгорных впадин, развивающиеся на склонах хребтов. Именно к таким впадинам приурочены эпицентры Муийского десятибалльного землетрясения (1957 г.) и следы многих катастрофических землетрясений в хребтах Удокан, Кодар и др. К сейсмоопасным относятся также межвпадинные перемычки, одну из которых пересекает Северомуйский тоннель [74, 75].

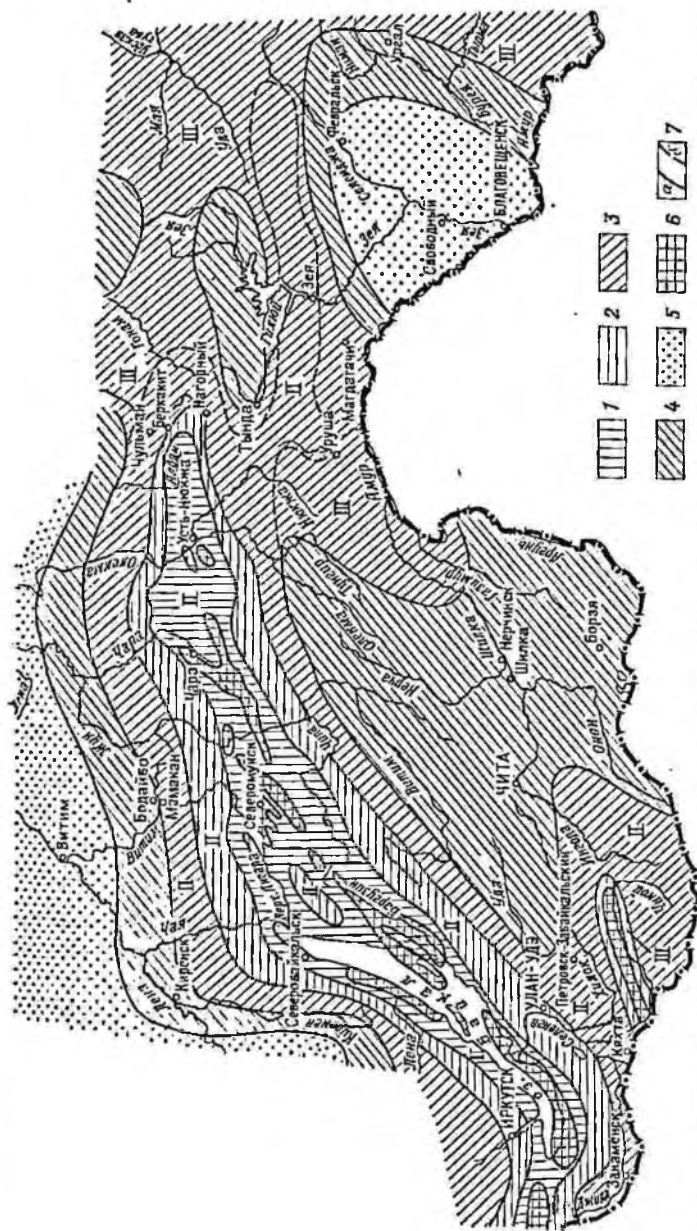


Рис. 16.4. Сейсмическое районирование Забайкалья (по карте Сейсмического районирования СССР м-ба 1 : 5 000 000, ГУГК, 1983 г.):
 1—5 — интенсивности землетрясений в баллах сейсмической шкалы МСК-64 (1—9, 2—8, 3—7, 4—6, 5—5 баллов и менее); б — зоны наиболее вероятного возникновения очагов землетрясений с интенсивностью более 6 баллов; 7 — границы зон; а — с различной интенсивностью землетрясений, б — с различной повторяемостью (вероятностью) землетрясений. Индексы II и III соответствуют средней повторяемости землетрясений один раз за 1000 и 10 000 лет или вероятности 0,05 и 0,005 в ближайшие 60 лет

К северу и югу от Байкальской рифтовой зоны уровень сейсмической активности постепенно снижается до 6—5 баллов. Сейсмоопасны на этих территориях отдельные активные линейменты, в частности Монголо-Охотский глубинный разлом, вблизи которого располагаются города Кяхта, Чита и др.

К востоку Байкальская высокосейсмичная зона протягивается в область сводового поднятия Становика-Джугджура, постепенно затухая к Охотскому морю (см. рис. 16.4). Наиболее сейсмоактивна западная часть Станового хребта в бассейне р. Олекмы, где зарегистрированы наиболее сильные (9—10 баллов) землетрясения последних лет [18, 69].

К югу от Станового сейсмического пояса и субпараллельно ему протягивается одна из наиболее сейсмоактивных зон Приамурья — Тукурингра-Джагдинская. В этой зоне в последние годы произошли сильнейшие землетрясения: Зейское (1973 г.) — 8 баллов и Огоронское (1977 г.) — 7—8 баллов. Потенциальная сейсмическая опасность Тукурингра-Джагдинской морфоструктуры считается весьма высокой [18].

Прилегающие к Тукурингра-Джагдинской и Становой сейсмоактивным зонам Нюкжа-Зейское межгорное понижение с Верхнезейской впадиной и Амуро-Зейская плита характеризуются спокойным тектоническим режимом, потенциальная сейсмичность этих площадей низкая. Самый восточный участок Забайкалья — Хингано-Бурейский регион — также довольно сейсмоактивная морфоструктура. Наиболее сейсмичны северо-восток хребта Турана, где 6 октября 1979 г. в 1 час 14 мин произошло землетрясение силой до 6 баллов.

Землетрясения в Забайкалье нередко вызывают разной степени повреждения зданий и сооружений, приводят к возникновению на земной поверхности зияющих трещин и рвов, затрагивающих как кристаллический фундамент, так и рыхлый осадочный чехол. Обычно они сопровождаются мощными горными обвалами.

16.4. Геокриологические условия

Геокриологические условия Забайкалья характеризуются большой неоднородностью. Распространение многолетнемерзлых пород здесь от редкоостровного до сплошного, мощность криолитозоны от нескольких до 1200 м при температуре горных пород от $-0,1 \div -0,5$ до -12 °С. Площади талых (сезонномерзлых) пород с температурой до $+2 \div +4$ °С занимают на юге Забайкалья не более 5 % территории (рис. 16.5).

В распространении ММП проявляется как широтная, так и высотная поясность.

В Забайкалье можно выделить северную и южную геокриологические зоны, граница между которыми проходит приблизительно по 54° с. ш. Северная зона отличается от южной сравнительно однородными геокриологическими условиями: преимущественно сплошным распространением ММП и значительной их мощ-

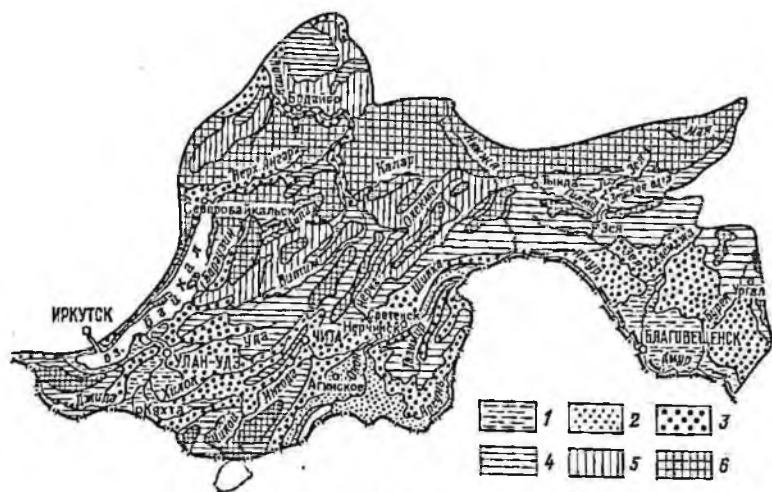


Рис. 16.5. Схема геокриологического районирования Забайкалья (по материалам МГУ, ПНИИСа и др.):

1 — породы талые с перелетками, $t = +4 \pm 0,1$ °C; 2-6 — распространение ММП: 2 — редкостровное (до 10 % площади) мощностью до 15 м, $t = +4 \pm 0,5$ °C; 3 — островное (10—50 % площади) мощностью до 50 м, $t = +2 \pm 1$ °C; 4 — прерывистое (50—80 % площади) мощностью 50—200 м, $t = +1 \pm 3$ °C; 5 — преимущественно сплошное, слабо прерывистое (60—95 % площади) мощностью 100—300 м, $t = -1 \pm 5$ °C; 6 — сплошное мощностью 300—500 м и более, $t = -3 \pm 7$ °C и ниже

ностью. В северную геокриологическую зону входят Байкало-Патомское нагорье, большая часть Байкальской горной области и Витимского плоскогорья, Нерча-Олекминское среднегорье, хребты Становой и Джугджур. Эти районы характеризуются сплошным и отчасти прерывистым распространением ММП мощностью до 300—500 м и более с температурой горных пород $-2 \div -7$ °C и ниже. Многолетнемерзлые породы здесь распространены на всех элементах рельефа. Наиболее глубоко промороженными являются осевые части хребтов.

Широкому развитию многолетней мерзлоты в северной геокриологической зоне Забайкалья способствуют суровые климатические условия, высокие гипсометрические отметки рельефа и сильная его расчлененность, значительная дренпрованность горных пород. Талики в этих районах формируются под руслами крупных рек, под озерами, в зонах разломов и закарстованных пород за счет инфильтрации поверхностных и выхода на поверхность подземных вод.

В южной геокриологической зоне ММП имеют преимущественно островное и прерывистое распространение с температурой $-1 \div -3$ °C и мощностью, чаще всего не превышающей 50—200 м. Мерзлые породы обычно отсутствуют на склонах южной экспозиции и невысоких водоразделах из-за развития дождевально-радиационных таликов. Они распространены в долинах, падах, на склонах северной экспозиции и во впадинах забайкальского типа.

Как показали исследования, выполненные Н. А. Шполянской [94] в Центральном и Южном Забайкалье, рельеф выступает здесь главным фактором, определяющим температурный режим горных пород. Именно с ним связано неравномерное распределение солнечной радиации, характера растительности, состава рыхлых отложений и степени их увлажненности, а отсюда и количества тепла, поступающего к поверхности, его затрат на испарение, а следовательно, и асимметричное распространение ММП на различно ориентированных склонах.

Зимний антициклон способствует застоянию холодных воздушных масс в межгорных впадинах и долинах. Поэтому в среднегорье и низкогорье зимняя температурная инверсия представляет собой один из факторов теплообмена. В сочетании с другими условиями она способствует сильному выхолаживанию земной поверхности и развитию многолетней мерзлоты в днищах долин и нижних частях склонов. Вверх по склонам, до абсолютной высоты примерно 1000—1100 м, температура грунтов повышается, а выше — снова понижается. Поэтому на вершинах наиболее высоких хребтов (Малханском, Джилинском, Борщевочном и других) ММП также получают развитие.

Особыми геокриологическими условиями в регионе отличаются межгорные впадины. Во впадинах байкальского типа мерзлые породы характеризуются большими мощностями, местами (Баргузинская впадина) слоистым строением и глубоким залеганием их кровли. Под влиянием поверхностных и подземных вод, глубинного тепла, а также хороших фильтрационных свойств и малой влажности широко распространенных здесь полигенетических песчаных толщ, талики во впадинах байкальского типа занимают от 10—20 до 50 % площади и более. Суровость мерзлотных условий возрастает с юго-запада на северо-восток.

Во впадинах забайкальского типа многолетняя мерзлота имеет в основном эпигенетическое происхождение. В распространении ММП проявляется зависимость от широтного и высотного положения впадин. При одних и тех же отметках температура горных пород по мере движения к югу повышается примерно на 0,7—0,8 °С на каждый градус широты [72]. Наиболее низкие температуры ($-2 \div -4$ °С) зафиксированы во впадинах Витимского плоскогорья при практически сплошном распространении в них ММП; наиболее высокие температуры ($-0,2 \div -1$ °С) в южных впадинах — Харанорской, Читино-Ингодинской и других с островным типом криолитозоны [72, 94]. Понижение среднегодовых температур происходит от периферии к центру впадин — к низким террасам и поймам рек. Формирование теплового режима и среднегодовых температур пород здесь находится в тесной связи с увеличением дисперсности и влажности четвертичных и подстилающих их мезозойских отложений. Наиболее низкие температуры пород отмечаются на заболоченных участках, где с поверхности залегают мхи и торфяники. Мощность криолитозоны во впадинах забайкаль-

ского типа уменьшается с севера на юг от 100—150 м до нескольких метров на юге Агинской степи.

В пределах Амуро-Зейской равнины, вытянутой с севера на юг почти на 4°, широтная зональность мерзлотных условий проявляется наиболее четко. В условиях равнинного рельефа, относительно равномерного распределения солнечной радиации и увлажнения распространение ММП меняется от прерывистого и массивно-островного мощностью 60—80 м на севере региона до редкоостровного на юге, вплоть до полного их выклинивания на широте г. Свободного. Температура горных пород соответственно изменяется от $-1 \div -2$ до $+0,5 \div +2$ °С.

Значительные площади талых (сезонномерзлых) пород отмечают также на равнинах, в межгорных впадинах и крупных долинах в бассейнах рек Селенги, Джиды, Онона, Аргуни и на южном побережье оз. Байкал. В целом же в южной зоне Забайкалья ММП имеют островной характер распространения.

16.5. Основные особенности гидрогеологических условий

Широкое распространение ММП — один из важнейших региональных факторов, определяющих гидрогеологические условия Забайкалья. Криогенные водоупоры существенно сказались на характере обводнения пород в плане и разрезе и в значительной степени изменили тип гидрогеологических структур, предшествующих многолетнему промерзанию. Степень преобразования гидрогеологических структур под влиянием криогенеза определяется соотношением мощности ММП с мощностью зоны экзогенной трещиноватости в гидрогеологических массивах или с мощностью зон пресных вод в артезианских и адартезианских бассейнах. В зависимости от характера распространения многолетнемерзлых толщ выделяются гидрогеологические структуры островного, прерывистого, сплошного (неглубокого 100—150 м, глубокого 200—300 и сверхглубокого 300—500 м и более) промерзания.

На территории Забайкалья выделяются все перечисленные типы мерзлотно-гидрогеологических структур.

1. Гидрогеологические массивы. К этому типу относятся массивы, находящиеся в зонах островного промерзания мощностью 25—50 м (хребты Селенгинского и Шилкинско-Аргунского среднегорья, Малый Хинган, Мамынский и др.). Они характеризуются региональным распространением подземных вод. Влияние многолетней мерзлоты здесь сказалось в возникновении дополнительных напоров, сокращении площадей питания и разгрузки подземных вод.

2. Криогидрогеологические массивы прерывистого и сплошного промерзания мощностью, как правило, не более 150—200 м, но всегда меньше мощности зоны экзогенной трещиноватости (хребты Яблоновый, Тунгирский, Соктахан, Джагды и др.). Они характеризуются неповсеместной водоносностью пород. Подземные во-

ды локализуются в талых трещиноватых породах ниже мерзлой толщи, а также в зонах разломов. Влияние мерзлоты проявляется в формировании криогенных напоров, очаговом характере питания, локализации путей движения и разгрузки подземных вод.

3. Криогидрогеологические массивы сплошного (глубокого и сверхглубокого) промерзания характеризуются практическим отсутствием подземных вод ниже мерзлой толщи. К ним относятся наиболее высокие гольцовые части горных хребтов (Северо-Муйский, Кодар, Удокан, Становой, Джугджур и другие), где мощность ММП достигает 300—500 м и более, т. е. значительно превышает мощность зоны региональной трещиноватости пород. Подземные воды здесь могут быть встречены лишь в зонах разломов, в подрусловых и подозерных таликах.

4. Артезианские бассейны соответствуют межгорным и предгорным впадинам. Они выполнены горизонтально- и пологозалегающими в разной степени литифицированными породами, содержащими пластовые скопления подземных вод. К ним относятся мезозойские впадины забайкальского типа, мезозойско-кайнозойские впадины верхнего Приамурья и кайнозойские рифтовые впадины Прибайкалья.

5. Адартезианские бассейны (Верхнеамурский, Бурейнский) относятся к структурам промежуточного типа. Породы осадочного чехла в них дислоцированы, сильно литифицированы и подземные воды имеют трещинный и пластово-трещинный характер.

6. Вулканогенные структуры разделяются на бассейны и массивы. К первым относятся кайнозойские эффузивы (платобазальты) с высокой пластовой пористостью и трещиноватостью (Джидинский, Амалатский, Мало-Хинганский и другие бассейны). В отличие от них вулканогенные массивы представляют горные расчлененные сооружения, сложенные дислоцированными вулканогенными толщами (хребет Аkitкаи, некоторые хребты Селенгинского и Шилкинско-Аргунского среднегорья).

Для артезианских, адартезианских и вулканогенных бассейнов влияние мерзлоты на подземные воды определяется соотношением мерзлой толщи с мощностью осадочного или вулканогенного чехла бассейнов и мощностью зоны пресных вод. Все бассейны Забайкалья имеют мощность чехла и зоны пресных вод значительно превосходящую мощность мерзлой толщи.

7. Криогенные бассейны напорных и субнапорных трещинных вод представляют особые геокриологические структуры. Они соответствуют переуглубленным долинам или эмбриональным впадинам, выполненным довольно мощными (до 50—100 м и более) рыхлыми, но, как правило, замороженными отложениями. Подземные воды в них сосредоточены у нижней границы мерзлой толщи в трещиноватых зонах криогенной дезинтеграции пород, сформированных в результате климатических флуктуаций четвертичного времени. Мощность таких зон нередко достигает 20—150 м.

Наиболее суровыми мерзлотными условиями отличаются структуры Байкало-Становой складчато-глыбовой области и Хэнтэй-Чи-

койского нагорья. Горные хребты в них с абсолютными высотами более 1500 м проморожены до глубины 300—500 м и более и подземных вод не содержат. Они представляют собой криогидрогеологические массивы сплошного глубокого и сверхглубокого промерзания. Тектонические разломы в данных регионах нередко обводнены. По ним через систему подрусловых и подозерных инфильтрационных таликов в верховьях долин осуществляется питание подземных вод криогидрогеологических массивов, расположенных гипсометрически ниже. Разгрузка высоконапорных подземных вод осуществляется по краевым разломам предгорий в виде высокодебитных родников и крупных наледей. Зоны экзогенной и криогенной трещиноватости в этих массивах не проморожены на всю мощность и содержат подмерзлотные воды. Такие массивы обрамляют полностью промороженные криогидрогеологические структуры и соответствуют более низкому ярусу рельефа. Подземный сток здесь исключительно концентрирован и значителен.

Для гидрогеологических массивов несплошного промерзания, охватывающих значительную часть Байкало-Патомской, Селенгино-Яблоновой, юг Джугджуро-Становой, Амура-Охотской и Буринской горноскладчатых областей, закономерности формирования подземного стока, по сравнению со структурами сплошного промерзания, несколько иные. В гидрогеологических и криогидрогеологических массивах подземный сток зоны активного водообмена рассредоточен, отличается слабой концентрированностью и ограниченными запасами подземных вод. Питание подземных вод осуществляется через систему дождевально-радиационных инфильтрационных и подрусловых сквозных таликов. Источники разгрузки подмерзлотных вод характеризуются преимущественно малыми дебитами.

Формирование подземных вод в артезианских бассейнах (Верхнеамурском, Буринском) и вулканогенных гидрогеологических массивах подчиняется тем же закономерностям, что и в вышеописанных структурах.

Артезианские бассейны, характеризуясь многими общими чертами формирования подземных вод, вместе с тем несколько различаются в зависимости от возраста, состава и степени литификации выполняющих отложений, коллекторских и емкостных свойств пород и др. Так, в бассейнах забайкальского типа в пределах Витимского плоскогорья и Нерча-Олекминского среднегорья, выполненных мезозойскими угленосными отложениями, подземные воды содержатся в весьма ограниченном объеме. Это обусловлено сплошной промороженностью верхней части разреза отложений до глубины 100—200 м и низкой пористостью и трещиноватостью талых пород [98].

Группа мезозойских артезианских бассейнов Селенгино-Яблоновой области, расположенных южнее, открыта для атмосферного и поверхностного питания подземных вод. Криогенные водоупоры в них островного характера. В зависимости от состава пород осадочного чехла эти бассейны отличаются водообильностью. Так, во

впадинах Гусиноозерской, Еравнинской, Курбинской и других, выполненных мощными (до 2—3 км), но существенно глинистыми отложениями, водообильность пород низкая. В аналогичных по возрасту впадинах, в разрезе которых доминируют песчаники и конгломераты (Чикой-Игодинская, Ундургинская, Ксеньевская и другие), водообмен более активен, а водосодержащие породы представляют более емкие коллекторы.

На самом юге Селенгинского среднегорья и Агинской степи в условиях засушливого климата впадины забайкальского типа представляют бессточные (с застойным режимом) бассейны подземных вод. На их поверхности в условиях континентального засоления образуются солонцы и солончаки, а озера отличаются минерализованными (1,5—3,5 г/л) хлоридно-натриевыми и сульфатно-кальциево-натриевыми водами. Это Боргойский, Цасучейский и Торейский бассейны. Концентрация солей в их подземных водах изменяется от 0,5 до 4 г/л.

Бассейны, выполненные рыхлыми мезозойско-кайнозойскими отложениями мощностью до 300—500 м (Амуру-Зейский, Верхнезейский, Уруша-Ольдойский, Верхнеурканский) прерывистого, островного и редкоостровного премерзания, обладают значительными запасами пресных подземных вод. Первые из них открыты для инфильтрационного питания и характеризуются активным водообменом, вторые, ввиду того, что с поверхности в них залегают глинистые породы, изолированы от поверхностного питания и представляют собой закрытые структуры. Питание подземных вод в них осуществляется за счет переливов из обводненных трещиноватых зон ограничивающих горных массивов.

В кайнозойских бассейнах байкальского типа мощность рыхлых четвертичных и неогеновых отложений достигает 2—3 тыс. м и более, способствуя созданию весьма значительных запасов подземных вод. В составе водовмещающих пород преобладают пески, а в прибортовых частях впадин — крупнообломочные породы с высокими коллекторскими свойствами. Во впадинах с несплошными криогенными водоупорами (Тункинской, Верхнеангарской) скважинами глубиной 130—200 м вскрываются напорные и субнапорные воды с удельной производительностью от 0,4—0,7 до 1,3—2,5 л/с. В Верхнеангарской и Баргузинской впадинах криогенные водоупоры характеризуются двухслойным строением. Здесь под тальмы породами или лежащими сверху массивами и островами мерзлых пород мощностью 15—20 м на глубинах 40—100 м вскрывается второй реликтовый слой ММП [23, 98].

За счет такого строения криогенных водоупоров в этих гидрогеологических структурах в верхней гидродинамической зоне создались дополнительные местные напоры и в разрезе встречаются межмерзлотные воды.

Артезианские бассейны байкальского типа со сплошными криогенными водоупорами заморожены до глубины 200—450 м (Муиский, Чарский, Токкский). Питание подземных вод в них осуществляется по периферии впадин через крупнообломочные леднико-

вые и аллювиально-пролювиальные отложения и краевые разломы, а также за счет переливов из трещиноватых зон обрамляющей массивов. Многочисленные наледи свидетельствуют о значительной напорной разгрузке вод подмерзлотного стока.

В целом артезианские бассейны байкальского типа представляют собой мощные вместилища напорных и субнапорных подземных вод с достаточно четкой гидродинамической и гидрохимической зональностью. В верхней части их разреза (до глубины 300—500 м) преобладают пресные (до 0,3—0,5 г/л) гидрокарбонатные кальциевые или магниевые-кальциевые воды, глубже минерализация возрастает до 1—3 г/л и в катионном составе вод преобладает натрий. В глубоких горизонтах появляются азотные и метановые термы сульфатного состава. В бортах впадин многочисленны выходы термальных источников с температурой вод от 40 до 76 °С.

16.6. Основные пространственные закономерности развития современных экзогенных геологических процессов

Сильно пересеченный горный рельеф Забайкалья, тектоническая раздробленность и трещиноватость горных пород, высокая сейсмическая активность территории, широкое распространение ММП, мощные снеготпасы в горах и ливневый характер осадков в летнее время обуславливают развитие многообразных экзогенных геологических процессов и высокую их интенсивность. Региональное развитие в Забайкалье получили криогенные процессы: пучение грунтов, наледи, солифлюкция, морозобойное растрескивание грунтов, термокарст, а в горах — обвалы, осыпи, курумы, оползни, лавины, сели и др. Все эти процессы и явления существенно осложняют условия строительства и эксплуатации сооружений, а нередко имеют решающее значение при оценке инженерно-геологических условий строительных площадок.

В развитии современных экзогенных геологических процессов в Забайкалье проявляется как широтная географическая зональность, так и вертикальная поясность, в границах которых происходит развитие определенного комплекса процессов. Так, на равнинных участках межгорных впадин и долин рек Северного Забайкалья преимущественное развитие получили криогенные процессы, которые здесь отмечаются и на междуречных участках. Для степных и лесостепных районов южного Забайкалья (бассейн р. Селенги, Агинская степь, южная часть Амуро-Зейской равнины) характерны овражная эрозия, плоскостной смыв, эоловые процессы и засоление грунтов при значительном сокращении площадей развития криогенных процессов и уменьшении их интенсивности (рис. 16.6).

Один из главных факторов, определяющих условия развития, распространения и интенсивность современных экзогенных геологических процессов, — рельеф (его высота и степень расчлененности), а также состав слагающих его коренных и рыхлых пород). В горах Забайкалья выделяют четыре ландшафтно-климатических

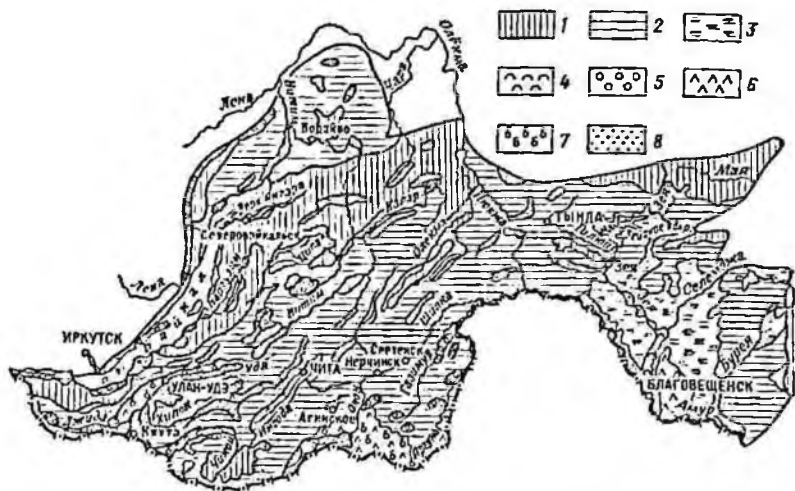


Рис. 16.6. Схема развития ведущих современных экзогенных геологических процессов в Забайкалье:

Процессы и парагенетические комплексы процессов: 1 — обвалы, осыпи, курумы, лавины, сели; 2 — курумы в сочетании с солифлюкцией; 3 — заболачивание, пучение и морозобойное растрескивание грунтов, термокарст, солифлюкция; 4 — оползни; 5 — карст; 6 — плоскостной смыл и обратная эрозия в сочетании с микроклещами; 7 — преимущественно дефляция, 8 — преимущественно аккумуляция

пояса: высокогорный (гольцовый), горнотаежный, лесостепной и степной, каждый из которых характеризуется определенным сочетанием современных экзогенных геологических процессов и их интенсивностью.

Высокогорный (гольцовый) пояс располагается выше верхней границы леса, которая в Северном Забайкалье проходит на абсолютных высотах 1000—1300 м и поднимается на юге (Хамар-Дабан, Хэнтэй-Чикойское нагорье) до 1400—1600 м. Для этого пояса характерны обвалы, осыпи, курумы, солифлюкция, нивация, дифференциация обломочного матернала, снежные лавины, сели.

В горнотаежном поясе (ниже 1000—1300 м) развитие курумов, обвалов, осыпей, лавин и селей ограничено. Более типичны для этого пояса — солифлюкция, оползни-сплывы, в днищах долин и межгорных впадинах — сезонное и многолетнее пучение грунтов, наледные процессы, морозобойное растрескивание грунтов, термопросадки и др. Развитию этих процессов благоприятствуют обводненность пород, наличие тонкодисперсных отложений и торфяников. Один из наиболее распространенных здесь процессов — наледообразование. Относительная наледность изменяется от 0,5 до 30 % площади долин, а мощности наледей могут достигать 8—10 м. В общем случае размеры наледей уменьшаются с севера на юг и с высотой местности.

В лесостепном поясе на склонах северной экспозиции развиваются те же процессы, что и в таежном, а на противоположных

склонах становятся активными плоскостной смыв, оврагообразование, эоловые процессы, т. е. процессы, присущие степной зоне. При этом в каждом из охарактеризованных высотных поясов не исключается развитие аazonальных процессов, например карста, оползней и других, обусловленных литологическими и тектоническими особенностями участков.

Карстовые явления на территории Забайкалья распространены в общем незначительно, так как растворимые карбонатные породы занимают небольшие площади (5—10% территории). Однако на отдельных участках закарстованные толщи занимают довольно обширные поля и существенно осложняют их инженерное освоение. Основные площади распространения карста приурочены к отложениям нижнего кембрия и рифея, подчиненное значение имеют карбонатные породы в составе архея, нижнего протерозоя и среднего палеозоя. Причем проявления карста установлены как среди неметаморфизованных, так и глубокометаморфизованных пород, в частности в архейских метаморфических толщах острова Ольхон, в Приольхонье, в пределах хребта Хамар-Дабан и др.

Карстовые формы Забайкалья имеют преимущественно древний дочетвертичный (неогеновый и донеогеновый) возраст. Суровые современные климатические и геокриологические условия не благоприятствуют карстообразованию, а в приповерхностных условиях в холодный сезон года делают его почти невозможным.

ГЛАВА 17 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ

Территория Забайкалья, как это видно из предыдущих глав, в инженерно-геологическом отношении неоднородна. Отдельные ее части отличаются геоструктурными, геоморфологическими, ландшафтными, мерзотно-гидрогеологическими и другими особенностями, а следовательно, условиями строительства и эксплуатации сооружений. В связи с этим целью инженерно-геологического районирования является: 1) выявление неоднородности территории и деление ее на составные части; 2) инженерно-геологическое описание территориальных единиц с выделением их инженерно-геологической специфики.

Выявление инженерно-геологической неоднородности Забайкалья проводилось на основе анализа региональных и зональных факторов.

Региональные факторы неоднородности инженерно-геологических условий рассматриваются путем сравнения таких характеристик территории, как рельеф, геологическое строение, состав и свойства горных пород, гидрогеологические особенности и др.

Зональные факторы позволяют выявить зональную (широтную) неоднородность инженерно-геологических условий, обуслов-

ленную постепенным изменением климатических и других физико-географических особенностей территории с севера на юг.

В Забайкалье, вытянутом почти на 10° по долготе, эти изменения существенны. Важные показатели этих изменений — закономерное уменьшение суровости общей геокриологической обстановки с севера на юг, количество и размеры наледей, изменение характера и интенсивности экзогенных геологических процессов, а также естественной влажности грунтов, что в значительной степени определяет их деформационные и прочностные свойства.

Однако нередко на одной и той же широте местности с близкими климатическими условиями наблюдаются участки, резко отличающиеся геокриологическими условиями, характером и интенсивностью экзогенных геологических процессов и другими инженерно-геологическими особенностями. Следовательно, широтная климатическая зональность в Забайкалье не является столь значительным фактором, чтобы обусловить наблюдаемые здесь резкие пространственные изменения инженерно-геологических условий. Решающую роль при этом играют местные (региональные) факторы.

Горно-котловинный рельеф Забайкалья вносит кардинальные изменения в общие (глобальные) закономерности изменения инженерно-геологических условий, имеющих в целом зональный характер. Именно рельеф в значительной мере определяет состав, мощность и распространение рыхлых четвертичных отложений, оказывает большое влияние на распределение тепла и влаги и, соответственно, на условия развития и распространения многолетнемерзлых пород, характер и интенсивность экзогенных геологических процессов и т. д. При этом рельеф характеризует не только внешнюю неоднородность земной поверхности, но отражает также внутренние черты геологического строения (состав, сложение, свойства горных пород), тектоническую активность, гидрогеологические особенности, формирующие инженерно-геологические условия.

Таким образом, границы природно-территориальных единиц, характеризующихся относительной однородностью инженерно-геологических условий, совпадают с границами крупных орографических единиц (морфоструктур), представляющих собой исторически сложившееся единство геологической структуры и поверхностного рельефа. При этом специфика инженерно-геологических условий зависит также от широтного положения той или иной морфоструктуры и ее гипсометрического уровня, где на региональные особенности накладываются зональные и высотно-поясные физико-географические факторы.

Из всего сказанного выше вытекает морфоструктурный принцип инженерно-геологического районирования — наиболее приемлемый при районировании горных стран.

Выделяют три основных таксономические единицы — регионы 1-го, 2-го и 3-го порядков.

В качестве региона 1-го порядка выделяется Забайкалье в целом, характеризующееся некоторой общностью геолого-тектониче-

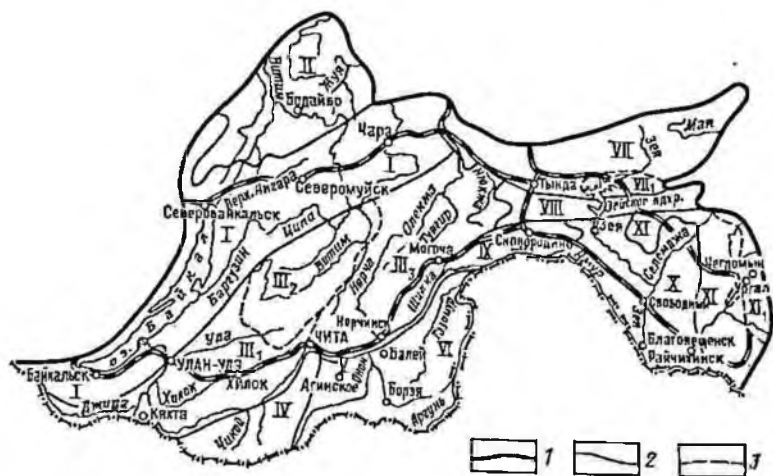


Рис. 17.1. Схема инженерно-геологического районирования Забайкалья:

1-3 — граница регионов (1 — 1-го порядка — Забайкалья, 2 — 2-го порядка, 3 — 3-го порядка). Регионы 2-го порядка: I — Байкальский, II — Байкало-Патомский, III — Селенгино-Витимский, IV — Хэнтэй-Чикойский, V — Агинский, VI — Шилкинско-Аргунский, VII — Джугджуро-Становой, VIII — Турурингра-Джагдинский, IX — Верхнеамурский, X — Амуро-Зейский, XI — Хингано-Буренский. Регионы 3-го порядка: III₁ — Селегинский, III₂ — Витимский, III₃ — Нерча-Олекминский, VII₁ — Верхнезейский, XI₁ — Буренский

ского и геоморфологического строения. Регионами 2-го порядка являются наиболее крупные морфоструктуры Забайкалья: Байкальское, Байкало-Патомское, Хэнтэй-Чикойское, Шилкинско-Аргунское, Джугджуро-Становое, Турурингра-Джагдинское и Хингано-Буренское (Туранское) сводовые и сводово-глыбовые поднятия, а также Селенгино-Витимская, Агинская, Верхне-Амурская и Амуро-Зейская отрицательные и относительно отрицательные морфоструктуры. В пределах Селенгино-Витимского, Джугджуро-Станового и Хингано-Буренского регионов по геоструктурным, геокринологическим, и другим признакам выделяют регионы 3-го порядка (рис. 17.1).

Из сопоставления рис. 15.1 и рис. 16.3 нетрудно видеть, что современные морфоструктуры в значительной степени совпадают с положением древних структурно-тектонических элементов Забайкалья. Каждая из них характеризуется особенностями геологического строения (набором геологических формаций, составом и мощностями рыхлых кайнозойских образований), тесно связанными с формами рельефа, а также зональными и высотно-поясными ландшафтно-климатическими условиями, определяющими развитие и распространение ММП, характер и интенсивность природных факторы и геологических процессов и т. п. Именно эти природные факторы и являются определяющими при инженерно-геологическом районировании крупных территорий.

Раздел V РЕГИОНАЛЬНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ

ГЛАВА 18 БАЙКАЛЬСКИЙ РЕГИОН

Байкальский регион территориально соответствует одноименной рифтовой зоне и характеризуется исключительно высокой активностью новейших и современных тектонических движений. Основные элементы древней геологической структуры региона — Баргузино-Витимский массив, Байкало-Витимская, Кодаро-Удоканская складчатые системы и Аkitканский вулканический пояс. Общее северо-восточное простирание рифтовой системы более или менее согласно с ориентировкой древних складчатых структур и господствующих разрывных нарушений.

Рельеф региона горный с большими контрастами высот, обусловленными чередованием высоких (до 2500—3000 м) хребтов и параллельных им рифтовых впадин. Хребты имеют общую северо-восточную ориентировку, отклоняясь то к северу в центральной части, то к широтному направлению на крайних флангах региона. Все хребты, за исключением Приморского и Морского, поднимаются выше границы леса, характеризуются альпийскими формами рельефа с остроконечными гребнями, глубоковрезанными долинами и ущельями, с крутыми (до 40—70°) неустойчивыми склонами, подверженными обвалам. Для некоторых хребтов (Хамар-Дабан, Удокан, Унгдар) характерны массивные, уплощенные гольцовые вершины, покрытые каменистыми россыпями. В профиле хребты асимметричны: южные и юго-восточные склоны их очень крутые, нередко они спускаются к впадинам почти вертикальными скалистыми обрывами, противоположные склоны — более пологие. Центральные части хребтов осложнены формами древней ледниковой экзарации в виде каров, цирков и трогов с множеством в них ледниковых озер; в пределах хребта Кодар имеются небольшие современные ледники. Глубина расчленения гор от 400—500 до 2000 м.

Территории с равнинным рельефом приурочены к межгорным впадинам, днища которых лежат на высотах от 460 до 1000 м над уровнем моря. Наиболее крупная впадина — сложная котловина оз. Байкал. Менее крупные впадины (Тункинская, Баргузинская, Верхне-Ангарская, Муйская, Чарская) достигают длины 150—200 км при ширине 25—40 км. От горных хребтов они, как правило, ограничены разломами. Поперечный профиль впадин, так же как и хребтов, асимметричен — один борт их, чаще северо-западный, имеет большую крутизну, в плане более прямой по сравнению с противоположным.

Обширные пространства во впадинах занимают поймы и первая надпойменная терраса рек, обычно сильно заболоченные, с мно-

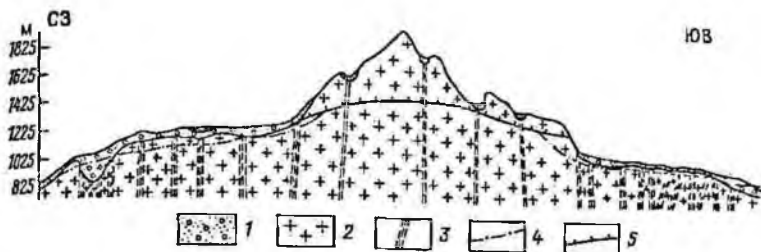


Рис. 18.1. Схематический инженерно-геологический разрез Северо-Муйского хребта в районе Ангараканского перевала:

1 — рыхлые отложения различного состава, генезиса и возраста; 2 — гранитоиды; 3 — обваленные тектонические нарушения; 4 — естественное положение уровня подземных вод; 5 — предполагаемое положение нижней границы ММП

жеством озер, стариц и протоков. У юго-восточных бортов впадин возвышаются террасо-увалы, сложенные песками, занимающими в Тункинской, Муйской и Чарской впадинах их центральные части. Северо-западные, как правило, более крутые борта впадин, окаймлены шлейфами пролювиальных, обвалено-осыпных и ледниковых отложений. Относительные превышения на равнинах обычно не более 20—50 м. Вдоль юго-восточного побережья оз. Байкал, у подножия хребта Хамар-Дабан, протягивается узкая (4—8 км) предгорная равнина протяженностью до 180 км, относительная высота которой достигает 100—200 м. Равнина представляет собой комплекс высоко приподнятых озерных террас (до семи уровней), доколи которых сложены неогеновыми угленосными отложениями.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика горных пород. В геологическом строении региона участвуют осадочные, метаморфические, вулканогенные и интрузивные образования архея, протерозоя и палеозоя, а также неогенового и четвертичного возраста. Наибольшие площади заняты гранитоидами.

Формации гранитоидов в Байкальском регионе объединяют интрузивные комплексы архейского, протерозойского и палеозойского возраста. Как показала проходка Байкальского и Кодарского тоннелей по трассе БАМ, гранитоиды в массиве прочны, стенки выработок в них устойчивы. Значительное снижение прочности пород отмечается в зонах разломов, особенно густая сеть которых наблюдается в пределах межрифтовых горных перемычек, одну из которых (Северо-Муйский хребет) пересекает тоннель. Выполненные в последние годы детальные инженерно-геологические исследования, а также проходка Северо-Муйского тоннеля показали, что хребет буквально иссечен разломами [21, 74, 75] (рис. 18.1).

Неоднократные подвижки по разломам обусловили интенсивное дробление и перетирание пород. Так, в створе Северо-Муйского тоннеля граниты в зонах разломов раздроблены на щебень, гравий и песок, вплоть до тектонической глины, находящиеся в

донасыщенном состоянии и нередко обладающие свойствами плывунов. Такие зоны вдоль разломов имеют мощность до нескольких десятков и сотен метров и прослеживаются на глубину до 600 м.

Густая сеть разломов обуславливает неустойчивое положение крупных блоков горных пород, подвижки которых могут произойти не только при сейсмическом, но и техногенном воздействии. По ним также происходят прорывы плывунов и трещинно-жильных вод, в том числе термальных, значительно осложняющих проходку подземных выработок.

Наряду с гранитоидами существенную роль в геологическом строении Байкальского региона играют породы метаморфических формаций (см. рис. 16.1). Среди них выделяют глубокометаморфизованные породы гнейсо-мигматитовой формации и породы зеленосланцевой фации метаморфизма. Первые представлены гнейсами и кристаллическими сланцами архея и нижнего протерозоя и по физико-механическим свойствам незначительно отличаются от гранитоидов.

К толщам пород метаморфизованным в условиях зеленосланцевой фации, относятся терригенная (удоканская серия), терригенно-вулканогенная (муйская серия) формации нижнего протерозоя, а также вулканогенно-карбонатно-терригенные формации рифея (олокитская и котерская серии). Характерная особенность пород этих формаций — интенсивное их рассланцевание, обуславливающее низкое значение сопротивления пород сдвигу по сланцеватости и, соответственно, недостаточную устойчивость в откосах. В разрезах отложений олокитской и котерской серий содержится также горизонты карбонатных пород (известняков и доломитов), местами закарстованных, снижающих прочностные характеристики массивов.

Вулканогенные образования риолотовой формации нижнего протерозоя слагают хребет Аkitкан, северную часть Байкальского хребта, а также выполняют небольшие прогибы к северу и югу от Муйской впадины. Основная роль в строении формации принадлежит фельзитовым, кварцевым и дацитовым порфирам, в меньшей степени — туфам и субвулканическим породам. В образцах и массиве породы преимущественно очень прочные, неразмываемые, устойчивые к выветриванию, слабо трещиноватые.

Кайнозойские осадочные и вулканогенные формации. В мощной толще кайнозойских отложений выделяют три структурных яруса: нижний, представленный неогеновой (миоцен-нижнеплиоценовой) угленосной формацией, средний — плиоцен-нижнечетвертичными (красноцветными) отложениями и верхний — различными геолого-генетическими типами четвертичных отложений. Особое положение занимает вулканогенная базальтовая формация, формирование которой происходило в течение всего неогена и четвертичного периода вплоть до голоцена.

Неогеновая угленосная формация (танхойская свита) выходит на дневную поверхность вдоль юго-восточного по-

бережья Байкала¹. Формация представляет толщу переслаивания песков (песчаников), алевролитов, глин и углей с редкими прослоями и линзами гравелитов. Цементация песчаных и крупнообломочных пород очень слаба или отсутствует вовсе. Мощность отложений от нескольких десятков до 1200 м. Отложения слабо дислоцированы, образуют крупную моноклину с падением слоев к озеру под углом 5—20°, создают предпосылки для развития оползней.

Плиоцен-нижнечетвертичные (красноцветные) отложения выходят на дневную поверхность в Тункинской впадине и по юго-восточному побережью Байкала. Ведущую роль в них играют галечники, которые в центральных частях впадин фациально замещаются песками и глинами. В остальных впадинах региона отложения этого комплекса перекрыты мощной толщей четвертичных отложений.

Неоген-четвертичная вулканогенная (базальтовая) формация. Породы этой формации распространены в пределах хребта Удокан и в юго-западной части хребта Хамар-Дабан. Встречаются они как на вершинах хребтов, так и в долинах рек. Мощность вулканогенных покровов для разных участков территории изменяется от 50 до 700 м. В вертикальном разрезе их насчитывается до 15—20 отдельных потоков мощностью от 2 до 50 м, представленных базальтами, долеритами, андезито-базальтами, лавобрекчиями, туфами и шлаками. Местами в них заключены горизонты рыхлых песчано-глинистых и галечниковых отложений. В Тункинской котловине потоки вулканических лав переслаиваются с неогеновыми и четвертичными осадочными породами, образуя сложную вулканогенно-осадочную толщу.

В нижних частях разреза формации преобладают плотные базальты с долеритовой структурой, в верхних частях — преимущественно сильно пористые или пузыристые лавы. Прочностные свойства лав различны и зависят от микро- и макроструктурного характера, хотя и одинаковых по минеральному составу и возрасту пород. Так, базальты крупнопористые характеризуются следующими показателями физико-механических свойств: плотность при естественной влажности 0,75—2,6 г/см³, пористость 11,3—73,3 %, водопоглощение 1,3—29,6 %, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии 8,4—103, в водонасыщенном 5,8—95 МПа. Базальты плотного сложения: плотность при естественной влажности 2,64—2,91 г/см³, пористость 2—3,4 %, водопоглощение 0,16—0,42 %, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии 176—288 МПа, в водонасыщенном 78—239 МПа. Породы трещиноваты и пористы по всему разрезу. Отдельность пород разнообразна: столбчатая, шаровая и неправильно глыбовая.

Четвертичные отложения в регионе имеют значительную мощность, достигающую в межгорных впадинах 200—

¹ В остальных впадинах байкальского типа отложения этой формации перекрыты мощной толщей плиоценовых и четвертичных отложений и изучены слабо.

500 м. Представлены они следующими основными генетическими типами отложений: ледниковыми, аллювиально-пролювиальными, комплексом плейстоценовых полигенетических песков, аллювиальными и озерными.

I. Ледниковые отложения средне-верхнечетвертичного возраста в регионе пользуются очень широким распространением (см. рис. 15.2). В троговых долинах они образуют конечные и боковые моренные валы и гряды высотой до 100—200 м. В межгорных впадинах морены фиксируются в их прибортовых частях (рис. 18.2). Мощность ледниковых отложений изменяется от 10 до 200 м. Состав их почти повсеместно одинаков. Представлены они толщей несортированных валуно-глыбовых отложений с дресвой, щебнем, гравием и галькой с супесчаным и песчаным, реже суглинистым заполнителем, местами с линзами флювиогляциальных и озерно-ледниковых песков, супесей и илов. Крупнообломочный материал составляет 50—70 %, а местами до 80 % объема всей породы. Редко в составе морен преобладают супеси или суглинки.

На большей части региона ледниковые отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии. Криотекстура отложений линзовидная и корковая вокруг обломков. Содержание ледяных включений изменяется в очень широких пределах — от 1 до 73 % [26]. При оттаивании такие грунты могут оказаться либо практически несжимаемыми, либо будут давать весьма значительные осадки.

В северных районах Байкальского региона в толще моренных отложений во многих местах сохранились массивы погребенного глетчерного льда. По данным И. А. Некрасова и И. В. Климовского [50], в юго-западной части Чарской впадины, у оз. Лепридо, в толще моренных отложений на глубине 2,5—3 м вскрыты линзы льдов мощностью до 8 м. Массивы погребенных льдов мощностью 5—7 м отмечались также в ледниковых отложениях в днище Нижне-Пингамакитской котловины, в долине ручья Левый Сангиях, в верховьях р. Наминги и других местах. Незначительная мощность сезонного протаивания (до 1,5 м) способствует консервации этих льдов, однако при нарушении условий теплообмена грунтов может начаться их вытаивание, сопровождающееся значительными термокарстовыми просадками.

II. Аллювиально-пролювиальные отложения средне-верхнечетвертичного возраста у подножий горных хребтов образуют обширные наклонные подгорные равнины. Сложены они крупнообломочным материалом с супесчаным и суглинистым заполнителем. Материал плохо отсортирован и слабо окатан. По мере удаления от горных склонов крупность слагающего их материала постепенно уменьшается, валуно-глыбовые отложения сменяются последовательно галечниками, гравием, гравелистыми песками и супесями. Мощность отложений до 20—40 м, местами, возможно, более.

Породы в целом характеризуются очень плотным сложением и могут служить надежным основанием для сооружений всех типов.

У подножий южных склонов хребтов отложения эти, как правило, талые с глубоким (5—10 м) залеганием зеркала грунтовых

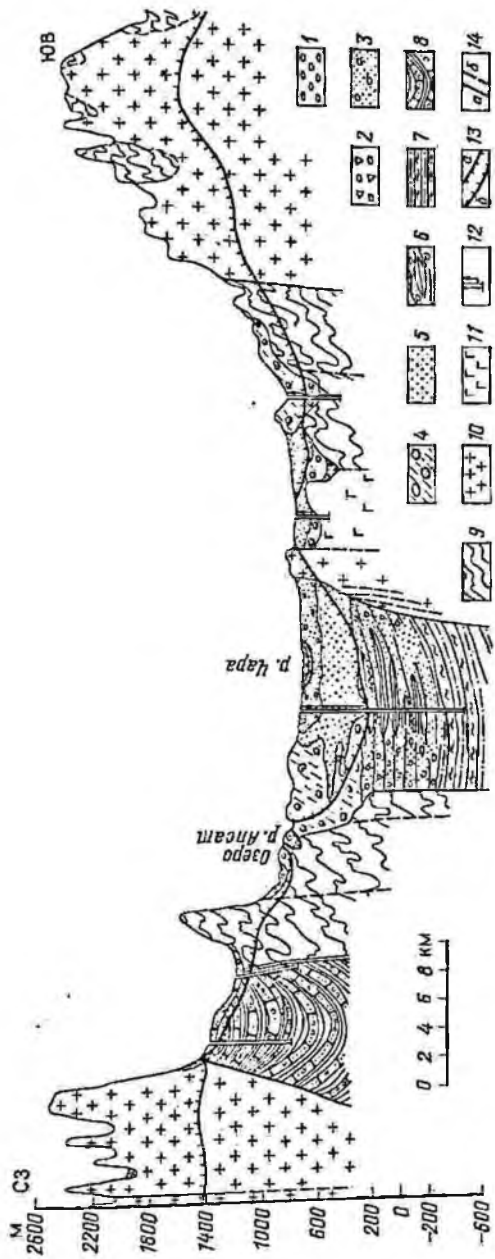


Рис. 18.2. Инженерно-геологический разрез Чарской впадины;

1 — современные аллювиальные отложения (Q_чv) — галечники, пески и супеси; 2 — аллювиально-пролювиальные отложения (арQ_{II-III}) — щебень, галька, валуны, с супесчаными заполнителями; 3 — озерно-аллювиальные отложения (аQ_{III}) — пески и супеси с включением гравия, редко суглинки; 4 — ледниковые отложения (бQ_{II-III}) — валуники, глыбы, галечники с супесчатым заполнителем; 5 — флювиогляциальные отложения (Q_{II-III}) — пески, галечники; 6 — палео-нижнечетвертичные озерно-аллювиальные отложения (N₁₋₂-Q₁) — пески с прослоями глин, галечники и гравий; 7 — терригенная формация миоцена — нижнего плиоцена (N₁₋₂) — переслаивание песчаников, алевролитов и глин; 8 — терригенная угленосная формация мезозоя (J₂-K₁) — переслаивание песчаников, алевролитов, коллювиатов; 9 — комплекс метаморфизованных терригенных отложений (удожанская серия — PR); 10 — гранитоиды (PR); 11 — габброиды (PR); 12 — скважина, стрелкой показана жидкотекучая лава позднемиоценового возраста; 13 — границы многолетнемерзлых пород (α — верхняя, β — нижняя); 14 — разрывные нарушения (α — установившиеся, β — предпологаемые)

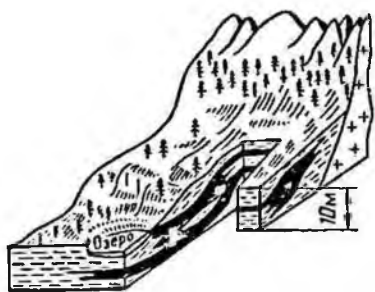


Рис. 18.3. Строение массива подземных льдов, вскрытого в Муйской впадине в делювиально-пролювиальных отложениях у подножия Южно-Муйского хребта (по И. А. Некрасову)

вод, у северных склонов они нередко находятся в многолетнемерзлом состоянии и местами содержат мощные тела подземных льдов. В частности, крупные массивы подземных льдов вскрыты у подножия северного склона Южно-Муйского хребта. Многочисленными скважинами залежи их здесь прослежены в полосе шириной до 300 м, протяженностью до 15 км [50] (рис. 18.3). Эти льды имеют сложное строение и часто представлены несколькими слоями высокольдистого суглинка.

III. Полигенетические плейстоценовые пески в Байкальском регионе распространены очень широко (см. рис. 15.3). Мощность их в межгорных впадинах достигает 200—400 м. Представлены они в основном мелко-среднезернистыми разностями с небольшой примесью пылеватых частиц (см. рис. 16.2).

Пески рыхлого сложения маловлажные, во многих местах подвергаются развеванию и перевеванию. Находятся они преимущественно в талом состоянии. Отдельные острова мерзлых песков приурочены к понижениям рельефа с маломощным покровом суглинка или торфа. В Верхнеангарской и Баргузинской впадинах на глубине 40—100 м в песках фиксируется «погребенная реликтовая мерзлота» [23]. В Чарской и Токкской впадинах отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии с глубины 1—4,5 м. Криогенная текстура песков преимущественно массивная, льдистость незначительна (2—20%) с приуроченностью наибольшей льдистости к слою сезонного протаивания. Обычно они находятся в сыпучемерзлом (морозном) состоянии. Физико-механические свойства песков этого комплекса приведены в разд. 16.1.

IV. Аллювиальные отложения верхнечетвертичного и современного возраста слагают пойму и первую надпойменную террасу рек. Отложения русловой фации аллювия представлены обычно галечниками с песчаным заполнителем, а на участках распространения древних песчаных толщ — гравелистыми песками. Пойменная фация аллювия сложена пылеватыми песками и супесями, реже суглинками мощностью 1—2 м, в пределах межгорных впадин до 6—8 м. С поверхности на них обычно залегают торфяники мощностью 0,5—2 м, местами до 5 м.

Физико-механические свойства отложений этого генезиса приведены в разд. 16.1. Следует лишь отметить, что в Муйской и Чарской впадинах в мерзлых аллювиальных отложениях пойм и первых надпойменных террас широко распространены повторно-жиленные льды. Жилы льда встречаются в торфе и заторфованных

супесях и секут толщу аллювиальных осадков до глубины 6—7 м. Мощность жил льда достигает 2,5—3 м [5, 50].

Геокриологические и гидрогеологические условия. Геокриологические условия Байкальского региона отличаются особой контрастностью и суровостью. Именно в этом регионе наряду с обширными площадями таликов отмечаются аномально большие мощности многолетнемерзлых пород с наиболее низкими температурами.

На северо-востоке региона, в Становом нагорье¹, криолитозона имеет сплошной характер, прерываясь лишь в зонах активных разломов, нередко с выходами термальных вод. На водоразделах с господствующими здесь абсолютными отметками 2000—2200 м мощность криолитозоны составляет 800—900 м при температуре пород минус 6—8 °С. Под вершинами с отметками 2300—2700 м температура пород опускается до минус 11—12 °С, а мощность мерзлой толщи достигает 1000—1200 м [5, 50]. От водоразделов к днищам долин и впадин температура пород повышается до минус 3÷5 °С, часто она близка к 0 °С, мощность криолитозоны здесь сокращается, местами отмечаются сквозные и несквозные подуровневые и пойменные талики (см. рис. 18.2).

Территория с островным и прерывистым распространением ММП примыкает к Байкалу, включая Усть-Селенгинскую, Кичерскую, Верхнеангарскую и часть Баргузинской впадины, а также склоны хребтов Приморского, Байкальского, Баргузинского, Улан-Бургасы и Хамар-Дабана. Некоторое уменьшение степени континентальности климата в сфере влияния оз. Байкал и увеличение мощности снежного покрова обуславливают существенное повышение температуры горных пород. В интервале высот 500—1500 м толщи мерзлых пород занимают не более 50 %, приурочиваясь к долинам рек, заболоченным участкам и склонам северной экспозиции. Мощность мерзлой толщи в долинах составляет 15—50 м, на склонах и междуречьях 25—200 м при температуре мерзлых пород соответственно от -0,2÷-1 до -3 °С. Выше абсолютных отметок 1500—2000 м ММП имеют сплошное развитие мощностью до 300—500 м при температуре пород -3÷-5 °С и ниже.

Распространение ММП во впадинах байкальского типа зависит от их широтного положения. В Тункинской впадине они имеют островное распространение мощностью от нескольких до 30—40 м. Вдоль Байкала, от истоков р. Ангары до дельты р. Селенги, ММП отсутствуют. На севере и северо-востоке оз. Байкал острова мерзлых пород подступают непосредственно к озеру, мощность их достигает 30 м, а на острове Ольхон и в Приольхонье до 80 м.

В Верхнеангарской и южной половине Баргузинской впадины ММП носят островной характер, их мощность изменяется от 30 до 100 м, температура — от -0,1 до -2 °С. Закономерное понижение температуры и увеличение мощности происходят по мере удаления от русла рек к бортам впадин. Однако мерзлые породы, развитые

¹ За восточным флангом Байкальской горной области в литературе закрепилось название «Становое нагорье» [47].

во впадинах, разобщены с мерзлыми породами хребтов радиационно-инфильтрационными таликами в нижних частях склонов южной экспозиции, а также зонами разломов, по которым циркулируют термальные воды.

Для северной половины Баргузинской, а также для Муйской и Баунтовской впадин характерна многолетнемерзлая толща прерывистого типа мощностью до 200 м при температуре пород $-2 \div -4$ °С, для Чарской и Токкской впадин — сплошного типа мощностью до 500 м при температуре пород $-4 \div -6$ °С.

Глубина залегания кровли мерзлых пород вблизи русел крупных рек и на песчаных массивах опускается местами до 40—100 м. Сквозные талики, приуроченные к крупным озерам и руслам рек, выходам термальных вод, а также к очагам разгрузки подземных вод по зонам разломов известны в каждой впадине.

Подземные воды. Контрастные морфоструктурные и геокриологические особенности региона предопределили сложные гидрогеологические условия. В пределах Байкальской гидрогеологической складчатой области выделяют криогидрогеологические массивы и артезианские бассейны байкальского типа, в разной степени промерженные, характеризующиеся особенностями криогидрогеологического разреза, формами скопления, движения и разгрузки подземных вод.

Криогидрогеологические массивы глубокого и сверхглубокого промерзания приурочены к наиболее возвышенным участкам рельефа с абсолютными отметками более 1400—1500 м, сплошным и слабопрерывистым распространением ММП мощностью более 200—300 м. Для этого типа структур характерна практически повсеместная промерженность гидрогеологического разреза с присутствием подземных вод только в некоторых зонах разломов.

Криогидрогеологические массивы неглубокого промерзания образуют нижние части склонов и седловины хребтов с абсолютными отметками до 1500 м с островным и прерывистым распространением ММП мощностью до 200 м. Подземные воды присутствуют здесь как в зоне экзогенной трещиноватости, так и в зонах разрывных нарушений. При этом наблюдается региональный характер обводнения пород с концентрированными условиями питания, движения и разгрузки подземных вод, вызванных наличием на отдельных участках криогенного водоупора.

Трещинно-жильные воды зон разломов преимущественно напорные. Дебиты скважин при самоизливе составляют 2—5 л/с, а иногда достигают 40 л/с (Северо-Муйский хребет).

Проходка Северо-Муйского тоннеля в гранитном массиве из-за прорыва трещинно-жильных вод чрезвычайно осложнялась. Водоприток из отдельных зон в западной части тоннеля составляли от 100 до 5000 м³/ч. Шахтные стволы (ШС) 1 и 2 вследствие прорывов трещинно-жильных вод из тектонических трещин с расходом 400 (ШС 1) и 2000 м³/ч (ШС 2), неоднократно затапливались. Суммарный водоприток в тоннель на восточном его участке протяженностью около 900 м составлял 2900 м³/ч. Прорывы подзем-

ных вод происходили как в пределах зон дробления с холодными водами, так и в пределах очагов разгрузки термальных вод. Суммарный водоприток к середине 1986 г. пройденной части тоннеля достиг 6800 м³/ч. Прогнозный водоприток из непройденной части тоннеля ожидается около 8000 м³/ч [88].

Химический состав и температура трещинно-жилльных вод определяются глубиной их циркуляции и наличием рудной минерализации в зонах разломов. Холодные трещинно-жилльные воды с температурой 2÷4,5 °С гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые и смешанного катионного состава с минерализацией до 0,5 г/л. С глубинными омоложенными разломами связаны термальные воды с температурой от 20 до 75 °С. По составу они гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые и кальциево-натриевые с минерализацией 0,2—0,3 г/л, газифицированы азотом и сероводородом.

Поровые воды распространены в прирусловых таликах долин, где приурочены к четвертичным отложениям различного генезиса. Глубина залегания вод от 0,5 до 3—5 м, местами до 20 м. Водовмещающие породы представлены крупнообломочными разностями, характеризуются высокими значениями коэффициентов фильтрации и соответственно высокой водообильностью. Удельные дебиты скважин, вскрывших воды в аллювиальных и ледниковых отложениях, изменяются от 4 (р. Сакукан) до 40 л/с (р. Наминга), минерализация вод обычно не более 0,1 г/л. По составу воды гидрокарбонатные, натриево-кальциевые, обладают общекислотной и выщелачивающей, реже углекислой агрессивностью по отношению к бетону.

Артезианские бассейны байкальского типа выполнены мощной (до 2000 м и более) толщей рыхлых кайнозойских отложений. Водовмещающими породами служат пески, галечники, валунники аллювиальных, пролювиальных, озерных, ледниковых и водно-ледниковых отложений, формирующих единый водоносный комплекс, содержащий крупные запасы подземных вод. Глубина залегания порово-грунтовых вод от 1 до 10 м, а грунтовых вод в плейстоценовых песчаных массивах — обычно более 10 м. В местах распространения ММП глубина залегания подземных вод контролируется мощностью криолитозоны и достигает в Муйской и Чарской впадинах 200—500 м (см. рис. 18.2). Воды напорные, их уровень устанавливается близко к поверхности, а в пределах песчаных террасо-увалов — на глубинах 40—70 м.

Воды артезианских бассейнов пресные, с минерализацией в Баргузинской впадине на глубине до 1000 м не превышающей 0,3 г/л (с. Могойто). По химическому составу воды гидрокарбонатные, кальциевые, натриево-кальциевые и смешанные, обладают общекислотной и выщелачивающей, реже углекислотной агрессивностью по отношению к бетонам. В глубоких частях разреза возможно увеличение минерализации вод до 3 г/л при их хлоридном натриевом составе. При этом изменяются газовый состав и температура подземных вод с появлением метановых терм. В бортах

впадин по разломам наблюдается разгрузка глубинных термальных вод.

Современные геологические процессы и явления. Приуроченность региона к высокосейсмичной зоне с глубокорасчлененным контрастным рельефом, суровыми климатическими условиями и широким распространением многолетней мерзлоты обуславливает развитие многообразных геологических процессов.

К *эндогенным процессам* относится *сейсмичность*. Байкальский регион находится в зоне интенсивных и частых землетрясений силой до 8—10 баллов (см. рис. 16.4). Сейсмоактивны глубинные разломы, ограничивающие рифтовые впадины, и тяготеющие к ним блоковые морфоструктуры. Особо сейсмоопасны зарождающиеся и эмбриональные формы рифтовых впадин, а также межвпадинные горные перемычки.

Многолетняя мерзлота существенно усложняет сейсмические условия. В зависимости от состава, мощности и температуры многолетнемерзлых пород приращение балльности к исходному баллу может составить от -1 до $+3$ [73, 76].

Современные эндогенные процессы в регионе выражаются не только в высокой сейсмичности и разрывных дислокациях, но и медленных изгибовых деформациях. Отмечаются погружения днщ впадин, сопровождаемые интенсивным заболачиванием (Усть-Селенгинская, Баргузинская, Баунтовская, Намаракитская и другие впадины); зафиксированы признаки вертикальных движений береговой линии оз. Байкал и устойчивые поднятия окружающих его горных хребтов со скоростью от 8 до 14 мм/год. Все это, наряду с усилением эрозионной деятельности рек, указывает на активный и сложный характер современных эндогенных процессов в регионе.

Среди *экзогенных геологических процессов* наиболее существенное значение имеют обвалы, осыпи, оползни, лавины, сели, карст, наледи и лущение грунтов.

Обвалы, осыпи, курумы широко распространены в гольцовом поясе горных хребтов. До 50—75 % площади склонов в этом поясе подвержены обвалам и осыпям и почти сплошь покрыты курумами. В среднегорном и низкогорном ярусах рельефа, а также по берегам оз. Байкал обвалы, осыпи и курумы развиты локально.

Массовое проявление обвалов и осыпей обусловлено глубоким расчленением рельефа, большой крутизной склонов, сложенных сильно трещиноватыми породами, интенсивным морозным выветриванием. Преобладающая масса обвалов незначительна по объему — от нескольких до 100 м³, реже отмечаются обвалы средних объемов — 200—1000 м³. Крупные обвалы, объемом 2—10 тыс. м³ и более, происходят на участках, приуроченных к сейсмогенным структурам. В частности, крупный обвал зафиксирован в долине р. Гуджекит (близ пос. Гуджекит), объем обвальной массы которого достигает 6,5 млн. м³ [13]. Обвалы и камнепады серьезно угрожают трассе БАМ в долинах рек Кунермы, Дельбинды, Гуджекит, Хани и др. Ежегодно здесь происходит большое количество мелких обвалов.

Основная масса обвалов приходится на период весеннего снеготаяния и затяжных дождей. Но особенно крупные и многочисленные обвалы происходят во время землетрясений, когда скалываются и обрушиваются части склонов и отдельные горные вершины, местами создающие запруды на реках. Один из таких обвалов объемом около 5 млн. м³ завалил долину р. Ангарака и создал озерный селеопасный бассейн [75].

Обрушение крупных блоков пород обычно сопровождается осыпанием глыб и щебня, создающим у основания склонов обвальными осыпными шлейфами шириной до нескольких десятков метров.

Каменные россыпи — курумы занимают огромные площади на склонах и водоразделах хребтов. Находятся они обычно в устойчивом состоянии, но по отдельным направлениям испытывают медленное движение. Нередко они приобретают форму каменных потоков — «каменных рек». По данным Б. П. Агафонова, на склонах крутизной 30—35° массовое смещение курумов в Прибайкалье достигает 4,5 см/год, а скорость движения отдельных глыб на поверхности до 34 см/год. На более пологих склонах курумы долгие годы остаются неподвижными даже при 5—6 балльных землетрясениях. Смещение курумов чаще всего вызывается подрезкой склона или разборкой глыб в нижней части склона [13].

Оползни. На юго-восточном берегу оз. Байкал находится крупнейший в Забайкалье Танхойский оползневой район. Оползни здесь развиваются в толще пересланяющихся песчаных и глинистых пород неогена, слагающих цоколь озерных террас и наклоненных к озеру под углом 5—25°. Размеры отдельных оползней на уступе террас от 50 до 750 и от 30 до 800 м по оси смещения. Мощность оползневых тел колеблется от 3 до 20 м. Сползание проявляется как в виде быстрых сдвиговых деформаций, так и в форме медленных смещений толщ пород по уплотненным глинистым прослоям. Оползни значительно осложняют условия эксплуатации железной дороги, проложенной в полувыемках на уступе 80-метровой террасы. Развитию их способствует озерная абразия, а также процессы, приводящие к разупрочнению массива пород (замерзание и оттаивание пород, движение поездов, землетрясения и др.). После подъема уровня озера до подпорной отметки Иркутской ГЭС активность оползней заметно возросла, что потребовало принятия энергичных мер по срезке и укреплению откосов.

В четвертичных рыхлых склоновых образованиях широко развиты своеобразные оползни-сплывы, при которых смещением захватывается маломощный слой переувлажненных грунтов. Они проявляются на склонах в виде смещения массива грунтов вместе с растущими на них деревьями. Сплывы возникают в слое сезонного промерзания или протаяния ММП. В летнее время оттаивающий слой находится в переувлажненном сильно разуплотненном состоянии и при достижении текучепластичной консистенции грунты переходят в подвижное состояние и начинают сползать по поверхности мерзлого или менее разуплотненного талого

слоя. Иногда смещения происходят мгновенно и носят катастрофический характер. Мощность сплывающего слоя грунтов составляет 0,5—1,5 м, в редких случаях 2 м. Объемы сплывающих грунтов составляют обычно 20—50 м³, местами достигают 5—10 тыс. м³ и более. Широкое развитие сплывов наблюдается на откосах железнодорожных выемок по юго-восточному берегу Байкала, нередко приводя к значительным нарушениям движения поездов. В горных районах материал оползней-сплывов представляет один из основных источников твердой фазы селей.

Помимо оползней, вызванных пластическим течением глинистых пород, широкое распространение в регионе получили оползни скальных пород, возникающие в результате соскальзывания крупных блоков пород по плоскостям сланцеватости, тектонических трещин и зон милонитизации. Оползни такого типа известны на берегах оз. Байкал, в долинах рек Тыи, Чаи, Холодной и в долинах хребта Удокан. Обычно они наблюдаются в местах подмыва склонов реками (озерами) и падения пластов пород (сланцеватости) или зон милонитизации в сторону реки или озера. Объемы скальных оползней невелики — 500—1000 м³, редко более. Очень крупные скальные оползни отмечены по берегам оз. Байкал [26]. Решающее влияние на ослабление массива и развитие оползней оказывают процессы бортового отпора, размывающая деятельность рек и озер, периодическое замерзание и оттаивание пород, а также землетрясения.

Снежные лавины. Горные хребты Байкальского региона характеризуются высокой лавинной опасностью, что существенно осложняет инженерное освоение этих территорий. Формирование и сход лавин обусловлены повышенными снеготпасами в горах, интенсивным метелевым переносом снега, сильной расчлененностью рельефа и большой крутизной склонов. Высокая сейсмическая активность региона увеличивает степень лавинной опасности.

В большинстве обследованных районов насчитывается не менее 1—2 лавинных очагов на 1 км длины долины. Так, в долине р. Кунерма, на участке 263—283 км трассы БАМ, зарегистрировано 29 очагов снежных лавин. Наибольший возможный объем лавин из этих очагов 500—700 тыс. м³ [39]. В Баргузинском хребте, в верховьях рек Фролиха, Томпуда, Светлая и других, на протяжении 5—6 км долины насчитывается до 20 и более лавинных лотков. Исключительно высокой лавинной опасностью характеризуются хребты Удокан и Кодар. Так, в верхней части бассейна р. Наминги площадью 81 км² (хр. Удокан) в отдельные зимы число снежных лавин достигало 345 с общим объемом вынесенного снега до 2,3 млн м³.

Доминирующее значение в регионе имеют лотковые лавины, обусловленные преобладанием интенсивно расчлененных склонов над ровными, где иногда возникают снежные осовы. Из генетических типов преобладают лавины метелевые, свежавыпавшего снега и мокрые. В восточных районах с постоянными низкими температурами лавины возникают также в результате сублимационного

диафтореза и возникновения горизонта разрыхления внутри снежной толщи.

Наибольшая лавинная опасность характерна для районов с высокогорным альпийским рельефом, глубиной расчленения 800—1000 м и крутизной склонов более 30°. Здесь лавины возникают ежегодно по всем эрозионным врезам, а в некоторых очагах сход лавин происходит несколько раз за зимний период. Так, в долине р. Кунерма из одного очага в течение зимы сошло 12 лавин. Объем лавины, сошедшей 1 апреля 1971 г., составил 128,4 тыс. м³ [39].

Продолжительность лавиноопасного периода в регионе составляет 6—8 месяцев (с ноября по май), но потенциальная лавинная опасность сохраняется по июнь включительно, а местами и летом. Лавины обладают огромной разрушительной силой. Так, сошедшая на 276 км трассы БАМ в марте 1980 г. лавина срезала опору ЛЭП, разорвала провода на двух пролетах высоковольтной линии и перегородила автомобильную дорогу.

Сели. Для региона характерны большие частота и интенсивность проявления селевых паводков. За последние 50—60 лет сели неоднократно разрушали мостовые переходы, шоссе и железные дороги, различные инженерные сооружения и жилые здания. Важнейшие условия формирования селей — высокогорный крутосклонный рельеф, крутые уклоны тальвегов распадков и ручьев, обилие рыхлообломочного материала на склонах и в долинах, выпадение интенсивных дождей в весенне-летнее время и увеличение поверхностного стока за счет таяния снежников и наледей. Наиболее катастрофические сели формируются при выпадении осадков повышенной интенсивности на заключительном этапе многодневного дождевого периода, в условиях сохранившихся значительных запасов снега в горах [13].

Отчетливо выявляется закономерность в распределении селевых очагов по высоте местности. Наибольшее их количество наблюдается в поясе гор с абсолютными высотами 1500—2000 м, где практически все малые водотоки селеопасны. На участках с высотами менее 1500 м селевые очаги редки.

Оценивая селеопасность региона в целом, следует отметить, что наибольшей селеактивностью отличается юго-восточный склон Баргузинского хребта, прилегающий к одноименной впадине, а также хребты Байкальский, Верхнеангарский, Хамар-Дабан, Кодар и Удокан, где более 50 % всех временных и постоянных водотоков — селевые. Селевые паводки в этих районах по отдельным бассейнам наблюдаются каждые 3—5 лет [60], а в гольцовом поясе гор почти ежегодно то на одних, то на других участках склонов [13]. Непосредственно трассе БАМ сели угрожают в долинах рек Кунерма и Гоуджекит (Байкальский хребет), у подножия Верхнеангарского хребта и в долине р. Хани (хр. Удокан). Весьма активна селевая деятельность в районах Удоканского и Молодежного месторождений. Транссибирским железной и шоссейной дорогам сели угрожают у подножия хребта Хамар-Дабан на участке от г. Бабушкин до ст. Слюдянка.

Карст. Карстовые явления распространены главным образом на западе и юго-западе региона — в Прибайкалье. Наиболее многочисленны его проявления на западных склонах Приморского и Байкальского хребтов в узкой полосе развития рифейской терригенно-карбонатной формации. Карстующиеся отложения — доломиты и известняки голоустенской и улунтуйской свит, образующие пласты мощностью до 200 м. Поверхностные и подземные формы карста представлены здесь различного размера и глубины воронками, котловинами, карстовыми колодцами, суходолами. Местами они прослеживаются по простиранию пачек известняков на расстоянии до 30 км. На глубине от 20 до 70 м выявлено более 26 котловин длиной до 700 м при ширине до 120 м. В этом же районе, в бассейнах рек Кадильной и Голоустной, выявлено много карстовых пещер. Они располагаются на высоте от 60 до 250 м над уровнем оз. Байкал.

В Северном Прибайкалье проявления карста известны в междуречье Тын и Холодной, в районе Холодинского месторождения в карбонатных породах олокитской серии рифея. Здесь встречаются котловины, воронки, озера, в частности озера Аэлита, Баир и другие, много карстовых источников. Карстовые формы вытянуты цепью и тяготеют к тектоническим нарушениям северо-восточного простирания. Размер карстовых воронок достигает 250 м.

На площади Баргузино-Витимского массива карстующиеся породы представлены архейскими мраморами и кальцифирами. Районы наиболее широкого распространения карста в этих породах — о. Ольхон и Приольхонье. Здесь выявлено более 50 пещер, большое количество крупных карстовых впадин, воронок и провальных котловин, частично занятых озерами. Почти всегда карстовые формы приурочиваются к зонам разломов.

В восточной части региона проявления карста отмечены в бассейне р. Верхняя Ангара и в Верхнекаларской впадине. Они связаны с породами терригенно-карбонатной формации кембрия, которые наиболее широко развиты по южному склону Верхнеангарского хребта и в самой впадине в районе устьев рек Светлой и Гонкули, где известняки выходят на дневную поверхность из-под толщи аллювиальных отложений.

Большое влияние карст оказывает на распространение поверхностных и подземных вод. Многие долины в пределах карбонатных пород представляют собой суходолы, подземные воды в них залегают, как правило, на большой глубине. Естественная разгрузка этих вод происходит обычно на контакте известняков с другими породами, дебиты источников достигают 300 л/с. При вскрытии таких зон горными выработками они дают значительные водопритоки, достигающие в Слюдянском руднике 700 м³/ч.

Золотые процессы (развевание и перевевание песков). Основные площади развеваемых песков находятся в Тункинской, Баргузинской, Чарской и Верхнеангарской впадинах, в долине р. Селенги, по восточному побережью оз. Байкал и на о. Ольхон. В результате развевания и перевевания песков возникают ниши, котлови-

ны выдувания, дюны, кучевые бугры и барханы. Движущиеся песчаные лунки наступают на лес, засыпают дороги, местами угрожают населенным пунктам. В Баргузинской впадине более 70 % площадей пашен, расположенных на песчаных куйтунах, подвергаются дефляции, из них около 40 % — в сильной степени. Исследования показывают, что каждая пыльная буря в весенний период уносит с 1 га пашни в среднем 59 т почвы. В результате сноса верхнего плодородного слоя почвы большие массивы полей потеряли плодородие и превратились в бесплодные участки.

Площади развеваемых песков возрастают с каждым годом в результате хозяйственной деятельности человека из-за несоблюдения противодефляционных мер. При освоении новых площадей в Байкальском регионе, подверженных эоловым процессам, необходимо строгое выполнение всех противоэрозийных мероприятий.

Криогенные процессы. Широкое распространение ММП и суровые климатические условия обуславливают развитие разнообразных мерзлотных процессов: наледей, пучения грунтов, термокарста и др.

Наледи различных генетических типов — речные, грунтовые, ключевые, широко распространены на всей территории региона. Большинство из них приурочено к долинам мелких и средних рек. Основную роль в их питании играют напорные трещинно-жильные и трещинно-пластовые воды подмерзлотного стока, разгружающиеся через гидрогенные и гидрогеогенные напорно-фильтрационные талки.

Большая часть наледей сосредоточена в восточной части региона — в пределах Станового нагорья. По неполным данным здесь зафиксировано более 1500 наледей суммарной площадью около 400 км² и суммарным объемом до 600 млн м³ [1, 31].

Преобладают в регионе наледи площадью 0,1—0,5 км², редко более. Наиболее крупные наледи, площадью до 4,2 км², зафиксированы в долине р. Сюльбан, причем длина одной из них 8,4, а другой — 24 км. Наледи площадью более 3 км² отмечены в Чарской впадине и на р. Читканда [50]. Средние мощности наледей 1—2 м, максимально 6 м, а в отдельных сужениях долин — 10—15 м (реки Намама, Верхний Сакукан и др.).

Распределение наледей по высоте местности в различных частях региона характеризуется значительной неравномерностью [31], однако подавляющая часть их (более 80 %) располагается в интервале высот 800—1500 м. Единичные и небольшие по объему наледи отмечены на абсолютных высотах 1600—1760 м.

Формирование наледей происходит с ноября по апрель, причем наиболее интенсивно они растут в первой половине зимы. Таяние их начинается в конце апреля и продолжается до конца августа — начала сентября. Отдельные наледи, лежащие на абсолютных высотах более 1600, по-видимому, перелетывают [50].

Пучение грунтов. Одна из наиболее распространенных форм этого процесса — общее сезонное пучение пылеватых суглинков

ков и супесей при их промерзании. Оно широко проявляется в основании грунтовых и железных дорог и местами серьезно осложняет движение транспорта. Величина пучения при прочих равных условиях возрастает с увеличением влажности грунта и может достигать 50 см за зиму.

Помимо общего сезонного пучения в регионе широко проявляется также локальное пучение грунтов в виде бугров и гидроакколлитов как сезонных, так и многолетних. Высота их от 0,5—3 до 5—8 м, диаметр от 2—5 до 50 м, редко до 100—200 м. Развиваются они в днищах заболоченных долин и межгорных впадин, а также на марях в нижних частях склонов в результате промерзания вод сезонноталого слоя или прирусловых и подозерных таликов. Сложены бугры сильно льдистыми торфяниками или минеральными грунтами, нередко с ледяным ядром мощностью от 0,3—1,5 до 6 м. Отмечаются одиночные и группы бугров, нередко вытянутые в одном направлении вдоль потока подземных вод. Рост бугров начинается в ноябре—декабре, наиболее интенсивно в феврале—марте. Разрушение сезонных заканчивается в июле—августе.

Термокарст. Оттаивание льдистых ММП приводит к возникновению западин, провалов и понижений местности, со временем превращающихся в озера и болота. Весьма широко термокарстовые процессы проявлены в Тункьинской, Баргузинской и Баунтовской впадинах. Иногда они приобретают катастрофический характер. Так, в 1967 г. около оз. Леприндо, в непосредственной близости к трассе БАМ, образовался термокарстовый провал площадью более 2,5 тыс. м², глубиной 20 м [75]. В Чарской и Муйской впадинах термокарст развивается по повторно-жильным льдам, что приводит к появлению бугристо-западинного рельефа, столь характерного для аллювиальных равнин долин рек Чары, Муи, Конды, Витима, Олекмы и др.

Развитию термокарстовых просадок способствует хозяйственная деятельность человека. Они могут быть вызваны рубками леса, нарушении напочвенного покрова в связи с движением гусеничного транспорта и т. п. и обычно взаимодействуют с эрозионными и другими процессами.

Динамика берегов оз. Байкал. Берега оз. Байкал формировались в течение длительного геологического времени. За это время происходило значительное колебание его уровня, обуславливавшее переформирование и выработку профиля берега и подводного склона, соответствующего определенному уровню озера.

После постройки Иркутской ГЭС в 1964 г. и поднятия уровня озера снова происходит переформирование берегов на всем протяжении. Почти повсеместно активизировался размыв берегов. Размыв берегов, сложенных рыхлыми породами, особенно в первые годы, составил в среднем 3—6 м/год (в горизонтальном направлении). К настоящему времени этот процесс затухает. По данным прогноза ширина зоны размыва абразионных берегов достигает в отдельных местах 30—80 м, а денудационно-абразионных, сложенных скальными породами, 15—20 м.

На низких берегах произошло подтопление устьевых участков рек. Общая площадь затопления прибрежных территорий составила свыше 500 км². Наибольшие площади были затоплены в дельтах рек Селенги (более 350 км²) и Верхней Ангары (97 км²). Значительному подпору подверглись также реки Рель, Томпуда, Кабанья, Большая Речка и др. Подъем уровня грунтовых вод вызвал заболачивание прибрежных земель и гибель леса. На низкой Усть-Кичерской равнине произошло слияние озер, многие из которых превратились в заливы оз. Байкал.

Усиление абразии берегов привело к активизации обвалов, осыпей, оползней и сплывов в пределах берегового уступа и соответственно к увеличению количества рыхлообломочного материала, поступающего во вдольбереговой поток наносов. В связи с этим на отдельных участках озера произошло наступание берега. Наиболее устойчивый прирост берега происходит на мысе Котельниковский. За последние годы он выдвинулся в озеро более чем на 13 м, мыс Елохин — на 4,6 м, мыс Заворотный на 3,3 м.

Переформирование берегов Байкала продолжается.

*
* * *

В целом Байкальский регион характеризуется чрезвычайно сложными инженерно-геологическими условиями из-за сильно пересеченного горного рельефа с крайне ограниченными возможностями выбора строительных площадок, высокой сейсмичности, широкого распространения многолетней мерзлоты и значительной активности разнообразных экзогенных геологических процессов. При строительстве в горных районах одной из важнейших проблем будет защита сооружений от лавин, селей, горных обвалов, скальных оползней, наледей и других явлений. Высокая сейсмическая активность территории обуславливает необходимость применения при строительстве сейсмостойких конструкций.

Более благоприятными инженерно-геологическими условиями характеризуются межгорные впадины. Мощная толща рыхлых отложений в них обладает некоторыми амортизационными свойствами, поэтому сейсмическая опасность здесь по крайней мере на 1 балл ниже, чем в горных районах. Удобные строительные площадки — предгорные пролювиальные шлейфы, сложенные крупнообломочными грунтами с высокими несущими свойствами. В случае отсутствия в их фундаменте сейсмоактивных разломов они могут использоваться для размещения различных сооружений. Более предпочтительны для строительного освоения песчаные массивы (куйтуны), образующие у юго-восточных бортов впадин террасовалы. Многолетнемерзлые породы здесь отсутствуют или залегают глубоко, зеркало грунтовых вод располагается, как правило, на глубине более 10 м. Однако хозяйственное освоение песчаных массивов должно происходить только на основе строгого соблюдения противодефляционных мероприятий.

ГЛАВА 19 БАЙКАЛО-ПАТОМСКИЙ РЕГИОН

Регион расположен к северу от Байкальского сводового поднятия и соответствует Байкало-Патомскому нагорью. В структурно-тектоническом плане он приурочен к Байкало-Патомской складчатой системе байкалид, геосинклинальное развитие которой завершилось в позднем рифее. Нагорье характеризуется слабым проявлением и слабой дифференцированностью неотектонических движений, межгорные впадины в его пределах отсутствуют.

Байкало-Патомское нагорье представляет собой горную страну средних и низких высот. Высота поверхности нагорья в общем увеличивается от центра к его краям и с севера на юг от 800—1000 до 2000 м. Преобладают высоты 1200—1500 м. Центральная, наиболее пониженная часть нагорья, именуется Чая-Жуинской или Чая-Витимской внутренней депрессией. Характерные типы рельефа — массивные гольцовые группы с плоскими и округлыми вершинами водоразделов. Поверхность нагорья расчленена густой сетью речных долин, для которых характерно чередование узких каньонобразных участков с расширенными заболоченными и террасированными участками (долины рек Витим, Мама, Большая Чаю, Большой Патом, Жуя и др.). Глубина вреза речных долин 300—400 м и только на юге местами достигает 500—700 м.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Основу внутреннего строения Байкало-Патомской складчатой системы образуют Чуйско-Тонодское и Нечерское антиклинальные поднятия и сопряженные с ними Жуинско-Патомский (Байкало-Патомский) краевой и Бодайбинский внутренний прогибы (см. рис. 15.1).

В пределах антиклинальных поднятий обнажаются породы нижнего структурного яруса, представленные глубокометаморфизованными образованиями гнейсо-мигматитовой формации нижнего протерозоя, пронизанные многочисленными телами гранитоидов. На крайнем юге находится крупный массив палеозойских гранитоидов.

Для региона характерны осадочно-метаморфические отложения патомской серии, образующие *терригенно-карбонатную формацию рифея* мощностью 10—12 км. В Жуинско-Патомском прогибе в разрезе формации выделяются два комплекса пород. Нижний — терригенный, мощностью до 4000 м, представлен разнородными песчаниками с прослоями алевролитов, филлитов и конгломератов (баллаганакская подсерия). Выше залегает толща пород (кадаликанская подсерия) мощностью до 2500 м, в строении которой существенную роль играют карбонатные породы: известняки, доломиты и карбонатные сланцы, перемежающиеся с песчаниками, филлитами, алевролитами и др.

В Бодайбинском прогибе, помимо нижнего терригенного и карбонатного комплексов, выделяют верхний (бодайбинская подсерия), в основном терригенный, мощностью 3000—4500 м, сложен-

ный песчаниками с пачками кварцево-углистых и других сланцев, гравелитов и кварцитов, в верхах разреза появляются карбонатные породы (рис. 19.1).

Наблюдаются значительные перепады степени метаморфизма пород — от почти неизменных до глубокометаморфизованных, причем в их распространении отчетливо выражена зональность. Зона начального метаморфизма охватывает приплатформенную окраину региона и прослеживается в виде дуги вдоль всей его периферии. К югу наблюдается постепенное нарастание метаморфизма пород вплоть до амфиболовой фации.

Преобладающие породы формации — кристаллические сланцы, известняки и метапесчаники, часто переслаивающиеся друг с другом. Среди сланцев различают следующие разновидности: серицито-хлоритовые, биотитово-мусковитовые, биотитово-гранатовые, биотитово-роговообманковые и др. Известняки мелко- и среднезернистые, иногда слюдястые, массивной текстуры, местами сланцеватые.

Песчаники кварц-полевошпатовые, олигомиктовые и аркозовые, обычно рассланцованные, слюдястые; цемент их хлорит-серицитовый; иногда карбонатный. Породы в целом характеризуются высокой прочностью (табл. 19.1).

Существенное снижение прочности пород наблюдается в зоне выветривания. Так, значения временного сопротивления сжатию в сухом состоянии составляют у сланцев на глубине 25—30 м от дневной поверхности 111—175, у известняков 100—196 МПа, тогда как вблизи дневной поверхности они снижаются соответственно до 36 и 78 МПа, значения общей пористости изменяются от 1—3% на глубине до 4—7% близ дневной поверхности. Для сланцев в водонасыщенном состоянии характерны следующие величины сопротивления сколу: вдоль сланцеватости 8—12 МПа, поперек сланцеватости 12—14 МПа. Для известняков сопротивление сколу колеблется от 10,2 до 17,6 МПа.

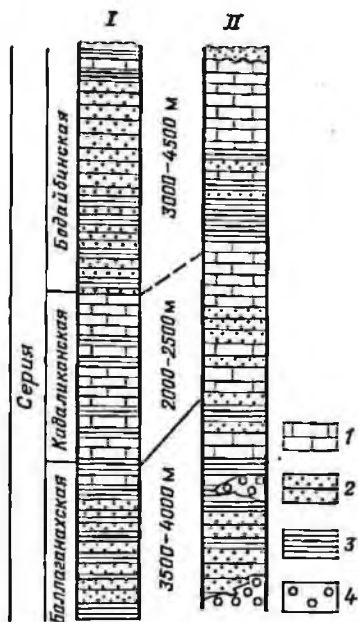


Рис. 19.1. Схематические разрезы терригенно-карбонатной формации рифея Байкало-Патомской складчатой системы (по К. А. Клитину, с изменениями):

1 — известняки, доломиты, мергели; 2 — песчаники; 3 — алевролиты, сланцы; 4 — конгломераты. Местоположение разрезов: I — Бодайбинский прогиб, II — Жуинско-Патомский прогиб (нижнее течение р. Жун)

Таблица 19.1

Физико-механические свойства некоторых пород терригенно-карбонатной формации Байкало-Патомского региона (по материалам «Гидропроекта»).

Показатели свойств	Известняки	Сланцы
Плотность, г/см ³	2,77 $\frac{0,06 (2)}{2,72-3,05}$ 35	2,82 $\frac{0,05 (2)}{2,64-2,99}$ 81
Плотность при естественной влажности, г/см ³	2,74 $\frac{0,1 (4)}{2,57-3,02}$ 92	2,76 $\frac{0,06 (2)}{2,58-3,0}$ 156
Пористость, %:		
открытая	0,46 $\frac{0,2 (43)}{0,17-1,28}$ 74	0,73 $\frac{0,24 (33)}{0,29-1,56}$ 92
общая	1,44 $\frac{0,83 (58)}{0,36-4,24}$ 45	2,29 $\frac{1,26 (55)}{0,35-7,37}$ 115
Водопоглощение, %	0,23 $\frac{0,26 (113)}{0,06-1,96}$ 90	0,42 $\frac{0,44 (103)}{0,12-2,46}$ 112
Временное сопротивление сжатию под углом к сланцеватости, МПа:		
в сухом состоянии	124 $\frac{22 (18)}{78-196}$ 39	111 $\frac{34 (31)}{36-175}$ 40
в водонасыщенном состоянии	108 $\frac{18 (17)}{39-138}$ 41	78 $\frac{24 (31)}{31-121}$ 39

Примечание. Цифра перед дробью — среднее значение показателя; в числителе — стандартное отклонение, в скобках — коэффициент вариации; в знаменателе — минимальное и максимальное значения показателя; после дроби — число определений.

Породы слабо трещиноваты. Ширина трещин от волосных до 3 мм, в зоне выветривания достигает 2—5 мм; коэффициент трещинной пустотности от 1 до 2 %. С глубиной количество и ширина трещин резко убывают и на глубине более 10 м от дневной поверхности трещиноватость становится незначительной. Исключение составляют зоны разломов, где сильно раздробленные породы отмечаются на значительных глубинах с малым выходом керна (до 25 %). Трещины в сланцах обычно заполнены глинистым веществом, а в известняках они чаще зияющие, расширенные карстовыми процессами. Преобладают трещины северо-восточного простирания с углами падения 30—80°. В долинах рек Витим, Мамакан, Бодайбо и других отмечаются трещины бортового отпора, параллельные руслам рек, приуроченные к крутым склонам.

Четвертичные отложения в регионе представлены аллювиальными, ледниковыми, озерно-ледниковыми, флювиогляциальными и склоновыми (делювиально-солифлюкционными) отложениями. Мощность четвертичных отложений в долинах на большей части территории составляет 5—10 м, редко более. Исключение представляют древние погребенные долины в центральной части регио-

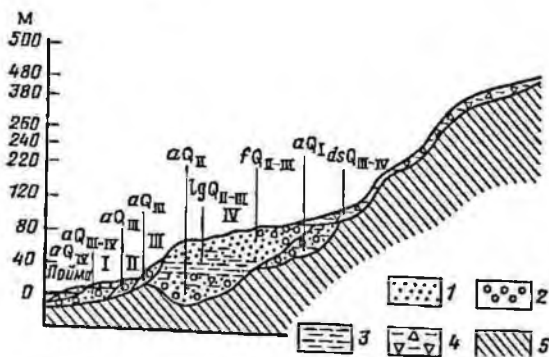


Рис. 19.2. Схема строения долины и взаимоотношения четвертичных отложений Байкало-Патомского нагорья;

1 — пески, супеси; 2 — валуно-галечниковые отложения; 3 — суглинки, глины, илы; 4 — суглинки и супеси с включениями щебня и глыб; 5 — коренные породы, I—IV — номера надпойменных террас

на — в пределах Чая-Жуинской внутренней депрессии, где мощности отложений достигают 70—80 м и более (рис. 19.2).

Под террасовым комплексом долин погребен сложный древний эрозионный рельеф с многочисленными погребенными долинами, днища которых местами располагаются ниже уреза современных рек. Современные долины обычно совпадают с направлением древних, местами же проходят в стороне от последних. В частности, на р. Бодайбо современная долина располагается в стороне от древней, погребенной под 75-метровой толщей наносов, и отделена от последней цоколем из коренных пород. В таких долинах наблюдается сложное чередование аллювиальных, ледниковых, озерно-ледниковых и флювиогляциальных отложений.

В основании разреза лежит слой аллювиальных галечников и слой нижних серых песков мощностью 3—4 м. Выше залегают глинистые осадки мощностью 10—30 м, содержащие в низах разреза окатанные и неокатанные обломки гранитов, характерные для морен. Аккумуляция глинистых пород (илов) сменяется аккумуляцией флювиогляциальных (?) светло-серых кварцевых песков, содержащих в верхах разреза линзы галечников. Мощность этих отложений колеблется от 12 до 40 м.

Отложения, слагающие аллювий поймы и I надпойменной террасы, представлены галечниками. Преобладают крупные, слабоокатанные галечники, содержащие нередко включения валунов размером до 0,5 м. Заполнителем в них является песок — от мелко- до крупнозернистого (10—15 %, в редких случаях до 40—50 %). Пески встречаются также в виде прослоев и линз среди галечников. Почти повсеместно отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии. Для них характерны корковая криогенная текстура и объемная льдистость до 25—30 %. По мере приближения к бортам долины льдистость пород повышается.

В пойменной фации аллювия преобладают пески и супеси. На некоторых дренированных участках пойм и I террасы эти отложения целиком входят в слой сезонного протаивания. Находящиеся в многолетнемерзлом состоянии пески и супеси обладают линзовидно-слоистой криогенной текстурой с мощностью ледяных прослоев 1—2 см и объемной льдистостью от 20 до 70 %. Наибольшая льдистость (до 75—90 %) отмечается в отложениях старично-болотных фаций и на участках развития полигонально-жильных льдов.

Элювиальные и склоновые (делювиально-солифлюкционные) образования покрывают вершины, горные склоны и тыловые части террас почти сплошным чехлом мощностью 1,5—2 м, местами более. На крутых склонах (более 15°) они представлены щебнисто-глыбовыми отложениями с супесчаными и суглинистым заполнителем до 30—40 %, на склонах крутизной менее 15° — супесями и суглинками с включением дресвы и обломков коренных пород до 25—30 %.

В нижних частях пологих склонов мощность делювиально-солифлюкционных отложений, находящихся обычно в многолетнемерзлом состоянии, достигает 3—4 м. Они характеризуются различными криогенными текстурами: тонкослойной, линзовидной и массивной. Нередко они заключают также сингенетические повторно-жильные льды и изначально грунтовые жилы, заходящие своими нижними концами в подстилающие их коренные или аллювиальные отложения. Объемная льдистость этих отложений 35—45 %, а на участках развития повторно-жильных льдов 60—70 %. При протаивании супеси и суглинки приобретают пластичную или текучую консистенцию и проявляют тиксотропные свойства.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Сплошность распространения и мощность многолетнемерзлой толщи нарастает от северных окраин региона к южным и юго-западным по мере возрастания абсолютных высот местности, а также от прирусловых зон к бортам долины, несколько снижается к водоразделам низких гор и вновь возрастает в горах с абсолютными высотами более 1000—1100 м.

В нижнем течении рек Витим, Мама, Большая Чуя выделяется область островной многолетней мерзлоты. Многолетнемерзлые породы здесь приурочены к днищам долин и нижним частям склонов северной экспозиции. Мощность их обычно не превышает 10—15 м, при температуре пород $-0,2 \div -1,5^\circ$.

В центральной части нагорья ММП занимают до 60 % площади. Мощность мерзлой толщи здесь изменяется от 10—30 до 70 м, максимальная 130 м (бассейн р. Энгажимо), температура мерзлых пород $-1,5 \div -2,5^\circ$. Талые породы распространены на склонах южной экспозиции и на невысоких водоразделах. В долинах рек обычно проморожена только верхняя часть разреза, а в прирусловой зоне развиты сквозные талики. Максимальных размеров (до сотен метров ширины) таликовые зоны достигают в переуглубленных долинах рек Бодайбо, Энгажимо, Угахан и др.

Наиболее суровые геокриологические условия свойственны горам, абсолютные отметки которых более 1000 м. Распространение многолетнемерзлых пород здесь сплошное. Мерзлая толща прерывается редкими таликами в зонах обводненных разломов и среди закарстованных карбонатных пород. Температура пород понижается с увеличением абсолютной высоты гор от -3 до -7° , а мощность мерзлой толщи увеличивается от 200 до 500 м и, возможно, более.

Подземные воды. В Байкало-Патомском криогидрогеологическом массиве прерывистого промерзания встречаются порово-пластовые воды четвертичных отложений, трещинно-грунтовые, трещинно-пластовые и трещинно-карстовые воды осадочно-метаморфических и интрузивных пород и трещинно-жилые воды зон разломов. Наибольшими дебитами характеризуются трещинно-карстовые и трещинно-жилые воды. Последние обычно обладают значительными напорами.

Обводненность четвертичных отложений весьма пестрая. Скважины, вскрывающие эти воды, имеют удельные дебиты до 1,5 л/с, расходы источников обычно не более 0,5 л/с. В Чая-Жуинской внутренней депрессии в древних погребенных долинах имеются водоносные горизонты аллювиальных и флювиогляциальных отложений, разделенные слабо проницаемыми ледниковыми и озерно-ледниковыми отложениями. Воды этих горизонтов обладают напором до 20—50 м.

Подземные воды региона пресные с минерализацией до 0,5 г/л, гидрокарбонатные смешанного катионного состава, по отношению к бетонным слабоагрессивны.

Современные геологические процессы и явления. Сейсмичность. Байкало-Патомское нагорье отнесено к районам с силой землетрясений в 7 и 6 баллов (см. рис. 16.4). Сейсмическая опасность этой территории определяется в основном «транзитными» потрясениями из очагов Байкальской рифтовой зоны [69]. Практически асейсмичны северная и северо-западная окраины региона.

Карст. Несмотря на широкое распространение растворимых карбонатных пород, следы проявления карста в регионе немногочисленны, что связано, вероятно, со слабым проявлением и слабой дифференцированностью неотектонических движений. Карстовые формы зафиксированы на севере региона, где карбонатные породы рифея относительно слабо метаморфизованы. Здесь выявлены карстовые воронки и озера, пещеры, поноры, исчезающие речки и т. д., приуроченные к известнякам кадаликанской подсерии рифея [34].

Криогенные процессы. Довольно широкое развитие в регионе имеет процесс пучения грунтов. Проявляется он в форме морозного выпучивания каменного материала на поверхность и обычно сочетается с солифлюкцией. В результате образуются каменные курумы на водоразделах и склонах, медленно сползающие вниз. В нижних частях пологих склонов они нередко приобретают форму каменных потоков — «каменных рек».

Почти на всех водотоках образуются наледи различных генетических типов. Наиболее крупные из них образуются в местах выхода трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод. На р. Бодайбо наледи достигают 1—2 км длины при толщине льда до 4 м.

Широко развиты в регионе солифлюкция и оползни-сплывы, охватывающие переувлажненные грунты слоя сезонного промерзания-протаивания. Местами оползни-сплывы имели крупные размеры — до нескольких тысяч кубических метров. Крупные грунтовые сплывы отмечались в долинах рек Бодайбо, Мама, Большая Чуя и др.

Анализ имеющихся литературных материалов свидетельствует об относительно широком развитии в регионе процессов морозобойного трещинообразования, приводящего к формированию повторно-жильных льдов. Они отмечались на поймах и низких террасах в бассейнах рек Жуя, Большой Патом и др. Мощность ледяных жил достигает 1 м с глубиной проникновения до 3—3,5 м. В плане они образуют решетку со стороной полигонов 8—10 м.

Байкало-Патомское нагорье относится к районам со слабой лавинной опасностью. Здесь отмечались лишь единичные небольшие лавины, возникающие в особенно снежные зимы. Сход лавин может быть спровоцирован вырубкой леса, созданием крутых искусственных откосов на склонах, взрывами и т. п.

Существенный геологический фактор в регионе — деятельность человека. За более чем столетний период горных работ были перемещены сотни миллионов кубометров горных пород. Отвалы драг и старательских работ, а также талые целики под ними в настоящее время оказались промороженными на глубину до 20—30 м. Образованные при дражных работах новые искусственные протоки, залывы и пруды быстро заполняются наносами. Скорость заполнения их осадками (песком, илом) достигает 3 м в год.

В целом Байкало-Патомский регион характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями. В процессе изысканий и строительства необходимо учитывать наличие многолетней, преимущественно высокотемпературной неустойчивой мерзлоты, интенсивное развитие мерзлотных процессов и возможную закарстованность карбонатных массивов. При дорожном строительстве существенные трудности будут возникать на участках заболоченных долин и переувлажненных пологих склонов с широким распространением вод сезонноталого слоя, способствующих увлажнению земляного полотна летом и образованию пучений и наледей зимой.

При гидротехническом строительстве, помимо карста, необходимо учитывать возможность утечки воды из водохранилища под основание плотин по древним долинам, врезанным обычно глубже современных русел. С этими особенностями столкнулись при строительстве Мамаканской ГЭС, что потребовало принятия специальных инженерных решений (см. разд. 28.4).

К югу от Байкальского сводового поднятия располагается гигантское понижение рельефа (Селенгино-Витимский синклинорий, по Н. А. Флоренсову), отвечающее одноименному инженерно-геологическому региону. Он протягивается в северо-восточном направлении от верховьев р. Джиды до Станового хребта на расстоянии более 1500 км при средней ширине около 300 км. Регион охватывает геоструктурные области каледонской (Селенгино-Яблоновой) и позднерархейской (Становой) складчатости, подвергшихся в мезозое интенсивной тектоно-магматической активизации. В морфоструктурном плане он включает Селенгинское среднегорье, Нерча-Олекминское среднегорье и Витимское плоскогорье, соответствующих инженерно-геологическим регионам третьего порядка (см. рис. 17).

Селенгинское среднегорье, включающее также Джидинский горный район, представляет чередование узких горст-антиклинальных хребтов и грабен-синклинальных впадин забайкальского типа, ориентированных в северо-восточном направлении. Основные горные хребты: Малханский, Яблоновый, Заганский, Цаган-Дабан, Цаган-Хуртэй и др. Среди них расположены цепочки впадин: Гусиноозерско-Удинская, Тугнуйско-Кижингская, Хилокская, Чикой-Ингодинская и др. Преобладающие абсолютные отметки хребтов 1000—1300 м, отметки днищ впадин 500—700 м.

Джидинский горный район характеризуется более значительной общей высотой поверхности. К нему относятся средневысотные отроги Хангар-Ульского хребта, Малого Хамар-Дабана на севере и протянувшийся вдоль границы с МНР Джидинский хребет на юге, разделенные широкой долиной р. Джиды. Характерная особенность рельефа Джидинского района заключается в широком распространении молодых вулканических покровов, обуславливающих платообразный характер водоразделов с множеством вулканических конусов.

Нерча-Олекминское среднегорье представляет собой непосредственное продолжение Селенгинского среднегорья и в морфоструктурном плане они сходны. Основные его орографические единицы — хребты Муройский, Тунгирский, Куэнгский, Хорьковский, Алеурский, Черомный и другие, образующие так называемое Олекминское Становое нагорье. Абсолютные отметки хребтов изменяются от 900 до 1900 м. Межгорные впадины, разделяющие хребты, узкие (4—6, редко до 10—15 км); но сильно вытянуты; абсолютные отметки их днищ 600—1000 м. В южной части района, по левобережью р. Шилки, рельеф низкогорный (Пришилкинское плато), для которого типичны слабо расчлененные выположенные междуречья и изометричные по форме впадины.

Витимское плоскогорье отличается небольшими колебаниями абсолютных высот и слабой степенью эрозионного расчленения. Для него характерны широкие уваловидные хребты, разделенные неглубокими межгорными впадинами. Сглаженные уплощенные

вершины хребтов, высоты которых составляют на юге 1100—1300 м, на севере до 1500—1700 м, поднимаются над днищами долин и впадин на 200—600 м. Днища долин и впадин обычно заболочены, с множеством больших и малых озер. В качестве особого геоморфологического элемента в пределах Витимского плоскогорья выделяется Амалатское плато, сложенное неогеновыми и четвертичными базальтами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. На территории Селенгино-Витимского региона преимущественным распространением пользуются разновозрастные гранитоиды. На ограниченных участках встречаются глубокометаморфизованные породы гнейсо-мигматитовой формации. В бассейне р. Джиды широко распространены породы вулканогенно-карбонатно-терригенной формации рифей-нижнекембрийского возраста, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации. Для этого района, а также для Витимского плоскогорья характерны обширные потоки и покровы базальтовых лав неогенового и четвертичного возраста. Они залегают как на вершинах хребтов, так и в долинах и межгорных впадинах.

Массивы гранитоидов совместно с заключенными в них останками метаморфических пород образуют структуры типа гранито-гнейсовых куполов и валов северо-восточного простирания. Грабен-синоклинали, выраженные в современном рельефе межгорными впадинами, выполнены породами угленосной формации юрско-нижнемелового возраста. Вдоль бортов впадин, реже на водоразделах, залегают породы базальт-андезит-липаритовой формации мезозойского возраста, широкое распространение которых особенно характерно для данного региона.

Базальт-андезит-липаритовая формация мезозоя представляет собой очень сложный комплекс пород, в котором отмечается чередование кислых, щелочных, средних и основных эффузивов, содержащих прослойки и пачки туфов и осадочных пород суммарной мощностью до 8 тыс. м. Преобладающие в нем породы — фельзиты, кварцевые порфиры, ортофиры, андезитовые и базальтовые порфириты, трахибазальты и их туфы. Подчиненное значение в разрезе занимают конгломераты, песчаники, сланцы. Породы формации отличаются исключительно высокой прочностью и устойчивостью к выветриванию. Временное сопротивление сжатию в сухом состоянии у большинства образцов составляет 150—250 МПа, в водонасыщенном — 130—227 МПа, потеря прочности после 25-кратного замораживания не превышает 15—20% [26]. В массиве породы также прочны, вдоль берегов рек, на склонах и вершинах гор они образуют почти отвесные обрывы высотой до 100 м и более. Прочность массивов несколько снижается из-за прослоев песчаников и сланцев, которые встречаются в разрезе формации не повсеместно.

Угленосная формация юрско-нижнемелового возраста выполняется межгорные впадины забайкальского типа, в пределах которых в основном сосредоточены все виды стронительства. Представлена она песчаниками, гравелитами, конгломератами, алевролитами и ар-

тиллитами, переслаивающимися и взаимозамещающимися между собой, с прослоями и пачками углей. Породы формации залегают обычно вторыми или третьими от поверхности под четвертичными и неогеновыми отложениями. Местами, чаще у северо-западных бортов впадин, они выходят на дневную поверхность. До глубины 5—10, а иногда до 40 м, породы сильно выветрели, нередко до состояния плотных песков и галечников. В невыветрелом состоянии степень цементации и литификации их различна. Преобладающие в общей массе песчаники и конгломераты то прочно сцементированы, то полурыхлые.

В целом породы угленосной формации слабо трещиноваты, малопрочные, однако по прочности они значительно превосходят допустимые нагрузки любого типа наземных сооружений. В стенках и кровле подземных выработок породы неустойчивы, проходка выработок всегда ведется со сплошным креплением. Физико-механические свойства пород формации приведены в табл. 20.1.

Породы описываемой формации, находящиеся в многолетнемерзлом состоянии, характеризуются в общем незначительной льдонасыщенностью. Для них типична трещинная или трещинносетчатая криогенная текстура с мощностью ледяных прожилков 1—2 мм. По данным В. Л. Невечери и Л. А. Шаврина, изучавших многолетнемерзлые породы в Читино-Ингодинской впадине, величина коэффициента оттаивания алевролитов изменяется от 0,008 до 0,045. Коэффициент сжимаемости, определенный под нагрузкой 0,3 МПа, изменяется от 0,006 до 0,022 см²/кг, при среднем значении 0,010 см²/кг. Значения модуля общей деформации от 3 до 27,6 МПа при среднем значении 9,5 МПа, а модуль деформации, определенный на ранее оттаявших алевролитах, составил 10,5—11 МПа. По заключению этих исследователей, при переходе в такое состояние породы формации изменяют физико-механические свойства незначительно и могут быть использованы в качестве оснований большинства сооружений без предварительной их подготовки.

В строении *кайнозойского структурного* этажа принимают участие толщи пород плиоценовой красноцветной, неоген-четвертичной вулканогенной (базальтовой) формаций и комплекс четвертичных отложений различного генезиса. Кроме того, по левобережью р. Шилки в долинах рек и межгорных впадинах (Нерчинской, Оловской, Кручининской, Кучегерской и др.), а также в цоколях надпойменных террас р. Шилки залегает довольно мощная (до 80—100 м) толща пород «белесой» свиты, относимых к молассовой формации миоцен-нижнеплиоценового возраста. Характеристика пород этой формации приводится в Шилинско-Аргунском и Агинском регионах, где они распространены более широко. Инженерно-геологическая характеристика вулканогенной (базальтовой) формации дана в Байкальском регионе (см. гл. 18).

Красноцветная плиоценовая формация на территории Селенгинского среднегорья и юге Витимского плоскогорья представлена красноцветными корами выветривания и продуктами ее недалекого переотложения. Встречаются они фрагментарно в пределах вла-

Физико-механические свойства пород угленосной формации из Тагауровского бурогольного месторождения
(по Ф. П. Нифантову и Е. А. Писареву)

Породы	Плотность, г/см ³	Плотность при естественной влажности, г/см ³	Пористость, %	Естественная влажность, %	Время сжатия, МПа	Сопроительство сзшту, МПа	Угол внутреннего трения, градус	Сцепление, МПа
Конгломераты	2,49—2,68	2,33—2,44	8,95—13,8	—	18—30,3	—	—	—
Песчанки слабой прочности	2,52—2,69 2,62	1,82—2,07 1,95	30,2—43	15—27,8 20,2	0,48—3,2 0,95	0,13—0,35 0,21	27° 07'—38° 33° 04'	0,02—0,38 0,23
Песчанки средней прочности	2,56—2,67	1,87—2,07	34,2—43,1	16,25—30,25	0,84—12,7 7,7	0,45—7 0,57	29° 10'—38° 32° 30'	0,41—0,8
Песчанки прочные	2,60—2,65	1,90—2,12	28,2—40,4	14,9—30	4,3—33,6 12,8	0,75—3,1 1,67	28°—38° 32° 20'	0,75—1,25
Алевриты	2,56—2,68	1,91—2,18	23,2—38,8	13,6—22,9	2,45—48	1,15—3,16	23° 45'—35° 40'	0,92—2
Аргиллиты	2,60—2,68	1,85—2,11	30,6—44	15,6—20,8	1,12—59,6	—	20° 55'—32°	0,25—1
Уголь бурый	1,32—1,48	1,17—1,27	31,6—47,3	33—56,3	53,3—126 85,7	1,0—7,7	35° 07'	1,5

Примечание. В числителе — минимальные и максимальные значения, в знаменателе — средние значения.

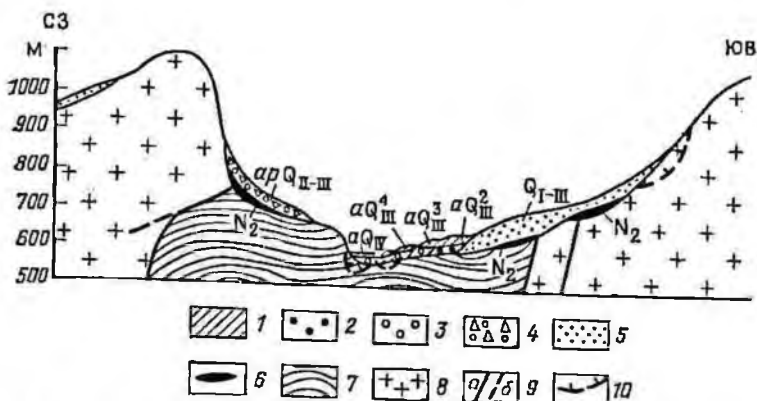


Рис. 20.1. Принципиальная схема строения рельефа и плиоцен-четвертичных отложений Селенгино-Витимского региона.

Четвертичные отложения: 1 — суглинки, супеси, местами лёссовидные; 2 — гравелистые пески; 3 — галечники; 4 — галька, гравий, валуны со щебнем; 5 — песок. Дочетвертичные образования: 6 — глины, суглинки, супеси (плиоценовая красноватая формация); 7 — юрско-нижнемеловая угленосная формация; 8 — граниты, гнейсы и кристаллические сланцы протерозойского, палеозойского и мезозойского возраста; 9 — разрывные нарушения (а — сбросы, б — надвиги); 10 — нижняя граница многолетнемерзлых пород.

дин, в долинах рек, редко на склонах под четвертичными отложениями на глубине от 2 до 150 м (рис. 20.1).

Среди пород формации преобладают красноватые пески, супеси и глины. Глинистые породы монтмориллонитового состава с примесью гидрослюда при замачивании набухают.

Четвертичные отложения. Скальные породы дочетвертичного возраста почти повсеместно перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями, местами значительной мощности. Среди них выделяются следующие основные геолого-генетические типы: полигенетические плейстоценовые пески, одновозрастные с ними аллювиально-пролювиальные отложения, аллювиальные верхнечетвертичного — современного возраста и комплекс лёссовидных пород. Схема залегания и взаимоотношений выделенных геолого-генетических типов отложений показана на рис. 20.1.

Полигенетические плейстоценовые пески в Селенгинском среднегорье распространены чрезвычайно широко (см. рис. 15.3). Мощность их от 10—50 до 150 м. На Витимском плоскогорье пески этого комплекса развиты ограниченно и практически отсутствуют в Нерча-Олекминском среднегорье. Песчаные толщи во всем регионе находятся обычно в талом состоянии с очень редкими островами многолетней мерзлоты. Во многих местах они подвергаются интенсивной дефляции с образованием котловин выдувания, барханов, бугров и т. п. Инженерно-геологическая характеристика песков этого комплекса дана в гл. 16.1.

Аллювиально-пролювиальные отложения вдоль северных бортов впадин и подножий горных склонов образуют обширные наклонные равнины. Мощность их от 5—10 до 40 м. В сло-

жении их преобладает валунисто-галечниковый или щебнисто-галечниковый материал. Отложения отличаются, как правило, повышенно плотным сложением. Заполнителем в них являются пески, супеси, реже суглинки. В южных лесостепных районах до глубины 2—5 м породы карбонатизированы с известковистым налетом, цементирующим обломки. Степень цементации пород настолько значительна, что галечники местами приобретают прочность конгломератов, держат вертикальные откосы высотой до 10—15 м. Коэффициент фильтрации крупнообломочных грунтов в зависимости от состава заполнителя колеблется от 0,5 до 100 м/сут.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения представлены аллювием IV, III и II надпойменных террас с высотами соответственно 40—60, 20—35 и 8—15 м, а также аллювием переуглубленных долин, погребенными под современными русловыми и пойменными отложениями. IV, III и II надпойменные террасы в долинах Селенгино-Витимского региона развиты фрагментарно. Сложены они песчано-галечниковыми и валунисто-галечниковыми отложениями, реже песками. Аллювий IV террасы существенно песчаного состава. Более низким террасам свойственно увеличение содержания крупнообломочных пород в разрезе.

Погребенные аллювиальные отложения залегают в переуглубленных участках долин рек Селенги, Хилка и Чикоя. Мощность отложений на таких участках достигает 100—150 м. Представлены они валунисто-галечниковыми породами плотного сложения с песчаным заполнителем. Мощные толщи валунисто-галечниковых отложений известны также в межгорных впадинах Витимского плоскогорья [47].

Верхнечетвертичные и современные аллювиальные отложения слагают пойму и I надпойменную террасу рек. Русловые фации аллювия представлены песчано-гравийно-галечниковыми и валунисто-галечниковыми отложениями, реже песками; в составе пойменных фаций мощностью 2—3 м преобладают пылеватые пески, супеси и суглинки. В тесном парагенезисе с аллювием пойменных фаций находятся озерные и озерно-болотные фации, представленные илами, илстыми песками и торфами.

В северной части региона — в пределах Витимского плоскогорья и Нерча-Олекминского среднегорья породы описываемого комплекса находятся преимущественно в многолетнемерзлом состоянии. Среди них наблюдаются почти все разновидности криогенных текстур, но наиболее характерны текстуры с базальным, контактным и ледочным типами льда цемента. Встречаются массивы подземных инъекционных и повторно-жилых льдов мощностью до 4,5 м.

Отложения пойменной фации аллювия находятся обычно в пределах слоя сезонного промерзания-оттаивания и, как правило, переувлажнены и разуплотнены. Глинистые отложения на поверхности I надпойменной террасы в южных лесостепных районах имеют местами лёссовидный характер. Илы, глины и глинистые пески озерных и озерно-болотных фаций характеризуются высокой засо-

ленностью. Присутствующие в солевом составе грунтов сульфаты и хлориды натрия обуславливают их значительную вязкость и липкость. Грунты постоянно переувлажнены, отличаются мягкопластичной или скрытотекучей консистенцией.

Лёссовидные породы широко распространены в Селенгинском среднегорье. Они залегают на склонах невысоких гор, аллювиально-пролювиальных шлейфах и речных террасах, включая I надпойменную террасу; представлены обычно лёссовидными супесями, реже суглинками мощностью обычно 1—2 м. Особенно мощные покровы (10—15 м) эти породы образуют в бассейне р. Куйтунки (правый приток р. Селенги). Они разделены обычно двумя-тремя горизонтами погребенных черноземовидных почв и содержат прослой щебня или дресвы.

Лёссовидные породы всех типов полиминеральные с преобладанием в составе глинистой фракции минералов монтмориллонитовой группы. Всем им присущи палевая окраска, карбонатизация, макропористость и вертикальная столбчатая отдельность. В естественном состоянии породы маловлажные, твердые и тугопластичные, слабо сжимаемые, при замачивании обнаруживают значительную просадочность.

Мерзотно-гидрогеологические условия. На территории Селенгинского среднегорья многолетнемерзлые породы имеют преимущественно островное распространение мощностью до 50—80 м, чаще всего 10—30 м, при температуре пород от $-0,2$ до $-1,5$ °C (см. рис. 16.5). Обычно они приурочены к заболоченным участкам в долинах и межгорных впадинах, а также к нижним частям склонов северной экспозиции. Максимальные мощности мерзлой толщи отмечены в Чикойской, Хилокской, Верхнеудинской и Кижинской впадинах — до 120—160 м. Проморожены обычно рыхлые четвертичные, реже юрско-нижнемеловые угленосные отложения.

Мощность многолетнемерзлой толщи уменьшается по направлению к водоразделам и полностью выклинивается на уровне 800—850 м абсолютной высоты. Однако, начиная с отметок 1100—1200 м, она вновь получает распространение и на вершинах Джидинского, Малханского, Курбинского и других хребтов с отметками до 1500—1700 м многолетнемерзлая толща достигает 150—200 м мощности.

Нерча-Олекминское среднегорье и Витимское плоскогорье характеризуются сплошным и слабо прерывистым распространением ММП. Температура пород повышается от днщ долин (-1 ÷ -4 °C) к водоразделам ($-0,4$ ÷ -1 °C), а мощность толщи мерзлых пород сокращается от 50—250 до 30—100 м [72]. На абсолютных отметках 1200—1600 м температура пород понижается вновь до -3 ÷ -4 °C, а мощность толщи морозных пород увеличивается до 300 м. Сквозные талики отмечаются под руслами крупных рек, в частности под руслом и в прирусловой пойме р. Витим, в зонах разломов, реже на склонах южной экспозиции и низких водоразделах. Островная мерзлота наблюдается в пределах Пришилкинского плато мощностью до 50 м.

В гидрогеологическом отношении Селенгинский регион представляет собой чередование артезианских бассейнов забайкальского типа, содержащих порово-пластовые и трещинно-пластовые воды в породах угленосной формации, с гидрогеологическими и криогидрогеологическими массивами горных хребтов. Помимо артезианских вод в межгорных впадинах, а также в долинах рек присутствуют грунтовые воды в четвертичных отложениях различного генезиса. Глубина их залегания 0,5—10 м, редко более. В плейстоценовых песчаных толщах уровень грунтовых вод, как правило, ниже 10 м от поверхности земли. В пределах горных массивов трещинные воды зоны выветривания грунтовые безнапорные, на участках многолетней мерзлоты с напором до 50—100 м. Глубина залегания подземных вод в зависимости от положения в рельефе и мощности криогенных водоупоров изменяется от 3—5 до 100—200 м.

Для Нерча-Олекминского среднегорья характерно наличие подмерзлотных напорных трещинно-жильных подземных вод в кристаллических породах криогидрогеологических массивов. Лишь на юге, в Пришилкинском районе, в связи с широким распространением таликов развиты подземные воды зоны экзогенной трещиноватости пород. К артезианским бассейнам приурочены трещинно-пластовые и порово-пластовые подмерзлотные воды. Рыхлые четвертичные и неогеновые отложения в долинах и впадинах почти повсеместно проморожены и подземные воды содержат лишь в редких подрусловых таликах.

На Витимском плоскогорье аллювиальные отложения в речных долинах проморожены, как правило, на всю мощность и содержат лишь воды сезонноталого слоя на глубине 0,3—3 м. В долинах крупных рек отмечаются редкие сквозные и несквозные талики, содержащие подрусловые потоки и линзы пластово-поровых вод. В артезианских бассейнах подмерзлотные воды вскрываются на глубинах 90—230 м. Воды напорные, пьезометрические уровни их достигают 20 м выше поверхности земли.

Современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления. *Сейсмичность.* Регион принадлежит к территории с интенсивностью землетрясений силой до 7—8 баллов. Степень сейсмичности в общем убывает с северо-запада на юго-восток (см. рис. 16.4). Восьмибалльные землетрясения угрожают городам Улан-Удэ, Гусинозерску, Закаменску, расположенным в непосредственной близости к высокосейсмичной Байкальской рифтовой зоне. Города Кяхта и Чита также находятся в поясе повышенной сейсмической опасности, располагаясь в зоне сейсмоактивного Монголо-Охотского глубинного разлома.

Оползни в регионе связаны преимущественно с породами юрско-нижнемеловой угленосной формации. Крупные оползни известны на юго-восточном берегу оз. Гусино и на правом берегу р. Хилок между поселками Кули и Тарбагатай. Размеры отдельных оползневых участков достигают 90 га. Развитие оползней вызывается размывающая деятельность озера и реки, к которым слои конгломерато-песчаниковых пород, подстилаемые водонепроница-

емыми аргиллитами, падают под углом 5—12°. Оползни существенно усложняют разработку угольных месторождений, проведение и эксплуатацию железных и грунтовых дорог [26].

Карстовые явления отмечались в бассейне р. Джиды и на Витимском плоскогорье в районе пос. Багдарин в самых разнообразных формах: карровые поля, исчезающие речки, поноры, воронки, колодцы и др. [26]. Проявления карста зафиксированы также в долине р. Ионда в районе Букачачинского угольного месторождения [34]. Карстующиеся породы в регионе представлены известняками, доломитами и карбонатными сланцами кембрия и рифея. В целом карст Селенгино-Витимского региона изучен еще крайне слабо.

Овражная эрозия развивается во всех хозяйственно освоенных районах, особенно интенсивно в бассейнах рек Джиды, Уды, Хилка и Чикоя. Здесь густота овражной сети местами достигает 10—12 км/км². Овраги развиваются на открытых участках террас, подгорных шлейфах и горных склонах в рыхлых четвертичных отложениях, нередко в породах юрско-меловой угленосной формации и даже в гранитах. Факторы, благоприятствующие развитию оврагов,— ливневые дожди, большие уклоны местности и легкоразмываемые песчаные и супесчаные грунты. Оврагообразование связано также с хозяйственной деятельностью человека, в частности с распашкой склонов. Так, на 100-метровом отрезке склона пади Егоровская (бассейн р. Куйтунки) по плужным бороздам возникло 32 оврага глубиной до 8 м, которые, соединившись, образовали сеть длинных (до 2 км) и глубоких оврагов [48]. В Урлукской и некоторых местах Чикойской впадин и на склонах окружающих хребтов в результате водной эрозии некогда использовавшиеся в сельскохозяйственном производстве земли в настоящее время заброшены и продолжают размываться. Имеются сведения об интенсивном развитии оврагов в бассейнах рек Ингоды, Шилки и других, сопровождающемся селевой деятельностью.

Сели в степных и лесостепных районах приобретают все более угрожающие размеры. Проявление их неоднократно отмечалось в городах и близ населенных пунктов, где под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности происходит изменение природной обстановки. Грязевые потоки в городах Чита, Хилок, Петровско-Забайкальском, Улан-Удэ, Нерчинске, пос. Селендума и т. д. часто перекрывают целые улицы, территории промышленных предприятий, железнодорожные и шоссейные пути, сельскохозяйственные угодья слоем песчано-глинистого материала мощностью до 1,5—2 м. Селевые потоки в регионе приносят систематический и все увеличивающийся ущерб народному хозяйству.

Золовые процессы. Активной золовой денудации (дефляции) подвергаются северо-западные части межгорных впадин, а также мелкосопочник и низкие горы, окружающие их, сложенные мезозойскими осадочными и другими легко выветривающимися породами [80]. Во многих впадинах Забайкалья (Гусиноозерской, Оронгойской, Иволгинской, Боргойской и других), а также на

склонах окружающих низких гор и холмов рыхлый покров четвертичных отложений практически отсутствует, коренные породы обнажены или перекрываются маломощными пролювиальными отложениями. Под постоянным воздействием сильных северо-западных ветров, скатывающихся с хребтов Хамар-Дабан и Улан-Бургасы, здесь возникли сухие каменные степи. Для них характерны многочисленные бессточные котловины дефляционного происхождения, кузстообразные формы холмов и увалов. Дефляционные формы во впадинах и кузсты ориентированы по направлению господствующих северо-западных ветров. Песчаные и пылеватые продукты выветривания переносятся в южном направлении и накапливаются на наветренных (северных) склонах хребтов, образуя плащи эоловых песков мощностью до 5—12 м.

Интенсивному развеванию и перевеванию подвергаются также песчаные толщи, накопившиеся в предшествующие эпохи эоловой деятельности. В бассейне р. Селенги имеется более 100 тыс. га подвижных и слабо заросших песков, подверженных сильной дефляции. Несмотря на принимаемые меры по закреплению песков, площади развевания их все увеличиваются. В результате движения песков запыляются более 100 населенных пунктов, 133 речки, 67 шоссе и грунтовых дорог, 6 озер и около 20 ирригационных каналов [26]. Развевание песков — в основном результат хозяйственной деятельности людей, проводивших освоение песчаных массивов без достаточного учета мер по предотвращению ветровой эрозии.

Криогенные процессы на территории Витимского плоскогорья и Нерча-Олекминского среднегорья развиты весьма широко. Для них характерны наледи различных генетических типов, морозобойное трещинообразование, пучение грунтов, гидролакколиты, повторпожильное льдообразование и др. Чрезвычайно широко на всех элементах рельефа, в том числе и в долинах, развиты курумы, сочетающиеся с соллфлюкцией.

На территории Селенгинского среднегорья криогенные процессы имеют подчиненное значение. Курумы редки и встречаются чаще всего на склонах северной экспозиции и на вершинах гор с абсолютной высотой более 1000 м.

Инженерно-геологические условия Селенгино-Витимского региона в целом умеренно сложные, местами сложные из-за высокой сейсмичности и наличия многолетней мерзлоты. Наиболее благоприятными условиями характеризуется Селенгинское среднегорье с обширными межгорными впадинами, выполненными отложениями с высокими несущими свойствами и островным распространением ММП. Более сложны по общим природным условиям Витимское плоскогорье и Нерча-Олекминское среднегорье, характеризующиеся практически сплошным распространением многолетней мерзлоты и интенсивным развитием разнообразных криогенных процессов. Условия для сооружения гидростанций в регионе в целом благоприятные, хотя местами в бассейне Селенги осложняются переуглубленными долинами и надвигами, по которым возможны подвижки отдельных блоков пород при землетрясениях. Значительный

твердый сток рек бассейна Селенги и интенсивное развитие эрозионных процессов на склонах создают угрозу сравнительно быстрого заиливания водохранилищ. Наличие карбонатных закарстованных пород в бассейнах рек Джиды и Витима также затрудняет строительство гидротехнических и других ответственных сооружений.

ГЛАВА 21 ХЭНТЭЙ-ЧИКОЙСКИЙ РЕГИОН

Хэнтэй-Чикойский регион приурочен к юго-западной части Монголо-Забайкальской складчатой системы и ограничен с севера Монголо-Охотским глубинным разломом, протянувшимся вдоль рек Чикой и Ингода.

По характеру рельефа регион — высокое денудационно-тектоническое нагорье, представляющее собой часть Хэнтэйского (Даурского) сводового поднятия, которое в течение мезозоя и кайнозоя испытывает устойчивое воздымание. Межгорные впадины в его пределах отсутствуют. Большая часть нагорья располагается в пределах абсолютных высот 1200—1600 м, на юго-востоке отдельные вершины достигают 2000—2500 м. На наиболее высоких вершинах сохранились формы древнего оледенения: цирки, кары и короткие трог с мощными конечно-моренными накоплениями. Для нагорья характерно глубокое и густое в плане эрозионное расчленение, невыработанный «каскадный» продольный профиль речных долин. Глубина эрозионного вреза достигает 800—1000 м, крутизна склонов, как правило, превышает 20—30°. Водораздельные поверхности широкие, уплощенные, местами имеют вид небольших плоскогорий.

Интенсивное и глубокое эрозионное расчленение нагорья, невыработанный продольный профиль рек, а также наличие термальных источников свидетельствуют о высокой тектонической активности и продолжающемся поднятии этой морфоструктуры.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. В регионе выделяют две крупные тектонические структуры: Чикое-Куналейское антиклинальное поднятие, сложенное протерозойскими и кембрийскими метаморфическими толщами, и Даурский синклиниорий, выполненный толщей пород кремнисто-вулканогенно-терригенной формации девон-каменноугольного возраста. Отложения интенсивно дислоцированы и прорваны многочисленными интрузиями гранитоидов палеозойского и мезозойского возраста, которые занимают до 70 % площади региона. На юго-восточном крыле сводового поднятия встречаются небольшие покровы вулканогенных пород базальт-андезит-липаритовой формации мезозойского возраста, а в бассейне р. Буркал — небольшие покровы неогеновых базальтов.

Протерозойские метаморфические образования представлены гнейсами и кристаллическими сланцами, имеющими весьма огра-

пиченное распространение в регионе. Залегают они в виде различного размера ксенолитов среди разновозрастных гранитоидов. Наибольшие их поля, площадью до 50—100 км², находятся в северо-восточной части территории в междуречье Ингоды и Оленгуй.

Породы кембрийского возраста, метаморфизованные в фации зеленых сланцев (куналейская свита), распространены на северо-западе региона в бассейнах рек Катанца, Менза, Аца, Куналей, Мергень. Они представляют однообразную толщу тонкого переслаивания хлорито-серпичитовых, углистых и известковистых сланцев со слюдистыми песчаниками. Мощность слоев от 0,5 до 2—3 м [62]. Породы интенсивно рассланцованы с резко выраженной анизотропией физико-механических свойств.

Палеозойские (девон-карбон) отложения составляют мощную (до 3000 м) *кремнисто-вулканогенно-терригенную формацию*. В ее разрезе преобладают кремнисто-глинистые породы, переслаивающиеся с эффузивами и кремнями. Мощность горизонтов вулканических пород от нескольких метров до 100—500 м. Они занимают до 50 % объема всей толщи.

Все докайнозойские породы характеризуются высокой прочностью, водостойкие, устойчивые к процессам выветривания. В зонах контактов с прорывающими их гранитами породы ороговикованы, окварцованы и отличаются особо высокой прочностью.

Физико-механические свойства мерзлых скальных пород зависят от степени их трещиноватости и наличия льда. При проходке горных выработок в бассейне р. Куналей и верховьях р. Ингода по всей толще многолетнемерзлых пород — в гранитах, ороговикованных песчаниках и сланцах в трещинах, пересекающих массив в разнообразных направлениях, наблюдался лед. Количество льда относительно невелико и визуально не превышает 1 % к общему объему породы. Лед, цементирующий отдельные горные породы, создает временную устойчивость их в выработках. После оттаивания мерзлоты начинают происходить вывалы и отслаивание пород, создается неустойчивость стенок и кровли выработок, что заставляет укреплять их, несмотря на высокую крепость пород (X—XI категория по СУСНУ). По данным геологоразведочных работ, региональная экзогенная трещиноватость фиксируется на глубинах до 140—150 м, а ниже — резко затухает.

Четвертичные отложения в регионе представлены аллювиальными, ледниковыми и склоновыми образованиями.

Аллювиальные отложения пойм и низких речных террас преимущественно крупнообломочного состава (валуны, галька, гравий) с песчаным заполнителем; верхняя часть разреза, пойменная фация, мощностью 0,5—2 м сложена супесями, суглинками, реже песками. Почти повсеместно отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии. Объемная льдистость галечников незначительна и, как правило, не превышает 10 %. Суммарная влажность мерзлых глинистых пород достигает 40—50 %, заторфованных разностей до 60—80 % и более; консистенция при оттаивании изменяется от мягкопластичной до текучей.

Делювиально-солифлюкционные отложения широко распространены у подножий склонов долин. В преобладающей массе эти отложения представлены суглинками и супесями, содержащими включения дресвы, щебня и глыб от 10—15 до 50 %. Обычная мощность их 1,5—2 м, редко более, местами они перекрыты слоем мха или торфа мощностью 0,2—0,5 м. Как правило, эти отложения находятся в многолетнемерзлом состоянии. Для них характерна массивная и сетчатая, реже тонкослоистая, а вокруг обломков горных пород — корковая криотекстура. Видимая льдистость относительно невысокая — до 10—15 %. Сильно льдистые грунты, а нередко и прослойки льда мощностью до 5—10 см, наблюдаются непосредственно под моховым покровом. При оттаивании глинистые грунты этого комплекса приобретают мягкопластичную консистенцию. Несмотря на значительное содержание в них крупнообломочного материала, грунты проявляют тиксотропные свойства и при производстве земляных работ (ударах, встряхивании) — текут.

Мерзлотно-геологические условия. В Хэнтэй-Чикойском нагорье четко выражена геокриологическая высотная поясность. Так, в интервале абсолютных высот 800—1200 м толща многолетнемерзлых пород имеет островное распространение. Острова и массивы мерзлых пород занимают от 10 до 50 % площади. Приурочены они обычно к нижним частям склонов северной экспозиции, днищам распадков и тыловым частям пойма и террас. Мощность мерзлой толщи, как правило, не превышает 30 м, чаще всего составляя 10—15 м. В непосредственной близости к руслам таких рек как Чикой, Менза, Буркал и Аца мерзлые породы отсутствуют.

В интервале высот 1200—1600 м толща ММП имеет прерывистое распространение, занимая 50—80 % площади. Температура мерзлых пород изменяется от -1 до -4 °С, а мощность от 30—40 до 100—200 м. Талые породы встречаются в долинах вдоль крупных водотоков и на склонах южной экспозиции. В районе Былинских (Арашантуйских) термальных источников мощность мерзлой толщи на расстоянии первых десятков метров изменяется от 0 до 30—80 м, что обусловлено влиянием термального очага.

Верхний геокриологический пояс охватывает самые высокие вершины с абсолютными высотами более 1600 м. Толща мерзлых пород здесь имеет сплошное распространение, прерываясь лишь редкими таликами в днищах долины, которые обычно приурочиваются к зонам разломов. Температура пород понижается с высотой местности от -3 до -4 до -6 °С и ниже, а мощность криолитозоны увеличивается до 300 м и может достигать 500—600 м (Сохондинское месторождение).

Часть нагорья, лежащая выше абсолютных отметок 1600 м, представляет собой криогеологический массив сверхглубокого промерзания. Зона экзогенной трещиноватости здесь проморожена полностью. В процессе геологоразведочных работ на этих гипсометрических уровнях не было вскрыто ни одной водоносной зоны.

В пределах высот 1200—1600 м зона трещиноватости проморожена не повсеместно, подземные воды имеют локальный характер распространения. Так, скважины в бассейне р. Ингоды вскрывали подмерзлотные воды на глубинах 30—70 м, а на Куналейском месторождении все выработки оказались сухими. Водообильность комплексов трещинных вод зоны экзогенной трещиноватости невелика. Родники имеют дебиты от 0,5 до 1,3 л/с. При проходке штолен на различных горизонтах отмечались водопритоки от 0,3—0,6 до 0,8 л/с на 100 м длины. Широким распространением в этом геокриологическом поясе пользуются трещинно-жильные воды зон разломов.

Нижний геокриологический пояс, в интервале высот 800—1200 м, представляет собой гидрогеологический массив неглубокого промерзания, в пределах которого островное распространение ММП не оказывает существенного влияния на условия питания, движения и разгрузки подземных вод. Здесь присутствуют: порово-грунтовые и порово-пластовые воды аллювиальных отложений; трещинные воды зоны региональной экзогенной трещиноватости и трещинно-жильные воды зон разрывных нарушений.

Порово-грунтовые воды аллювиальных отложений присутствуют в долинах всех крупных рек. Водообильность зоны экзогенной трещиноватости невысокая и в общем одинакова для всех литологических комплексов. Дебиты родников составляют 0,1—0,5 л/с. При откачках из скважин получены дебиты 3,8 и 2,8 л/с при понижениях 16 и 11 м. Трещинно-жильные воды зон разломов пользуются в этом поясе широким распространением и контролируются гидросетью. Мощные разломы отмечены вдоль рек Аца, Дербул, Асакан и других. Дебиты источников трещинно-жильных вод колеблются от 1 до 50 л/с.

Современные геологические процессы и явления. Сейсмичность. По степени сейсмичности Хэнтэй-Чикойский регион относится к зоне семибалльных землетрясений. Наиболее сейсмоактивна северная его часть, прилегающая к Монголо-Охотскому глубинному разлому, протянувшемуся вдоль р. Чикой. Для района Чикойской впадины известно восьмибалльное землетрясение 1934 г., а также установлены остаточные деформации девятибалльных землетрясений. На возможность возникновения очагов восьмибалльных землетрясений в этом регионе указывают высокие градиенты скорости вертикальных неотектонических движений [69].

Среди экзогенных геологических процессов наиболее характерны для региона обвалы, осыпи, лавины и разнообразные криогенные процессы.

Обвалы и осыпи наиболее часты в гольцовом поясе нагорья. Их развитию способствует крутосклонный высокогорный рельеф и сильная раздробленность горных пород. Обвалам и осыпанию подвергаются стенки ледниковых цирков и каров, крутосклонных трогов, обрывы подмываемых реками склонов. Скальные обвалы довольно часты в долинах рек Менза, Буркал и др. Объемы обвалных масс обычно невелики (10—15 м³), редко превышают 100—

500 м³. Наиболее часто обвалы и осыпи происходят в период интенсивных дождей и весеннего снеготаяния.

Лавины. Хэнтэй-Чикойское нагорье относится к лавиноопасным районам. Однако ввиду слабой освоенности и заселенности сведения о лавинах на нем весьма ограничены. Судя по многочисленным прочесам в лесу, сход лавин здесь происходит как в гольцовом, так и таежном поясах гор ежегодно. Формированию и сходу лавин способствуют мощные снегозапасы в горах, большая крутизна склонов и частые оттепели.

Сели. В отношении селевой опасности регион также не изучен. На основании имеющихся данных и анализа физико-географических условий региона можно сделать вывод о наибольшей селеопасности юго-восточной, наиболее возвышенной его части. При этом всю территорию следует относить к районам потенциальной селевой опасности, где формирование селей возможно по условиям рельефа, наличию мощного чехла рыхлообломочных отложений на склонах и повышенному количеству летних осадков. Развитие селей может начаться при нарушении природной обстановки.

Криогенные процессы и явления. В регионе развиты разнообразные криогенные процессы и явления, связанные с промерзанием и протаиванием пород: пучение грунтов (сезонное и многолетнее), термокарст, солифлюкция, наледи и др.

Пучение грунтов весьма распространено на данной территории. Наиболее подвержены ему тыловые швы пойм и террас, тальвеги падей, нижние части склонов, сложенные суглинистыми переувлажненными грунтами. Пучение проявляется в различной форме — в виде общего сезонного пучения пылеватых суглинистых грунтов при их замерзании, в форме разрыва мохового и почвенного покрова, формирования бугров и гидролакколитов.

Бугры с ледяными ядрами (гидролакколиты) широко распространены на плоскогорье в районе гольца Соходно. Развиваются они за счет вод сезонноталого слоя и к концу лета разрушаются. Преобладающие размеры их 2—3 м в диаметре и до 1,5 м высотой. В разрезе гидролакколит представляет собой ледяную линзу мощностью 0,6—0,8 м, заключенную в щебнисто-суглинистый грунт, перекрытый сверху слоем торфа мощностью 0,3—0,5 м. Крупные гидролакколиты как сезонные, так и многолетние, пространственно приурочены к участкам разгрузки напорных подземных вод и чаще всего встречаются в тыловых частях пойм и днищ распадков.

Термокарстовые проседания земной поверхности образуются в результате протаивания гидролакколитов, бугров пучения и сегрегационных подземных льдов. Такие просадки в регионе преимущественно небольших размеров и выражены в виде заболоченных западин или воронок глубиной 0,3—1,5 м, заполненных водой.

Наледи в Хэнтэй-Чикойском регионе встречаются всех генетических типов: речные, наледи подземных вод — как глубокого подмерзлотного стока, так и вод сезонноталого слоя, и наледи смешанного питания.

Речные наледи формируются почти на всех реках и ручьях, имеющих круглогодичный сток. Они появляются в конце зимы в результате частичного или полного промерзания живого сечения русла. Обычно площади их невелики — 3000—50 000 м² при средней мощности до 1 м. Однако встречаются и более крупные наледи (до 600 000 м²), в питании которых принимают участие кроме речных аллювиальные грунтовые и напорные воды глубокого подмерзлотного стока. Наиболее крупные наледи приурочиваются к выходам трещинно-жильных вод из зон разломов.

Наледи, образующиеся за счет надмерзлотных вод сезонно-талого слоя, распространены чрезвычайно широко — в днищах распадков, на водоразделах и склонах. На крутых склонах они образуют иногда ледопавы (долина р. Мензы). Площади их невелики — 100—500 м², а мощность льда до 1 м. Приурочиваются они к фронтальным участкам курумов, из-под которых происходит сток конденсационных вод, к перегибам рельефа, границам мерзлых и талых пород.

К концу лета наледи всех генетических типов стаивают.

Инженерно-геологические условия Хэнтэй-Чикойского региона в целом являются сложными. Строительному освоению его препятствует высокогорный, сильно расчлененный, крутосклонный рельеф, обвалы, осыпи, сели, сейсмо- и лавиноопасность, значительная заболоченность долины с ограниченными возможностями для выбора строительных площадок, а также трудные условия водоснабжения, связанные с глубокой промороженностью гидрогеологических структур и перемерзанием рек в зимний период.

ГЛАВА 22

АГИНСКИЙ И ШИЛКИНСКО-АРГУНСКИЙ РЕГИОНЫ

Инженерно-геологические условия этих регионов целесообразно рассмотреть совместно, так как в их формировании много общего. Приурочены они к Монголо-Забайкальской складчатой системе (западное звено Монголо-Охотского пояса) и на большей части их территории распространены одни и те же формации и геолого-генетические комплексы горных пород. Вместе с тем Агинский и Шилкинско-Аргунский регионы различаются геоморфологическими, ландшафтно-климатическими, геокриологическими условиями, а также характером и интенсивностью проявления современных геологических процессов.

Агинский регион представляет обширную территорию пониженного рельефа на юге Восточного Забайкалья. Для него характерен равнинный и мелкосопочный рельеф с преобладающими абсолютными высотами поверхности 650—700 м. Пологие гряды и холмы здесь чередуются с широкими безводными падьми и котловинами. Глубина вертикального расчленения редко превышает 80—100 м. Владины забайкальского типа немногочисленны и расположены по периферии региона.

Отличительная черта Агинского региона — незначительное среднегодовое количество осадков — 200—250 мм (наименьшее для Забайкалья), малоснежность или бесснежность. Обширные степные равнины и слабо выраженные в рельефе котловины малосточны или бессточны с засоленными грунтами.

Шилкинско-Аргунский регион занимает междуречье Шилки и Аргуни и представляет собой горно-таежную местность средних и низких высот. Основные орографические элементы региона — хребты: Борщевочный, Газимурский, Урюмканский и Нерчинский общего северо-восточного простирания с абсолютными высотами до 1000—1400 м, максимумом 1501 м (Начинский голец). Рельеф сильно расчлененный, с узкими долинами и небольшими межгорными впадинами забайкальского типа. Днища котловин и долины располагаются на абсолютных высотах 500—700 м, амплитуда колебания относительных высот 300—500 м, редко до 700 м.

Регион отличается более влажным, по сравнению с Агинским, климатом (среднегодовое количество осадков 500—600 мм) и более мощным снежным покровом. На всех элементах рельефа господствует лиственничная тайга, местами с оstepенными склонами южной экспозиции, в долинах — лиственничная тайга с участками переувлажненных лугов и болот.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. В рассматриваемых регионах выделяются две крупные тектонические структуры (структурно-формационные зоны): Аргунский массив и Агинско-Борщевочный эвгеосинклинальный прогиб с наложенными на них палеозойскими и мезозойскими прогибами. Залегающие в пределах этих структур геологические образования различаются формационным составом, степенью метаморфизма и дислоцированности отложений.

Соответственно циклам тектогенеза, сформировавшим эти структуры, в их разрезах выделяются пять структурных ярусов, состав и строение которых рассматриваются ниже.

Архей-нижнепротерозойский структурный ярус представлен метаморфическими породами гнейсо-мигматитовой формации, распространенными в пределах Аргунского массива (в низовьях Газимура, в долине р. Турги, в окрестностях Нерчинского Завода и др.). Формация сложена разнообразными гнейсами и кристаллическими сланцами, которые залегают в виде ксенолитов среди обширных полей разновозрастных гранитоидов. Характеристика пород этой формации дана в разд. 16.1.

Рифей-нижнепалеозойский структурный ярус. В Агинско-Борщевочной зоне в основании этого яруса залегают кремнисто-вулканогенная толща (кулиндинская свита), выходы которой наблюдаются в пределах Могойтуйского и Борщевочного хребтов. В составе толщи преобладают эффузивы спилит-диабазового состава, превращенные процессами метаморфизма в зеленые ортосланцы, кварцево-серицито-хлоритовые сланцы, яшмы и кварциты с горизонтами мраморизованных известняков. Кулиндинская свита согласно перекрывается отложениями ононской серии рифей-нижне-

кембрийского возраста, широко распространенными в бассейнах нижнего и среднего течения р. Онон, в хребтах Пограничном, Могойтуйском и др. Сложена она мощной толщей сланцев и песчаников, содержащих горизонты измененных эффузивов спилит-диабазового состава и кремнистых пород. Породы метаморфизованы в фации зеленых сланцев и вместе с кулиндинской свитой объединяются в кремнисто-вулканогенно-терригенную формацию рифей-нижнекембрийского возраста (рис. 22.1).

Отложения рифей-нижнепалеозойского структурного яруса в пределах Аргунского массива характеризуются преимущественно терригенно-карбонатным составом: песчаники, сланцы, гравелиты, конгломераты, известняки и доломиты. Толщи карбонатных пород достигают 300—1000 м мощности (быстринская свита). Отложения рифей-нижнепалеозойского возраста Аргунского массива объединяются в единую терригенно-карбонатную формацию. Строение и состав описанных формаций показаны на рис. 22.1.

Рифей-нижнепалеозойские отложения Аргунского массива метаморфизованы в общем слабо — филлитовая фация. Участки повышенного метаморфизма — до фации зеленых сланцев, приурочены к разломам и контактам с прорывающими их гранитами.

Породы кремнисто-вулканогенно-терригенной формации Агинско-Борщевочной зоны в образцах прочные и очень прочные, водостойкие, устойчивы к процессам выветривания. Наименьшей прочностью характеризуются слюдяные, кварцево-слюдяные и серицитохлоритовые сланцы. Плотность их изменяется от 2,63 до 2,75 г/см³, водопоглощение составляет 0,3 %, водонасыщение 0,4 %, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии 75 МПа, в водонасыщенном 55 МПа, после испытания на морозостойкость — 45 МПа [62]. При этом необходимо иметь в виду, что сланцы характеризуются резко выраженной анизотропией физико-механических свойств и приведенные данные о их прочности получены при испытаниях перпендикулярно или под некоторым углом к сланцеватости. Ввиду интенсивного рассланцевания эти породы обладают низкими значениями сопротивления сдвигу по сланцеватости и недостаточно устойчивы в откосах (подробнее см. разд. 16.1).

Породы терригенно-карбонатной формации Аргунского массива как в образцах, так и массиве, в основном прочны и очень прочны. Значительное снижение прочности наблюдается в массивах, сложенных карбонатными породами ввиду их закарстованности.

Палеозойский структурный ярус разделяется на два подъяруса. Нижний — представлен отложениями среднего палеозоя (девон — нижний карбон), верхний — осадками верхнепермского возраста.

Отложения среднего палеозоя в формационном отношении в обеих структурно-формационных зонах сходны с подстилающими их рифей-нижнепалеозойскими толщами. В Агинской зоне преобладают песчаники, алевролиты, глинисто-кремнистые сланцы, известняки, андезитовые и базальтовые порфириты, составляющие вулканогенно-карбонатно-терригенную формацию. В Аргунской

I

II

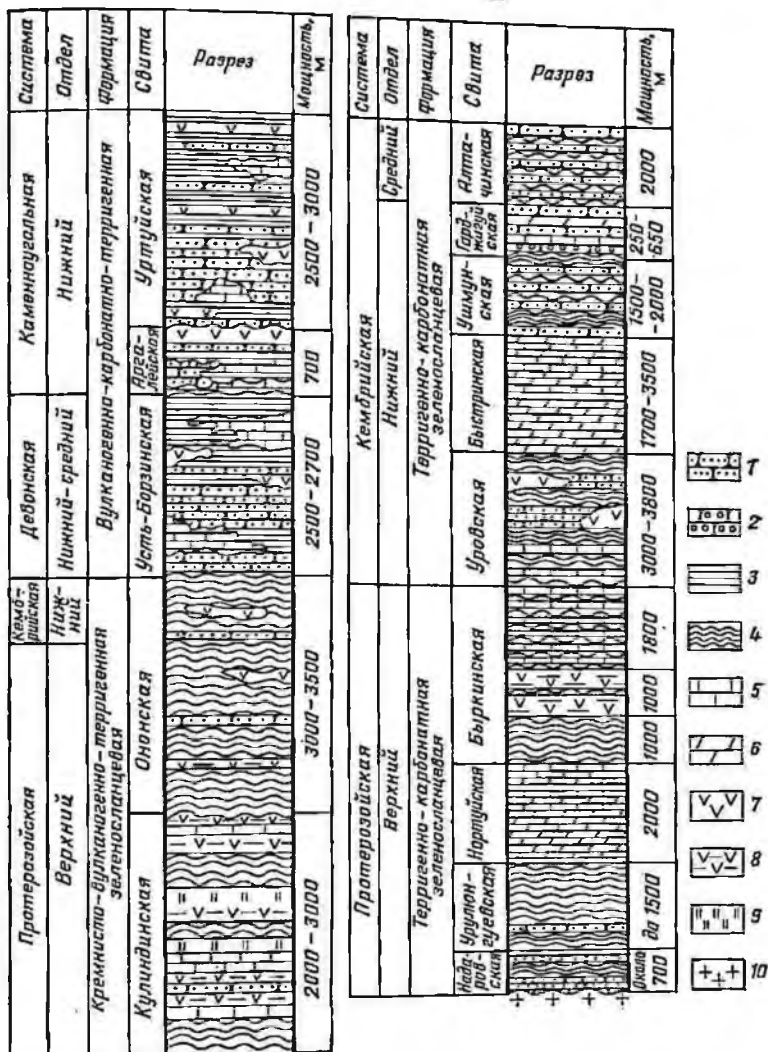


Рис. 22.1. Геологические разрезы верхнепротерозойских и палеозойских отложений Агинско-Борщевочной (I) и Аргунской (II) структурно-формационных зон (по В. П. Портновой [62], с изменениями):

1 — песчаники; 2 — конгломераты; 3 — алевролиты, глинистые и кремнисто-глинистые сланцы; 4 — кварцево-серпичито-хлоритовые, кварцево-сланцевые, кварцево-сланцевые сланцы, филлиты; 5 — известняки; 6 — доломиты; 7 — андзитовые и базальтовые порфириты, туфы; 8 — зеленокаменные наклонные диабазы, спилиты; 9 — яшмы, кварциты; 10 — граниты, гнейсы

зоне отложения этого подъяруса представлены терригенно-карбонатной формацией, в разрезе которой доминируют разномерные песчаники, алевролиты, известково-глинистые сланцы с горизонтальными известняками и конгломератами. Мощность отдельных пачек и горизонтов известняков достигает 300—500 м.

В составе формаций преобладают прочные, водостойкие и устойчивые к выветриванию породы. Менее прочны известняки. Физико-механические свойства известняков из месторождения Известкового в Борзинском районе характеризуются следующими показателями: пористость 0,9—2,2 %, водопоглощение 0,24 %, временное сопротивление сжатию в сухом состоянии 37,5—78,3, в водонасыщенном 30,5—63 МПа, коэффициент размягчения — более 0,7, потери прочности при испытании на морозостойкость достигают 25 %. Породы водонестойкие, подверженные карстованию. Почти повсеместная закарстованность массивов, сложенных известняками, создает значительные трудности для наземного и особенно подземного строительства.

Верхний подъярус палеозойского структурного яруса сложен отложениями верхней перми, распространенными в пределах Борзинского прогиба. Отложения относятся к орогенной молассовой формации, в сложении которой участвуют конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Породы сильно литифицированы, отличаются высокой прочностью как в образцах, так и массиве, устойчивы к процессам выветривания.

Мезозойский структурный ярус. Нижний подъярус этого яруса образуют триасовые и юрские отложения, относимые к молассовой формации (по М. С. Нагибиной), в которой сочетаются морские, лагунные и озерно-речные континентальные отложения. Они выполняют наложенные прогибы в западной и северной частях Агинского поля и по юго-западной периферии Аргунского массива (Восточно-Забайкальский прогиб). Суммарная мощность отложений превышает 10 тыс. м.

В разрезе формации преобладают песчаники. Присутствуют все их разновидности: гравелистые, крупно-, средне- и мелкозернистые. Отмечается изменение прочности песчаников в зависимости от крупности зерен. Наиболее прочны мелкозернистые их разновидности. К высокопрочным породам относятся также конгломераты.

В целом породы, слагающие триасово-юрскую молассовую формацию, как в образцах, так и массиве, — прочные и весьма прочные, морозостойкие, устойчивы к процессам выветривания. Прочность массивов снижается в зонах разломов, к которым приурочиваются участки повышенной трещиноватости пород.

Верхний подъярус мезозойского яруса представлен двумя типами формаций юрского-нижнемелового возраста. Первая — базальт-андезит-лппаритовая тяготеет в основном к прибортовым участкам межгорных впадин. В сложении формации участвуют базальтовые и андезитовые порфириды, кварцевые порфиры, дациты и другие эффузивы и их туфы.

Породы угленосной формации выполняют межгорные впадины забайкальского типа. Инженерно-геологическая характеристика пород формаций дана в Селенгино-Витимском регионе (см. гл. 20).

Довольно широким распространением в Шилкинско-Аргунском регионе пользуются гранитоиды палеозойского и мезозойского возраста.

В Агинском регионе интрузии гранитондов немногочисленны и небольших размеров.

Кайнозойский структурный ярус. В его разрезе выделяют миоцен-плиоценовую молассовую формацию и четвертичные отложения различных генетических типов. Отложения миоцен-плиоценовой формации наиболее широко распространены в Агинском регионе. Они вскрыты многими скважинами в Торейской, Ононской (Цасучейской), Борзинской, Тургино-Харанорской, Шилкинской и других впадинах и долинах, где они с поверхности, как правило, перекрыты четвертичными осадками. Формация представляет сложный комплекс отложений, в котором сочетаются аллювиальные, делювиально-пролювиальные и озерные осадки (рис. 22.2). Мощность отложений достигает 80—140 м.

В составе формации присутствуют пески, гравий, галька, глины, суглинки и супеси. Преобладают разнородные глинистые (каолинизированные) пески, включающие прослойки и линзы гравия и гальки. В горизонтальном и вертикальном направлениях они нередко фациально замещаются глинистыми породами. Физико-механические свойства пород формации приведены в табл. 22.1.

Отложения нижне-среднечетвертичного возраста относятся к широко распространенному в Забайкалье комплексу полигенетических песков. Этими отложениями сложены верхние части разреза IV и V надпойменных террас рек Шилки, Ингоды и других, а также обширные равнины в бассейне р. Онон. Мощность песчаных накоплений в указанных районах изменяется от 2 до 80 м. Гранулометрический состав и физико-механические свойства их приведены в разд. 16.1.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения включают осадки III, II и I надпойменных террас. В пределах межгорных впадин в их составе преобладают разнородные пески мощностью 10—15 м, местами до 60 м, за пределами впадин — гравийно-галечные отложения мощностью 2—5 м, редко более. Супеси и суглинки в отложениях террас имеют ограниченное распространение.

Неоднородность гранулометрического состава песков обуславливает большой диапазон их свойств. Коэффициент пористости изменяется от 0,53 до 0,9 (средний 0,67), коэффициент сжимаемости при нагрузке от 0,2 до 0,3 МПа изменяется в пределах 0,007—0,01.

Гравийно-галечниковые отложения террас плотного сложения с песчаным и супесчаным заполнителем. В природных условиях они находятся обычно в талом состоянии и вместе с песчаными отложениями являются надежным основанием для различных сооружений.

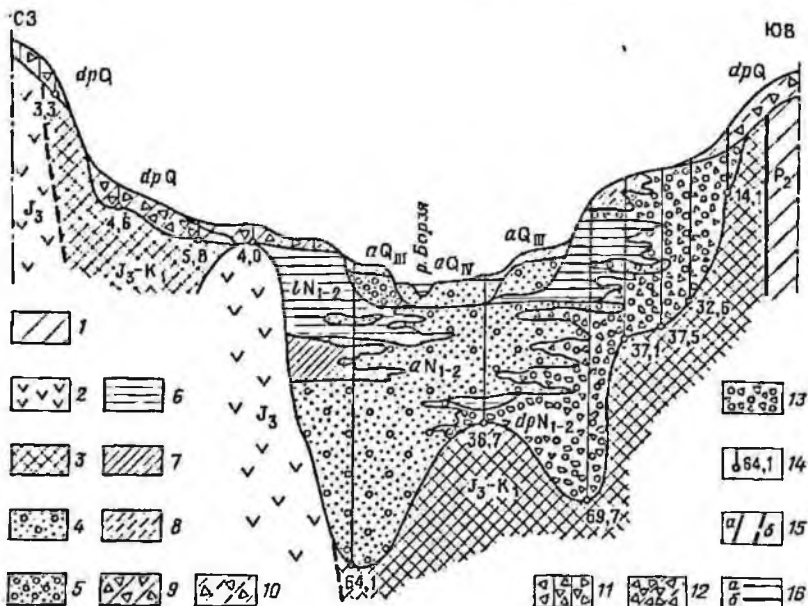


Рис. 22.2. Геологический разрез Борзинской впадины (по В. П. Портновой [62], с изменениями):

Геологические формации: 1 — пермская (P_2) молассовая; 2 — мезозойская (J_3) базальт-виде-аит-липаритовая; 3 — юрско-нижнемеловая (J_2-K_1) угленосная. Литологический состав кайнозойских отложений: 4 — пески с включением гравия и гальки; 5 — галечники с песчаным заполнителем; 6 — глины; 7 — суглинки; 8 — супеси; 9 — суглинки с дресвой и щебнем; 10 — супеси с дресвой и щебнем; 11 — лёссовидные суглинки с дресвой и щебнем; 12 — дресва и щебень с суглинчатым заполнителем; 13 — древесно-гравийно-галечные отложения со щебнем. Генезис и возраст кайнозойских отложений: N_{1-2} — миоцен-плиоценовая молассовая формация (aN_{1-2} — аллювиальные отложения, IN_{1-2} — озерные, dpN_{1-2} — делювиально-пролювиальные). Четвертичные отложения: aQ_{IV} — современные валювиальные, aQ_{III} — то же, верхнечетвертичные, dpQ — делювиально-пролювиальные. 14 — скважины и мощность кайнозойских отложений, м; 15 — разломы (а — установленные, б — предполагаемые); 16 — границы (а — литологические, б — стратиграфо-генетические)

ний. Ни одно из зданий, построенных на этих террасах, не имеет деформаций [62].

Современные аллювиальные отложения речных пойм характеризуются разнообразным литологическим составом, непостоянством мощностей и резкой сменой слоев по вертикали и горизонтали. Мощность отложений обычно не превышает 10—15 м. В естественных условиях грунты находятся как в талом, так и многолетнемерзлом состоянии. Мерзлые породы, как правило, мало-льдисты, при оттаивании существенного их уплотнения не происходит. Осадки пойменной фации залегают в пределах слоя сезонного промерзания-протаивания и по сравнению с другими литологическими разностями имеют повышенную естественную влажность и значительно разуплотнены. Коэффициент пористости глинистых грунтов достигает 0,91—1,26, при промерзании они испытывают значительное пучение. Все каменные здания, в основании которых

Физико-механические свойства пород миоцен-плиоценовой молассовой формации
(по данным Читагеология)

Таблица 22.1

Показатели свойств	Породы		
	грауви́ло-галечные	песчаные	глинистые
Плотность, г/см ³	$\frac{2,66}{2,62-2,72}$ 15	$\frac{2,65}{2,59-2,72}$ 80	$\frac{2,69}{2,63-2,73}$ 106
Плотность при естественной влажности, г/см ³	$\frac{1,87}{1,78-1,98}$ 4	$\frac{1,76}{1,48-1,94}$ 32	$\frac{1,93}{1,67-2,02}$ 86
Естественная влажность, %	$\frac{11,5}{7,0-16,5}$ 109	$\frac{10,5}{3,0-19,5}$ 93	$\frac{20,0}{8,5-30,5}$ 151
Степень водонасыщения	—	$\frac{0,55}{0,23-0,73}$ 6	$\frac{0,91}{0,62-0,99}$ 65
Коэффициент фильтрации, м/сут	$\frac{2,4}{1,99-22,7}$ 10	$\frac{3,3}{0,3-26,3}$ 30	$\frac{0,008}{0-3,0}$ 30
Пористость, %	$\frac{40,2}{33,6-42,5}$ 5	$\frac{35}{26,5-43,5}$ 33	$\frac{43,0}{36,5-50,0}$ 90
Коэффициент пористости	$\frac{0,72}{0,67-0,75}$ 3	$\frac{0,62}{0,35-0,81}$ 15	$\frac{0,76}{0,62-1,01}$ 79
Число пластичности, %	—	—	$\frac{17,0}{9,0-29,0}$ 240
Коэффициент сжимаемости	—	—	$\frac{0,021}{0,015-0,032}$ 42
Угол внутреннего трения	$\frac{37^\circ}{34^\circ-37^\circ}$ 5	$\frac{35^\circ}{30^\circ-42^\circ}$ 57	$\frac{19^\circ 20'}{9^\circ 40'-27^\circ 30'}$ 38
Сцепление, МПа	—	—	$\frac{0,012}{0,007-0,040}$ 38

Примечание. Цифры в числителе — среднее медианное значение, в знаменателе — минимальное и максимальное значения показателя, после дроби — число определений.

залегают суглинки или глины, в большей или меньшей степени деформированы [62].

Современные озерные отложения встречаются в котлованах Агинского региона. Среди этих осадков преобладают супесчаные и суглинистые илы с прослоями и линзами глинистых песков. Грунты недоуплотнены и переувлажнены. Среднее значение пористости глинистых пород составляет 53 %, коэффициент пористости 1,15, консистенция мягкопластичная или скрытотекучая. Отложения характеризуются значительной засоленностью, обуславливающей их вязкость и липкость. Ниже слоя сезонного промерзания-протаивания они находятся обычно в многолетнемерзлом состоянии с высокой льдонасыщенностью. Из-за низких несущих свойств и высокой льдонасыщенности грунты весьма неблагоприятны для всех видов строительства.

Делювиальные и делювиально-пролювиальные отложения верхнечетвертично-современного возраста широко распространены в регионах, образуя обширные шлейфы у подножий склонов, нередко перекрывая тыловые части речных террас и пойм. Мощность отложений от 1—2 до 10 м. В Агинском регионе эти отложения представлены лёссовидными суглинками и супесями, реже пылеватými песками с прослоями и линзами щебня и дресвы, в Аргунском регионе — преимущественно крупнообломочными отложениями с супесчаным и суглинистым заполнителем, местами суглинками и супесями с дресвой и щебнем.

Отложения находятся как в талом, так и многолетнемерзлом состоянии. В талом состоянии глинистые грунты характеризуются невысокой естественной влажностью от 9,5 до 29 % (в среднем 17,5 %) и значительной плотностью сложения (объемная масса в среднем 1,92 г/см³). Сравнительно низкая влажность глинистых грунтов обуславливает незначительную их льдистость в случаях, когда они находятся в многолетнемерзлом состоянии. Однако высокие пористость лёссовидных суглинков и супесей (до 60 %) и просадочность при замачивании снижают их строительные свойства.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. В Агинском регионе многолетнемерзлые породы имеют островное распространение и встречаются только в наиболее увлажненных, заболоченных котловинах. Температура мерзлых грунтов, как правило, не опускается ниже $-0,2 \div -0,3$ °С, мощность от 2—3 до 15—20 м [94]. Наиболее низкие температуры пород (до -2 °С) отмечены в Тургино-Харанорской, Борзинской и Западно-Урулюнгуевской впадинах, где мощность мерзлой толщи достигает 30—40 м [62].

Верхняя граница многолетней мерзлоты находится на глубинах 1,5—5 м, в Тургино-Харанорской и Торейской котловинах встречается на глубинах более 10 м.

Шилкинско-Аргунский регион характеризуется массивно-островным и прерывистым распространением ММП, занимающих 50—70 % территории (см. рис. 2.4). Приурочены они главным образом к заболоченным долинам, склонам северной экспозиции и вершинам наиболее высоких гор. Температуры мерзлых пород изменяются от $-0,2$ до -3 °С, а мощность от 5—10 до 80—100 м. Максимальная мощность мерзлой толщи (120 м) зафиксирована в Урюмканском хребте в районе пос. Широкий [62].

Рассматриваемая территория представляет собой систему гидрогеологических и криогидрогеологических массивов трещинных, трещинно-жилных и трещинно-карстовых вод, приуроченных к горным сооружениям, и небольших артезианских бассейнов, расположенных в межгорных впадинах.

На большей части территории трещинные воды имеют свободную поверхность и лишь в долинах и на склонах северной экспозиции, где водоносная зона перекрыта криогенной толщей, воды приобретают напор, величина которого может достигать 50 м. Наименьшая глубина залегания трещинных вод отмечена в основании

склонов, где наблюдаются их естественные выходы (родники). В верхних частях склонов и на водоразделах она достигает 100 м и более. Водообильность зоны трещиноватости в общем незначительна, преобладающие дебиты скважин 0,5—2 л/с при пониженных уровнях 5—15 м. Карбонатные породы характеризуются повышенной водоносностью. Дебиты скважин достигают 37 и даже 100 л/с при понижении уровня до 1,5 м.

Подземные воды, содержащиеся в артезианских бассейнах забайкальского типа, — трещинно-пластовые, напорные. Коллекторами подземных вод служат конгломераты, песчаники и угли верхнеюрско-нижнемеловой угленосной формации. Алевролиты и аргиллиты относятся к практически водонепроницаемым породам. Глубина залегания подземных вод во впадинах от 20—40 до 100—160 м, а величина напора от 10 до 100—125 м. Уровни воды в скважинах устанавливаются на глубине 1—20 м от поверхности земли.

Подземные воды кайнозойских отложений сосредоточены в основном в аллювиальных отложениях. Вне площадей развития многолетней мерзлоты они имеют свободную поверхность уровня и обычно гидравлически связаны с трещинными водами подстилающих пород. Глубина залегания зеркала грунтовых вод на пойме и в днищах падей 1—3 м, на первой террасе — до 10 м, а на высоких террасах 10—20 м и более. Подмерзлотные воды в этих отложениях вскрываются на глубинах от 5—6 до 40 м, режим их более постоянен. Водоносный горизонт, за редким исключением, водообильный. Дебиты скважин при понижении уровня от 0,5 до 18 м изменяются от 0,5 до 6—7 л/с.

На большей площади своего распространения подземные воды в описываемых регионах — пресные с минерализацией до 0,5—0,8 г/л, гидрокарбонатные кальциево-магнєвные или кальциево-натриевые. В степных районах в подземных водах неглубоко залегающих водоносных горизонтов минерализация воды возрастает до 2—3 г/л, а в надмерзлотных водах Тургино-Харанорской депрессии достигает 5 г/л. На этих же участках отмечается засоление грунтов зоны аэрации с образованием солонцов и солончаков. Надмерзлотные и грунтовые воды в регионах характеризуются слабой общекислотной, а подмерзлотные — углекислой агрессивностью по отношению к бетонам. В пойменных отложениях р. Борзы, в озерных котловинах и отдельных пунктах в первом водоносном горизонте миоцен-плиоценовых отложений отмечены воды с сульфатной агрессивностью [62].

Современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления. *Сейсмичность.* Агинский и Шилкинско-Аргунский регионы относятся к зонам с возможной интенсивностью землетрясений до 6—7 баллов (см. рис. 16.4). Сейсмическая опасность этих территорий определяется в основном «транзитными» потрясениями из очаговых зон Байкальского региона. Вместе с тем некоторые сейсмологические данные свидетельствуют о возможности возникновения на рассматриваемых площадях местных семибалльных очагов землетрясений. К их числу относится Улетовское землетря-

сение 1912 г., землетрясение 1963 г. в Приаргунье и др. Наиболее активным на территории Шилкинского-Аргунского региона представляется Нерчинско-Заводский район, где довольно часто регистрируются слабые толчки, а в отдельные годы отмечались и довольно сильные землетрясения. Не исключено, что часть слабых местных землетрясений здесь не тектонического, а обвального происхождения (обвалы старых рудничных выработок, карстовых пещер и т. п.) [69].

Среди экзогенных геологических процессов характерными для рассматриваемой территории являются карст, водная и ветровая эрозия и разнообразные криогенные процессы. Отмечаются также оползни, представляющие собой, по сути, техногенный процесс, так как в их развитии значительная роль принадлежит деятельности человека.

Карст широко распространен в обоих регионах и приурочен к толщам карбонатных пород в составе рифейских, ниже- и среднепалеозойских терригенно-карбонатных и вулканогенно-карбонатно-терригенных формаций. Основные поверхностные формы карста — воронки, карстовые полости, каверны, колодцы и др. Они известны на водоразделе Онона и Турги, в бассейнах нижних течений рек Газимура, Урова и Урюмкана, в районе рудников Кличкинский, Каданский, Михайловский, Акатуевский и Благодатный, на Усть-Борзинском и Нерчинском месторождениях известняков. Карстовые формы отличаются обычно небольшими размерами: диаметр их от 1,5 до 5—7 м, глубина до 4—5 м. Воронки диаметром до 50 м при глубине до 10 м известны в верхнем течении р. Урюмкап [62].

Глубинный карст развит более широко, что подтверждается наличием пещер, общей кавернозностью пород, исчезновением поверхностных водотоков и выходами высокодебитных источников. Крупные пещеры известны на водоразделе Онона и Турги, в низовьях р. Онон-Борзя, на левом берегу р. Шилки (Лургиканская яма), в долине р. Уров, на Шерловой горе и других местах [34, 62]. Подземные карстовые полости в изобилии встречаются в шахтах и штольнях ряда рудников.

Значительная закарстованность карбонатных пород создает исключительные трудности при проведении горных работ. Внезапные прорывы трещинно-карстовых вод в горные выработки нередко вызывали затопление шахт и остановку работ на длительный срок.

Оврагообразование и плоскостный смыв почв наблюдается во всех хозяйственно освоенных районах, особенно широко в долинах рек Аргуни, Шилки, Онона и других. Необычайно интенсивно развивается «дорожная» эрозия по колеям грунтовых дорог. Примером «дорожной» эрозии, полностью уничтожившей участки полевых дорог, могут служить районы поселков Александровский Завод, Калга, Березовский и др. На участке автотрассы Нерчинск—Холбон за 2 года рост оврагов привел данный участок трассы в аварийное состояние.

Развитие оврагов сопровождается селевой деятельностью.

Ливневый характер осадков и широкое распространение рыхлых, слабо закрепленных растительностью грунтов — основные факторы возникновения и развития водной эрозии. Рост оврагов в последние годы прогрессирует, что объясняется возросшей хозяйственной деятельностью человека. Вырубка лесов, неумеренный выпас скота, распашка склонов без соблюдения противоэрозионных мер вывели в последние десятилетия из хозяйственного оборота большие массивы ценных земель. Эффективные мероприятия по предупреждению водной эрозии в регионах не проводятся.

Золовые процессы. В Агинском регионе на одной и той же территории проявляются как водная (летом), так и ветровая эрозия (весной и осенью). Обширные открытые степные пространства, аридный климат территории и наличие мощных песчаных толщ благоприятствуют развитию золовых процессов. Наибольших масштабов золовая деятельность наблюдается в районе г. Борзя. Песчаные бури перемещают вдоль улиц огромные массы песка, засыпают посевы, нанося значительный ущерб сельскому хозяйству. В областях аккумуляции песков современные золовые формы представлены незакрепленными песчаными буграми и барханами высотой до 5—8 м. На участках, где нарушен дерновый покров, интенсивно проявляются процессы дефляции.

Криогенные процессы в регионах проявляются в форме пучения и морозобойного растрескивания грунтов, термокарстовых просадок наледей, солифлюкции и др. В горах с абсолютными отметками более 1000 м широко развиты курумы.

Пучение грунтов — один из наиболее распространенных мерзлотных процессов в Забайкалье. Формы его разнообразны. Одна из них — общее сезонное пучение грунтов при их промерзании. Наиболее подвержены ему суглинистые пылеватые, сильно увлажненные разности грунтов в слое сезонного промерзания-протаивания. Чаще всего они развиваются в днищах падей, на речных поймах, террасах и делювиальных шлейфах. Высота пучин в большинстве случаев не превышает 40—50 см при протяженности вспученных участков от 20—50 до 100—500 м. При последующем их протаивании в летнее время происходит оседание поверхности. Именно с этими процессами в Забайкалье связана большая часть деформаций зданий, полотна железных и автомобильных дорог. На интенсивность процесса пучения влияет количество атмосферных осадков. После дождливой осени масштабы этого явления обычно возрастают [62]. В пределах населенных пунктов дополнительное искусственное увлажнение грунтов благоприятствует развитию этих процессов.

При достаточном подтоке грунтовых вод формируются локальные бугры пучения. Бугры пучения в рассматриваемых регионах преимущественно сезонные. Первые признаки их формирования наблюдаются в конце ноября — начале декабря и продолжаются до марта, а в июне — июле разрушаются. Размеры бугров обычно небольшие: высота от 0,5 до 3,5 м, диаметр 2—3 м. Наиболее часто они встречаются в днищах долин, падей и озерных котловин,

а также у подножий заболоченных склонов с близким к поверхности залеганием уровня подземных вод. В разрезе бугров наблюдаются сильно льдистые минеральные грунты и торф, реже ледяное ядро — гидролакколлит. Многолетние бугры пучения значительно больше сезонных по размерам и встречаются редко, преимущественно в Шилкинско-Аргунском регионе.

С протавнением льдистых грунтов, бугров пучения и гидролакколлитов связан процесс термокарста. Из морфологических форм его проявления чаще других встречаются понижения поверхности, западины и воронки, нередко заполненные водой. Глубина их от 0,3—0,5 до 3—4 м.

На леди различных генетических типов, чаще всего речные, широко развиты в рассматриваемых регионах. Речные наледи обычно формируются на малых и средних реках, где создается наибольшее стеснение руслового потока при его промерзании. Наледи подземного питания многочисленны в падах северо-западного склона Борщевочного хребта, в других долинах Шилкинско-Аргунского региона, а также в бассейне верхнего течения р. Онон. Все виды наледей на рассматриваемой территории являются однолетними и, как правило, небольших размеров. Тем не менее они создают значительные трудности при эксплуатации грунтовых и железных дорог, а местами угрожают жилым зданиям и различным сооружениям.

Морозобойное растрескивание грунтов наблюдается в степных районах и проявляется как в многолетнемерзлых, так и сезонномерзлых грунтах. Максимальная ширина трещин 10—15 см, глубина достигает 3 м.

Образование морозобойных трещин начинается в конце октября и заканчивается в марте. Морозобойное трещинообразование существенно влияет на прочность кабельных линий связи, трубопроводов, фундаментов зданий, покрытий дорог и т. п.

Оползни в естественных условиях на рассматриваемой территории встречаются редко и имеют небольшой объем. Чаще развитие их наблюдается на участках открытой разработки полезных ископаемых.

* * *

Наиболее благоприятные для строительного освоения условия отмечены в Агинском регионе. Здесь имеются широкие равнинные площади с близким залеганием к поверхности прочных скальных пород, удобные для размещения строительных площадок. Осложняющие факторы — острова многолетнемерзлых (высокотемпературных) пород, агрессивные свойства грунтовых вод и ряд неблагоприятных геологических процессов (пучение грунтов, морозобойное их растрескивание, оврагообразование, эоловые процессы и др.).

Инженерно-геологические условия Шилкинско-Аргунского региона более сложные. В небольших межгорных впадинах и долинах рек площади, благоприятные для размещения крупных строительных объектов, весьма ограничены и, как правило, требуют значительной инженерной подготовки. Широкое распространение ММП в днищах долин и падей создает большие трудности при строительстве, которые усугубляются наличием карста, интенсивным развитием криогенных и других процессов.

ГЛАВА 23 ДЖУГДЖУРО-СТАНОВОЙ РЕГИОН

Регион протягивается в субширотном направлении от р. Олекмы до побережья Охотского моря на расстоянии до 1000 км. К нему относятся горные массивы Станового хребта, включая хребет Чельбаус на западе и юго-западную часть хребта Джугджур с отрогами-хребтами Джугдыр и Майский.

Современная морфоструктура хребтов Станового-Джугджур представляет асимметричное сводное поднятие, круто спускающееся к Алданскому щиту и полого понижающееся к югу. Преобладающие абсолютные высоты гор в северной части свода 1300—1500 м, максимальные достигают 2000—2488 м, относительные превышения 500—600 м, на востоке — до 1000—1200 м. Горные хребты имеют массивные, куполовидные гольцовые вершины и выположенные склоны, покрытые на больших площадях каменистыми россыпями и курумами. В восточной части Станового хребта, а также в хребтах Джугджур, Джугдыр и Майский широко распространены следы древнего оледенения.

Наиболее пониженная часть южного склона Станового хребта, ограниченная с юга хребтами Чернышева-Тукурингра-Джагды, именуется Олекмо-Гилюйской или Нюкжа-Зейской депрессией. Она протягивается параллельно осевой части Станового хребта от рек Олекмы и Нюкжи до р. Зеп шириной 100—150 км. Рельеф этой депрессии низкорослый, платообразный с абсолютными высотами 600—900 м. Относительные высоты понижаются с севера на юг от 200 до 50—100 м.

В крайней восточной части Нюкжа-Зейской депрессии располагается обширная Верхнезейская впадина, выделяемая в качестве региона третьего порядка (см. рис. 17). Верхнезейская впадина приурочена к мезозойско-кайнозойскому краевому прогибу Становой области, испытавшему в неоген-четвертичное время значительное погружение. По характеру рельефа впадина представляет собой плоско-увалистую равнину с абсолютными отметками 250—400 м. Поверхность ее расчленена неглубокой (до 50—80 м), но довольно густой речной сетью с множеством мелких озер и болот. Долина р. Зей, пересекающая впадину, до отметки 315 м занята водохранилищем.

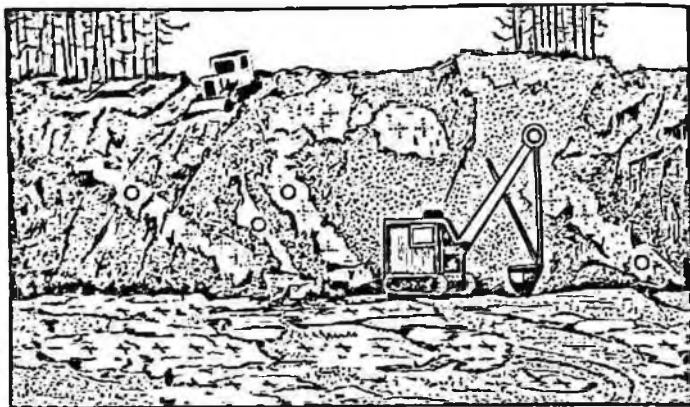


Рис. 23.1. Коры выветривания гранитоидов в районе г. Тында (по В. С. Хазанову)

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Джугджуро-Становой регион приурочен к позднэархейской Становой складчато-глыбовой области, ограниченной с севера Становым, а с юга — Монголо-Охотским глубинным разломом. Преимущественным распространением на его территории пользуются гранитоиды от архейского до мелового возраста включительно, среди которых наблюдаются небольшие поля гнейсов и кристаллических сланцев, содержащих прослои амфиболитов, кварцитов и мраморов. В восточной части Станового хребта и Джугджура залегает несколько крупных анортозитовых массивов (общая площадь до 10 тыс. км²), тяготеющих к зонам разломов. В целом гранитоиды занимают до 70 % площади региона. Большая их часть относится к гранит-мигматитовой формации (архей, нижний протерозой).

Все перечисленные породы прочные и очень прочные, неразмягчаемые, однако некоторые разновидности гранитоидов и анортозиты недостаточно морозостойкие [26]. Более подробная инженерно-геологическая характеристика гранитоидов и пород гнейсо-мигматитовой формации дана в разд. 16.1.

Кайнозойские отложения на рассматриваемой территории маломощны и характеризуются преимущественно крупнообломочным составом. Представлены они в основном верхнечетвертичными и современными аллювиальными, делювиально-солифлюкционными и фрагментарно ледниковыми отложениями. Лишь в Верхнезейской впадине кайнозойские отложения распространены на всей ее площади и имеют значительную мощность.

Характерная особенность региона — широкое развитие на его территории песчано-дресвяных (сапролитовых) кор выветривания. Они распространены главным образом в пределах Ньюжа-Зейской депрессии на гранитоидах и породах гнейсомигматитовой формации и сохранились на пологих склонах и водоразделах невысоких гор. Мощность их 3—5 м, но нередко достигает 30—40 м. Многие

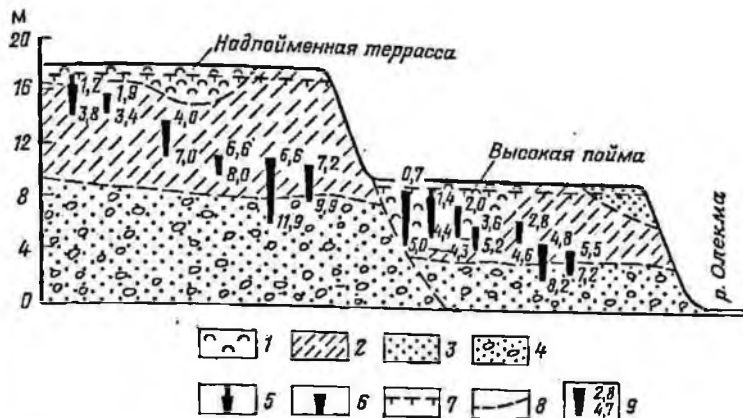


Рис. 23.2. Схема залегания повторно-жильных льдов в отложениях высокой поймы и I надпойменной террасы р. Олекма:

1 — торф; 2 — супесь; 3 — песок; 4 — валуно-галечные отложения; 5 — растущие ледяные жилы; 6 — нерастущие ледяные жилы; 7 — верхняя граница многолетней мерзлоты; 8 — граница литологических разностей; 9 — глубина залегания кровли и подошвы повторно-жильных льдов, м

выемки трассы БАМ на этом участке целиком пройдены в этих породах (рис. 23.1). Коры выветривания такого типа наблюдаются также вдоль некоторых зон разломов и прослеживаются горными выработками до глубины 100 м и более. Породы в таких зонах обладают низкой прочностью, особенно при оттаивании, что создает большие трудности при проходке их выработками [58].

Аллювиальные отложения, слагающие пойму и первую надпойменную террасу, имеют мощность от 2 до 12, местами до 40 м (долина р. Олекмы между устьями рек Нюкжи и Хани). Состав аллювия преимущественно галечниковый с песчаным заполнителем. Почти повсеместно отложения находятся в многолетне-мерзлом состоянии. Криогенная текстура их массивно-поровая, редко базальная, суммарная влажность пород 15—25%, при оттаивании они дают осадку от 0,02 до 0,08. Нередко встречаются прослои льда мощностью до 0,4 м. Пойменная фация аллювия мощностью 1—3 м представлена песками, супесями и суглинками, обычно перекрытыми торфами мощностью 0,5—1,5 м. Криогенные текстуры в них линзовидные, шлировые, слоистые, в песках чаще массивные. Объемная льдистость пород 30—60%.

В долинах многих рек на пойме и первой надпойменной террасе встречаются повторно-жильные льды, достигающие мощности 1—2 м с глубиной проникновения до 5—7 м (рис. 23.2). Наиболее характерные участки их распространения — безлесные кочковатые марши [50, 58].

Делювиально-солифлюкционные отложения образуют обширные шлейфы у подножий склонов, нередко перекрывающая террасы и тыловые части пойм. Мощность отложений 2—3 м,

иногда увеличивается к основанию склонов до 5—6 м. Представлены они супесями и суглинками с дресвой, щебнем и глыбами. Отложения характеризуются высокой льдистостью — 40—60 %, в отдельных местах до 80 %. Характерная особенность пологих склонов — широкое распространение на них торфяников мощностью 0,5—1 м и более. Именно к таким участкам и приурочены наиболее льдистые грунты [58].

Верхнезейская впадина выполнена мощной (до 200 м) толщиной плиоцен-четвертичных озерно-аллювиальных отложений, сложенной песками с прослоями глины, гравия и галечников (соктаханская свита). Мощность песчаных слоев 3—8 м, глины — от нескольких сантиметров до 9 м. Отложения находятся преимущественно в многолетнемерзлом состоянии. В глинах содержатся прослойки и линзы льда мощностью до 3 см, в интервале глубин 1,5—4 м лед нередко преобладает; криогенная текстура песков массивная, суммарная влажность их 20—25 %.

В восточной части впадины отложения соктаханской свиты перекрыты нижне-среднечетвертичными аллювиальными отложениями песчаного и крупнообломочного состава, а вдоль южной ее окраины, у подножия хребтов Соктахан-Джагды, — аллювиально-пролювиальными отложениями, представленными валуново-галечниковой толщей с супесчаным заполнителем мощностью 40—60 м. Криогенные текстуры в этих отложениях массивно-поровые и корковые, реже линзовидно-слоистые, льдистость 5—20 %. В днищах долины, а местами и на междуречьях все вышеописанные отложения в пределах впадины с поверхности перекрыты торфяниками мощностью 0,4—2 м. Криогенные текстуры в торфах, находящихся в многолетнемерзлом состоянии, линзовидные, шлировые, слоистые, объемная льдистость их 30—60 %, встречаются повторно-жильные льды [15].

Мерзлотно-гидрогеологические условия. В интервале высот от 1000 до 2000 м толща мерзлых пород в регионе имеет сплошное распространение. Температура пород изменяется с высотой местности от -1 до -7 °С, а мощность толщи мерзлых и морозных пород увеличивается от 50 до 500 м и более. Сквозные талики редки и встречаются только в днищах долины.

В Нюкжа-Зейской депрессии наиболее суровые геокриологические условия формируются в днищах долины, где с поверхности залегают тонкодисперсные грунты и торфяники. Многолетнемерзлые породы здесь имеют мощность от 70 до 200 м, на относительно сухих участках до 30—50 м, а на поймах с песчано-галечными грунтами мощность их сокращается до 5—20 м при температуре пород -1 ÷ -2 °С. Под руслами более или менее крупных рек встречаются сквозные и несквозные грунтово-фильтрационные, реже напорно-фильтрационные талики. От днищ долины к междуречьям, до абсолютных отметок 900—1000 м, температура пород повышается от $-0,2$ до -1 °С, а мощность толщи мерзлых пород сокращается до 20—80 м. На склонах и междуречьях широко развиты радиационно-тепловые талики.

В пределах Верхнезейской впадины многолетнемерзлые толщи занимают 50—75 % ее площади. Их мощность составляет 30—150 м при температуре пород $-1 \div -2$ °С. Отмечаются подрусловые, прирусловые и подошвенные сквозные и несквозные талики.

Гидрогеологические условия. Джугджуро-Становое сводовое поднятие представляет криогидрогеологический массив, трещиноватая зона которого почти повсеместно проморожена на всю мощность. Подземные воды сосредоточены в основном в подрусловых таликах крупных рек, а в пределах невысоких гор — ниже подошвы многолетнемерзлой толщи и в зонах разломов. Подземные воды гидрокарбонатные смешанного катионного состава с минерализацией 0,1—0,2 г/л. В некоторых источниках, выходящих по разломам, отмечено присутствие углекислоты.

Верхнезейская впадина в гидрогеологическом отношении представляет собой артезианский бассейн, осадочные отложения которого проморожены не на всю мощность. В бассейне вскрываются таликовые и подмерзлотные водоносные горизонты с пластово-поровыми водами в четвертичных, плиоцен-нижнечетвертичных и подстилающих их палеоген-миоценовых осадочных отложениях. Воды обладают напором величиной до 120 м. В слое сезонного промерзания-протаивания, мощность которого составляет 0,2—3 м, широко распространены надмерзлотные воды, способствующие заболачиванию территории и развитию разнообразных криогенных процессов. По химическому составу воды гидрокарбонатные смешанного катионного состава с минерализацией до 0,2 г/л, обладают общекислотной и выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетонам.

Современные геологические процессы и явления. *Сейсмичность.* Становой хребет представляет собой восточное продолжение высокосейсмичной Байкальской рифтовой зоны. Хотя уровень сейсмической активности этого региона ниже, чем Байкальского, он обладает достаточно высоким сейсмотектоническим потенциалом с возможной силой землетрясений до 8—9 баллов (см. рис. 16.3). Наиболее сейсмоопасен бассейн средней Олекмы, в пределах которого известны такие сильные землетрясения как Олекминское (5.01.1958 г. — 9 баллов), Нюкжинское (14.09.1958 г. — 9 баллов) и Тас-Юряхское (18.01.1967 г. — 9—10 баллов). Высокую сейсмотектоническую активность этого района связывают с зоной Станового глубинного разлома, обновляющегося в процессе поступательного развития рифтогенеза к востоку [18].

Восточнее, по направлению к Охотскому морю, происходит затухание сейсмической активности. Однако особенности строения приразломной зоны, проявления многочисленных слабых землетрясений, а также имеющиеся сведения о предположительно сейсмогенных деформациях в Токинском Становике и на побережье Охотского моря к северу от устья р. Уда дают основание считать хребты Становой и Джугджур потенциально семи- и восьмибалльными.

Нюкжа-Зейская депрессия, по которой проходит трасса БАМ, характеризуется спокойным сейсмотектоническим режимом, потен-

дпальная сейсмичность ее площади 6—7 баллов. Причем, сейсмичность определяется в основном транзитными сотрясениями из очаговых зон Байкальской рифтовой зоны, Становой и Монголо-Охотской системы разломов [76].

Практически асейсмична Верхнезейская впадина, однако сооружение Зейского водохранилища может вызвать возбужденные землетрясения значительной силы.

Среди экзогенных геологических процессов наиболее существенное значение в регионе имеют криогенные процессы: наледь, пучение грунтов, термокарст, солифлюкция, курумы, повторно-жильное льдообразование, заболачивание. В гольцовом поясе гор отмечаются также обвалы, осыпи, возможны сходы лавин и селей.

Наледи различных генетических типов, преимущественно наледи подземных вод, в данном регионе распространены чрезвычайно широко. Например, в бассейнах верхних течений рек Гилюй, Верхняя и Средняя Ларба, общей площадью 23 600 км², ежегодно формируется 529 наледей подземных вод суммарной площадью 63,1 км², средней мощностью 1,23 м и объемом 48 млн м³ [20]. Наледями покрыто 0,26 % поверхности этих бассейнов. Около 85 % наледей имеют небольшие размеры от 5 до 200 тыс. м², причем 34 % — меньше 50 тыс. м². Наибольшую площадь (960 тыс. м²) имеет наледь, расположенная на левом притоке р. Гилюй — р. Большая Талга, протянувшаяся на 4,58 км. Наибольшая наледность среди рек с площадями водосборов более 1000 км² отмечена на р. Тынде (наледность 0,54 %), а среди рек с площадями водосборов менее 1000 км² наибольшей наледностью характеризуется ручей Водопроводный — левый приток р. Тынды (наледность 2,72 %).

Наледи в данном регионе формируются в основном на абсолютных высотах 400—1000 м, максимум их приходится на интервал высот 500—600 м. Наледи широко развиты также и в пределах Верхнезейской впадины. Наледность на ее площади достигает 0,09—0,1 % [15]. Значительное влияние на развитие наледей оказывает производственная деятельность человека (см. разд. 28.3).

Пучение грунтов — один из основных криогенных процессов в данном регионе. Пучению подвергаются преимущественно глинистые грунты делювиально-солифлюкционных шлейфов, речных террас и пойм. Помимо общего сезонного пучения грунтов широко развиты миграционные и инъекционные бугры пучения как сезонные, так и многолетние.

Термокарстовые просадки наблюдаются на всех элементах рельефа, где распространены сильно льдистые грунты. Они особенно характерны для заболоченной территории Нюкжа-Зейской депрессии и Верхнезейской впадины. В последней, где с поверхности залегают особенно высокольдистые отложения, встречаются термокарстовые озера площадью в несколько гектаров. После сооружения плотины Зейской ГЭС и создания Зейского водохранилища процессы деградации мерзлоты и развития термокарста во

впадине активизировались. Под акваторией водохранилища формируется сквозной талик [58].

Курумы. Региональная особенность Джугджуро-Станового региона — широкое развитие курумов. Наибольшие площади их (до 80 %) приурочены к гольцовому поясу гор. Площади отдельных курумных полей от десятков квадратных метров до нескольких квадратных километров. Поверхность их обычно осложнена валами напора и воронкообразными понижениями. Движение курумов неравномерно во времени. Средняя скорость смещения обломков обычно не более 1—2 см в год [15]. Причиной значительных и даже катастрофических подвижек могут быть землетрясения, таяние гольцового льда, интенсивные дожди, сход лавин и т. п.

Повторно-жильное льдообразование происходит в результате морозобойного растрескивания грунтов и формирования различных полигонально-жильных структур. Оно наблюдается на пойме и надпойменных террасах рек Нюкжа, Гилюй, Зея и других, а также на делювиально-солифлюкционных склонах [58]. Ледяные жилы достигают мощности 1—2 м с глубиной проникновения до 6—7 м.

Заболочивание представляет собой существенное препятствие для освоения территории. В Верхнезейской впадине площадь заболоченных земель достигает 70 % и продолжает возрастать в связи с сооружением Зейского водохранилища. Значительной заболоченностью характеризуются днища долин и нижние части склонов Нюкжа-Зейской депрессии. Развитию болот способствуют климатические условия, высокий уровень грунтовых вод и слабый их сток. Последнее обусловлено наличием криогенных и глинистых водоупоров и слабой расчлененностью поверхности.

Снежные лавины. Джугджуро-Становой регион характеризуется слабой степенью лавинной опасности [39]. Потенциально лавиноопасен участок в районе Нагорного тоннеля. В исключительно снежные зимы здесь возможны снежные осовы. Лавинная опасность возрастает в восточных районах Станового хребта и Джугджуро в связи с возрастанием абсолютных высот местности, смягчением климата в этом направлении и повышением мощности снежного покрова. Наибольшей лавинной опасностью характеризуются гольцовые, сильно расчлененные ледниково-экзарационные горы Токинского Становика, восточных склонов хребтов Джугджур, Джугдыр и Майского. Исследования показали, что здесь в условиях многоснежных зим возможны сходы лавин всех типов.

Сели. Результаты исследований последних лет позволяют говорить о хребтах Становом и Джугджуре как селеопасных районах. Гольцовый рельеф хребтов с мощными моренными накоплениями и курумными плащами на склонах, интенсивные дожди летом благоприятствуют развитию селевых потоков. Сели здесь формируются в основном во второй половине лета и имеют дождевое или смешанное (дождевое и снеговое) питание. Примером дождевых смесанных сели, которые прошли в конце июля 1966 г. в вос-

точной части Станового хребта по притокам Учюра. Смешанный генезис имели селевые потоки в бассейне р. Чильчи (приток р. Нюкжи). Объем выносов достигал 30—150 тыс. м³ [70].

* *
*

Оценивая инженерно-геологические условия Джугджуро-Станового региона в целом, следует отметить, что он характеризуется в общем благоприятными грунтовыми условиями: близким залеганием к поверхности прочных скальных пород и крупнообломочным составом рыхлых отложений. Однако значительно осложняют инженерно-геологическую обстановку наледь, пучение грунтов, термокарстовые и другие процессы в днищах долины и на склонах. Опыт строительства и эксплуатации Амуро-Якутской автомагистрали, БАМа и Малого БАМа показывает, что борьба с наледями и пучением грунтов в регионе — основная при всех видах строительства. Высокая сейсмичность западной части региона обуславливает необходимость применения при строительстве антисейсмических конструкций.

ГЛАВА 24 ТУКУРИНГРА-ДЖАГДИНСКИЙ РЕГИОН

Регион включает в себя систему линейно вытянутых (с запада на восток) горных хребтов: Чернышева, Янкан, Тукурингра, Соктахан и Джагды. Они образуют узкое сводово-горстовое поднятие запад-северо-западного простирания протяженностью около 700 км при ширине 50—60 км. С севера поднятие ограничено Северо-Тукурингским, с юга — Южно-Тукурингским разломами, представляющими звенья протяженного Монголо-Охотского линеамента. Продольные, диагональные и поперечные разрывные нарушения с различной амплитудой вертикальных смещений создали ступенчатый характер этой морфоструктуры. В восточной части она расчленена субмеридиональной Огоронской впадиной на два массива: западный включает хребты Чернышева, Янкан, Тукурингра и Соктахан, восточный — хр. Джагды. Хребет Тукурингра в свою очередь от хр. Соктахан отделен antecedентной долиной р. Зей, в которой сооружена Зейская ГЭС (рис. 24.1).

Рельеф Тукурингра-Джагдинского поднятия среднегорный, интенсивно расчлененный, с преобладающими абсолютными высотами 1100—1300 м. Максимальные высоты достигают 1500—1604 м, глубина расчленения от 100—300 до 1000 м. Долины рек узкие, V-образные, крутизна склонов обычно более 20—30°.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Тукурингра-Джагдинское сводово-горстовое поднятие приурочено к Амуро-Охотской складчатой системе — наиболее узкому участку Монголо-Охотской геосинклинальной складчатой об-



Рис. 24.1. Схема сеймотектоники района Зейской ГЭС и перевального участка трассы БАМ (по В. П. Солоненко [75]):

- 1 — Тукурингра-Джагдынское сводово-блоковое поднятие; 2 — впадины; 3 — глубинные разломы, сопровождаемые зонами дробления, катаклаза и расчленения пород; 4 — трасса БАМ; 5—8 — эпицентры землетрясений силой соответственно 5, 6, 7 и 8 баллов; 1972, 1977 — годы землетрясений

ласти, зажатой между кристаллической глыбой Буреинского массива и Становой складчато-глыбовой областью.

В геологическом строении западной части региона (хребты Чернышева, Янкан, Тукурингра) преобладают разновозрастные гранитонды, среди которых наблюдаются небольшие поля пород гнейсо-мигматитовой формации архея. Вдоль южного склона хребтов Тукурингра-Соқтахан-Джагды непрерывной полосой залегает толща метаморфических пород верхнего протерозоя — нижнего палеозоя. Сложена она серицитовыми, серицито-хлоритовыми, кварц-хлорит-эпидотитовыми и другими сланцами с прослоями метапесчанников, эффузивов, редко мраморов. В пределах хр. Джагды широким распространением пользуются породы кремнисто-вулканогенно-терригенной формации среднего — верхнего палеозоя, в строении которой участвуют песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, кремни, диабазы, туфы, известняки и конгломераты, переслаивающиеся между собой. Разрез палеозойских отложений нарачивается мощной (до 8 тыс. м) триасово-юрской терригенной формацией. Сложена она песчаниками, алевролитами, глинистыми сланцами, гравелитами и конгломератами, находящимися в частом переслаивании. Подробная инженерно-геологическая характеристика пород триасово-юрской терригенной формации приводится в Верхнеамурском регионе (см. гл. 25).

Для всех перечисленных формаций в данном регионе характерна интенсивная напряженная складчатость, большое число разрыв-

ных нарушений.— взбросов и надвигов, зон брекчирования, катаклаза и рассланцевания. Вдоль Северо- и Южно-Тукурингских разломов ширина зон брекчирования и рассланцевания достигает многих километров (см. рис. 24.1).

Все породы, участвующие в стрессии выше названных формаций, в основной своей массе в образцах прочные и очень прочные, невлагоемкие, морозостойкие, однако густая сеть разломов обуславливает недостаточную их прочность в массиве.

Интрузии гранитоидов в восточной части региона редки и небольших размеров. К Южно-Тукурингскому разлому приурочена протяженная (более 300 км), но небольшая по мощности интрузия габбро-диоритов палеозойского возраста. В эту интрузию врезана плотина Зейской ГЭС. Она расположена в наиболее сохранившем блоке массива диоритов на расстоянии 1 км вверх по течению реки от основного шва разлома. Породы в створе плотины прочные. Временное сопротивление сжатию диоритов в сухом состоянии 73—263 МПа (в среднем 168 МПа), в водонасыщенном — 52—221 МПа (в среднем 136 МПа). Сопротивление сдвигу скального основания характеризуется следующими показателями: коэффициент трения 0,7; сцепление 0,3 МПа; расчетный модуль деформации скального массива принят равным $10 \cdot 10^3$ МПа. Мощность зоны выветривания на левом берегу реки 10—18 м, в русле 2—3 м, на правом берегу 10—12 м. Наиболее глубоко (до 20 м) выветривание проникает по тектоническим зонам [93].

С достаточным основанием можно утверждать, что интенсивная изоклинальная складчатость, зоны смятия, рассланцевания и дробления пород Тукурингра-Джагдинского горста вызваны тангенциальным сжатием, обусловленным перемещением в северном направлении Бурейского массива и сближением его с Алдано-Становым геоблоком. Северо- и Южно-Тукурингские разломы также представляют собой надвиги, состоящие из многочисленных чешуй с надвигом пластин со стороны Бурейского массива в сторону становой области. Толщи пород, особенно в восточной части региона, находятся в перенапряженном состоянии и даже на относительно пологих склонах наблюдаются сколы и обвалы довольно крупных блоков пород.

Четвертичные отложения в регионе представлены аллювием речных пойм, узких фрагментов надпойменных террас и элювиально-делювиальными образованиями, перекрывающими несплошным покровом склоны и водоразделы. Первые обычно сложены галечниками с песчаным заполнителем мощностью 2—5, редко до 10—15 м, в составе вторых преобладают щебнистые суглинки и супеси мощностью 0,5—3 м.

Поле широкого распространения четвертичных отложений — Огоронская впадина, по которой трасса БАМ пересекает хребет. С поверхности здесь залегают озерные отложения современного и верхнечетвертичного возраста — сизовато-серые пылеватые суглинки с включением растительных остатков, гравия и топких линз пе-

ска. Мощность отложений около 10 м. Особенность этих отложений — наличие в их разрезе двух высокольдистых горизонтов. Первый в интервале глубин 1,35—4,6 м, второй — 6—10,4 м. В первом лед преобладает над грунтом, составляя 60—70 % объема породы. Ледяные прослои мощностью 4—10 см чередуются с оторфованным суглинком, в котором также наблюдаются прослойки льда мощностью 0,2—0,4 см. Во втором льдистом горизонте прослойки толщиной 1—3 см чередуются с прослойками суглинка мощностью 6—10 см. Лыдность грунта 40—50 %. Подстилаются озерные отложения толщей аллювиальных отложений соктаханской свиты плиоцен-четвертичного возраста. Представлены они разнозернистыми песками с включением гальки и прослойками суглинков и супесей. В суглинках отмечаются лнззы льда мощностью 1,5—2 см, суммарная влажность их 25—30 %.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Характер распространения, температура и мощность многолетнемерзлых пород в регионе имеют ярко выраженную высотную поясность. Наиболее низкие температуры пород ($-2\frac{1}{2}$ — -5 °С) отмечаются в пределах гольцового пояса гор на абсолютных высотах более 1200—1300 м. Мощность мерзлой толщи здесь достигает 100—300 м и имеет сплошное по площади распространение [15]. Талики в этом поясе, по-видимому, отсутствуют.

В интервале высот 900—1300 м наблюдается криолитозона прерывистого распространения мощностью до 100 м при температуре пород $-1\frac{1}{2}$ — -2 °С. Талики радиационного типа отмечены на склонах южной экспозиции. На абсолютных высотах менее 800—900 м встречаются многолетнемерзлые породы островного распространения, преимущественно на склонах северной экспозиции. Их мощность доходит до 50 м, температура изменяется от $-0,2$ до -1 °С. В днищах долин и впадин, несмотря на относительно низкие значения температур ($-1\frac{1}{2}$ — -2 °С), мощности многолетнемерзлых пород, как правило, не превышают 50—100 м, что связано с противодействием промерзанию сильной обводненности пород. Здесь нередки подрусовые и подозерные сквозные и несквозные талики.

В гидрогеологическом отношении регион представляет собой систему интенсивно расчлененных криогидрогеологических массивов, в которых зона региональной экзогенной трещиноватости пород либо полностью проморожена, либо сдренирована. Трещинные и трещинно-жильные воды встречаются в поясе островного и прерывистого развития криолитозоны (до абсолютных высот 1200—1300 м) и локализуются, как правило, в долинах рек и нижних частях склонов.

Водоносный горизонт зоны выветривания и породах метаморфических, осадочных и интрузивных формаций повсеместно отличается невысокой водообильностью. Дебиты родников составляют 0,1—0,2 л/с, редко более. Водообильность трещиноватой зоны диоритов в районе Зейской ГЭС также невелика. Дебит источников 0,06—0,5 л/с, коэффициент фильтрации до 1 м/сут, в зонах тектонических нарушений до 10 м/сут [93]. В зонах надвигов трещины

в массивах пород зажаты и их водообильность также ничтожна. Ввиду интенсивной расчлененности рельефа, близости области питания и разгрузки создаются неблагоприятные условия для накопления значительных ресурсов подземных вод. Ориентировочный дебит скважин может составить 0,1—1 л/с. По химическому составу трещинные воды гидрокарбонатные кальциевые или смешанного катионного состава с минерализацией до 0,1—0,22 г/л, не агрессивные к бетону.

Кроме трещинных и трещинно-жильных вод коренных пород существуют порово-грунтовые и порово-пластовые воды четвертичных аллювиальных отложений. Эти воды имеют локальный характер распространения в пределах подрусловых, прирусловых и подозерных таликов. Водообильность отложений, как правило, низкая вследствие небольшой мощности водовмещающих пород.

Современные геологические процессы и явления. *Сейсмичность.* Тукурингра-Джагдинское сводово-горстовое поднятие — одна из наиболее сейсмоактивных морфоструктур Забайкалья. Только за последние годы здесь зарегистрированы сильнейшие землетрясения: Зейское 1973 г. — 8 баллов и Огоронское 1977 г. — 7—8 баллов [18]. Сейсмичность региона увязывается с Северо- и Южно-Тукурингрскими разломами, представляющими собой звенья протяженного (3000-километрового) Монголо-Охотского сейсмогенного линеймента. Зоны этих разломов трассируются полосами высокой концентрации эпицентров слабых толчков и очагов сильных землетрясений (см. рис. 24.1). Почти все эпицентры землетрясений, зарегистрированные в регионе, сосредоточены в Тукурингра-Соктаханском блоке. Однако близкое сходство геолого-геофизической и тектонической обстановок западной и восточной частей Тукурингра-Джагдинского поднятия позволяют считать сейсмоопасной морфоструктуру в целом. Высокую ее сейсмичность можно объяснить тангенциальным сжатием в результате сближения Буренского и Алдано-Станового геоблоков.

В комплексе экзогенных геологических процессов Тукурингра-Джагдинского региона важную роль играют обвалы, осыпи, снежные лавины, сели, наледи, пучение грунтов, термокарст, курумообразование и др.

Обвалы, осыпи. Сильно расчлененный рельеф горных хребтов с крутыми неустойчивыми склонами обуславливает широкое развитие обвально-осыпных процессов. Во время землетрясений происходят смещения весьма крупных блоков пород. Так, в плейстоценовой зоне последнего землетрясения (в верховьях рек Ирмакит и Тында, в левых притоках р. Уркан) образовались крупные скальные обвалы, наблюдались камнепады и осывы. Здесь же установлена древняя сейсмогравитационная структура — скальный оползень-обвал с амплитудой вертикального смещения 40 м. Практически произошло обрушение монолитного скального блока площадью 25 000 м² на внешне устойчивом склоне [18]. Обвалы обычно сопровождаются осыпанием выветрелых скальных пород, формирующих у подножий склонов осыпные шлейфы.

Лавины. Рельеф горной системы Янкан-Тукурингра-Джагды благоприятствует сходу лавин, но сравнительно большая залесенность гор, способствующая равномерному распределению снега, ограничивает лавинную деятельность [39]. В восточной части региона — хр. Джагды, судя по густой сети лавинных лотков и лесных прочесов, степень лавинной активности значительно большая. В особенно снежные зимы здесь, по-видимому, формируются крупные лавины с дальностью выброса снега до 2—3 км.

Селевые явления. По имеющимся немногочисленным данным [70], Тукурингра-Джагдинский регион относится к областям со средней степенью селеопасности. Сильно расчлененный рельеф, крутые уклоны русел ручьев, широкое распространение обвально-осыпных накоплений и ливневый характер летних осадков благоприятствуют формированию селей. В устьях многих ручьев в восточной части региона наблюдаются селевые конусы выносов с обломками древесины и целых стволов деревьев, позволяющие с достаточной определенностью судить об активности селевых процессов. По нашим наблюдениям, наибольшая селевая активность свойственна северному склону хр. Джагды.

Наледи образуются за счет грунтовых вод таликов, напорно-фильтрационных вод глубокого подмерзлотного стока и вод сезонно-талого слоя и имеют относительно небольшие размеры в регионе. Все наледи сезонные, становящиеся к концу июня или в июле.

Термокарстовые явления наблюдаются в днище Огоронской котловины, реже у подножий горных склонов в днищах долин, где распространены высокольдистые дисперсные отложения. Среди наблюдаемых термокарстовых форм — небольшие озера, мочажинны, рвы.

Солифлюкция, пучение и морозобойное растрескивание грунтов проявлено слабо и в основном в западной части региона. В восточной его части пучение грунтов интенсивно проявляется в Огоронской котловине. Здесь широко развиты инъекционные льды, формирующие гидролакколиты с ледяными ядрами мощностью до 1,8 м.

Курумы. Наибольшие площади курумов свойственны хребтам Чернышева, Янкан, Тукурингра. В гольцовом поясе этих хребтов пораженность курумами составляет 50—70 % его площади, резко уменьшаясь в таежном поясе. Восточнее хр. Соктахан площади распространения курумов сокращаются вплоть до их полного исчезновения в связи с изменением состава пород. Формируются курумы в основном на гранитоидах и гнейсах, устойчивых к выветриванию.

* *
*

В целом Тукурингра-Джагдинский регион весьма неблагоприятен для строительного освоения. Инженерно-геологические особенности региона для наземного строительства определяются прежде

всего горным, сильно пересеченным рельефом с весьма ограниченными возможностями выбора строительных площадок. Значительные трудности будут возникать и при освоении Огоронской котловины ввиду сильной заболоченности, широкого распространения высокольдистых грунтов и интенсивного развития криогенных процессов. Высокая сейсмичность региона в целом обуславливает необходимость при строительстве ответственных сооружений применения антисейсмических конструкций.

ГЛАВА 25 ВЕРХНЕАМУРСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает левобережье верхнего течения р. Амур от слияния Шилки и Аргуни до Амуро-Зейской равнины. По характеру рельефа территория представляет собой слаборасчлененное денудационное низкогорье с мягкими очертаниями основных горных гряд. Преобладающие абсолютные высоты поверхности находятся в пределах 500—600 м и постепенно понижаются к долине Амура, сливаясь с уровнем его террас. В субмеридиональном направлении регион пересекает ряд довольно крупных рек: Амазар, Омутная, Уруша, Ольдой, Большой Невер и другие, с глубиной вреза долин 100—300 м. У подножий хребтов Янкан-Тукурингра, ограничивающих регион с севера, располагаются небольшие впадины: Уруша-Ольдойская и Верхнеурканская, представляющие собой наклонные к югу равнины с абсолютными отметками 350—400 м. Глубина вреза речных долин в эти поверхности составляет 20—50 м.

Значительное место в рельефе занимает террасовый комплекс Амура и его притоков, включающий пойму и три надпойменные террасы. Террасы Амура I и II, высотой соответственно 20—30 и 50—60 м, встречаются фрагментарно; III-я — главная терраса, высотой до 100—110 м, развита наиболее широко. Ширина ее поверхности постепенно увеличивается вниз по течению реки от 3—5 до 10—12 км. Ниже с. Сгибнево прослеживается древняя долина Пра-Амура, расположенная несколько севернее современной и отделенная от последней массивами коренных пород (рис. 25.1).

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. В геолого-структурном плане регион приурочен к Верхнеамурскому палеозойскому синклинорию и наложенному на него Ольдойскому мезозойскому прогибу. На востоке регион включает Гонжинский выступ Буреинского кристаллического массива.

В пределах Гонжинского выступа преобладают разновозрастные, преимущественно мезозойские, гранитоиды, среди которых фрагментарно сохранились гнейсы и кристаллические сланцы архея и нижнего протерозоя. По периферии выступ окаймлен прерывистой цепью вулканогенных пород андезит-дацит-липаритовой формации нижнего мела.

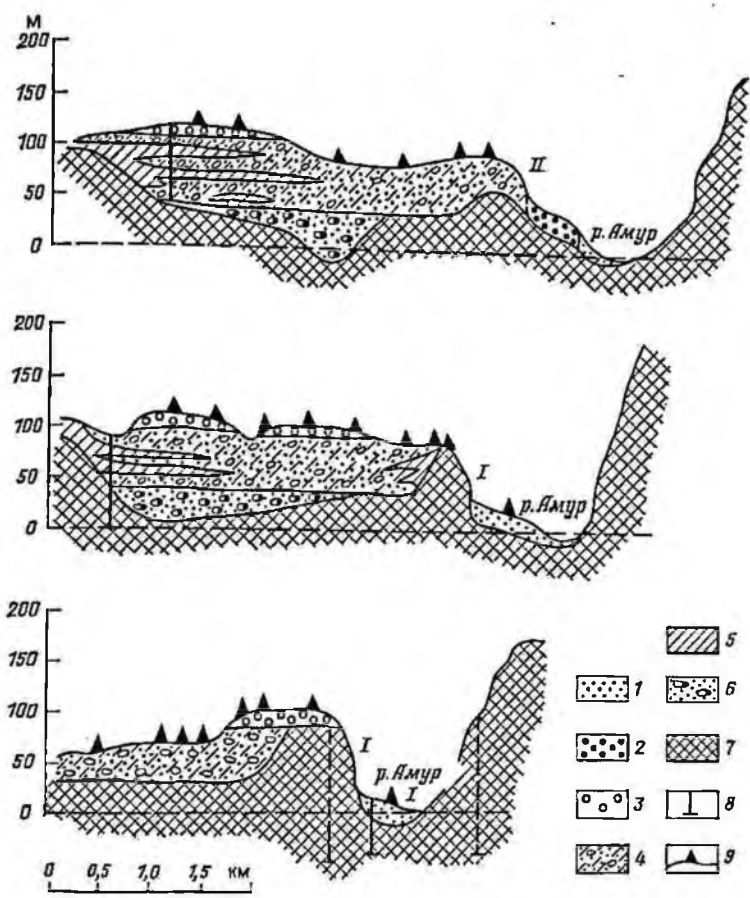


Рис. 25.1. Геологические разрезы погребенной долины верхнего течения Амура между реками Бургалы и Большим Невером:

1—3 — отложения (1 — поймы и I надпойменной террасы, 2 — II надпойменной террасы, 3 — главной III надпойменной террасы); 4—6 — отложения погребенной долины (4 — пески с гравием и галькой с примесью каолинового материала, 5 — прослой делювиальных глин и суглинков, 6 — пески с кварцевой галькой); 7 — мезозойские песчаники и алевролиты; 8 — скважина; 9 — точка электроразондирования. Римские цифры — номера надпойменных террас

Верхнеамурский (Омутнинский) прогиб выполнен осадочными отложениями палеозоя. В основании их разреза залегает толща силурийских отложений (омутнинская свита), сложенная кварцито-видными песчаниками, алевролитами и гравелитами с прослоями известняков. Выше залегают девонские отложения, представленные алевролито-песчанико-карбонатной толщей флишoidalного характера. Венчают разрез нижнекаменноугольные отложения терригенного состава — алевролиты, песчаники, конгломераты. В совокупности эти три толщи общей мощностью 4000 м составляют карбонатно-терригенную формацию палеозоя.

Породы описанной формации распространены на севере региона в относительно узкой полосе, примыкающей к Южно-Тукурингскому разлому.

Наибольшую площадь региона занимает Ольдойский прогиб, выполненный мощной (более 9 тыс. м) *терригенной формацией триасово-юрского возраста*. В сложении формации участвуют песчаники, алевролиты, глинистые сланцы, гравелиты и конгломераты, находящиеся в переслаивании. Причем в общем разрезе формации доминируют песчаники, составляя 50—60 % от общего объема всех пород.

Песчаники — от гравелистых до мелкозернистых, полимиктовые и кварцево-полевошпатовые, на глинистом или кварцево-серицитовом цементе. В невыветрелом состоянии песчаники характеризуются как высокопрочные породы. Прочность их увеличивается с уменьшением размера зерен. Наименьшей прочностью характеризуются гравелистые разновидности.

Алевролиты вне зоны выветривания также имеют высокую прочность. Их особенность — неравномерное снижение прочности при водонасыщении. Эта неравномерность характеризуется коэффициентом размягчения 0,56—0,73.

Глинистые сланцы могут быть охарактеризованы как породы слабопрочные. В процессе выветривания они превращаются в остроугольную мелкую щебенку, в воде размягчаются, а в отдельных случаях способны к набуханию.

Конгломераты в разрезе формации играют подчиненную роль и встречаются в виде прослоев и линз, местами значительной мощности. В основной массе это высокопрочные породы, и нередко в берегах Амура они образуют отвесные скалы, слабо разрушающиеся под действием выветривания.

Физико-механические свойства описанных пород приведены в табл. 25.1.

Следует отметить, что образцы для лабораторных испытаний, результаты которых приведены в табл. 25.1, отбирались из скважин с глубины 20—40 м. В зоне выветривания прочность этих же пород меньшая. Изменение плотности и прочности крупнозернистых песчаников в зависимости от глубины взятия образцов показано в табл. 25.2 на примере скважины в Ольгинском створе.

Породы описанной формации смяты в складки северо-восточного простирания, крылья которых нередко осложнены разломами. К ядрам антиклинальных складок и разломам приурочены зоны повышенной трещиноватости пород, по мере удаления от которых степень трещиноватости уменьшается. Зоны влияния разломов небольшие и обычно не превышают 100—200 м. По данным В. И. Копплевой (МГУ), коэффициент трещиноватости пород в зонах разломов колеблется от 10—15 до 20—25 %. Величина коэффициента трещиноватости пород, находящихся вне зоны дробления, не превышает 3—5 %. Трещины преимущественно крутопадающие с углами падения 60—90°, шириной 1—2 мм, реже 0,5—5 см. Массивы пород, заключенные между зонами дробления, характеризуются

Физико-механические свойства пород триасово-юрской терригенной формации Верхнего Приамурья (по данным экспедиции МГУ и Гидропроекта)

Таблица 25.1

Породы	Плотность при естественной влажности, г/см ³	Пористость, %	Водопоглощение, %	Временное сопротивление сжатию, МПа			Число определений
				в сухом состоянии	в водонасыщенном	после заморозки	
Песчанники:							
крупнозернистые	2,41—2,65	3,32—9,3	0,33—4,5	40—162	5,9—132	11,1	4
среднезернистые	2,38—2,66	3,31—9,4	0,32—2,47	86—180	72—156	57—134	3
мелкозернистые	2,41—2,67	1,88—4,07	0,45—0,69	183—192	109—173	148—171	3
Алевриты	2,56—2,72	2,19—3,2	0,21—1,54	76—150	67—129	—	4
Конгломераты	2,64	1,11	0,45	160	124	110	1

Таблица 25.2

Изменение плотности и прочности песчанников в зависимости от глубины отбора

Глубина отбора образцов, м	Плотность при естественной влажности, г/см ³	Временное сопротивление сжатию, МПа
1,5	2,63	76
5,0	2,68	98
14,0	2,68	113
28,5	2,69	127

большой прочностью, слабой выветрелостью и незначительным развитием трещин.

Кайнозойские отложения. Уруша-Ольдойская и Верхнеурканская впадины, а также древняя долина Пра-Амура выполнены мощной толщей кайнозойских осадков (см. рис. 25.1). Верхняя часть их разреза сложена аллювиальными отложениями плиоцен-нижнечетвертичного возраста, рассматриваемыми как аналог отложений белогорской свиты. Они представлены кварц-полевошпатовыми песками с включениями гравия и гальки. Местами они отсутствуют и на поверхность выходят более древние осадки сазанковской свиты. Инженерно-геологическая характеристика этих толщ будет дана в Амуро-Зейском регионе (см. гл. 26).

Среди четвертичных отложений основными генетическими типами в регионе являются аллювиальные и делювиально-солифлюкционные.

Аллювиальные отложения III (главной) террасы Амура представлены осадками белогорской свиты. Мощность отложений от 5—10 до 15—25 м.

Аллювиальные отложения II надпойменной террасы в долине Амура имеют ограниченное распространение. Сложены они в основном разнородными песками с включениями гальки и гравия. В основании разреза отмечается выдержанный слой галечников, а с поверхности — маломощный (до 1 м) слой суглинков. Суммарная мощность отложений 5—15 м.

Аллювиальные отложения I надпойменной террасы прослеживаются с перерывами на всем протяжении долины Амура. Представлены они гравелистыми песками и галечниками с включениями валунов. Пойменная фация аллювия сложена суглинками мощностью 1,5—3 м. Общая мощность отложений 10—15 м.

Аллювиальные отложения поймы развиты почти на всем протяжении Амура и его притоков. Русловая фация аллювия состоит в основном из галечников с песчаным заполнителем мощностью 10—12 м, в строении пойменной фации, мощность которой от 3 до 8 м, преобладают супеси и суглинки, реже пески с включениями гальки и гравия.

Террасы и пойма притоков Амура характеризуются меньшей высотой и меньшей мощностью аллювия. Сложены они в основном галечниками с включенным валунов с песчаным, редко суглинистым заполнителем; в пойменной фации, мощность которой обычно не превышает 2 м, — суглинки и супеси с включениями щебня и гравия.

Делювиально-солифлюкционные отложения представлены суглинками и супесями с включениями щебня, дресвы и глыб, содержание которых вниз по разрезу возрастает до 60—70 %. Мощность отложений от 2 до 4—5 м, но местами может достигать 10 м. Делювиально-солифлюкционные отложения образуют обширные шлейфы у подножий склонов (елани), иногда перекрывая тыловые части террас и пойм. Отложения, как правило, переувлажнены или заболочены, представляя собой мари.

Отложения всех генетических типов и возрастов в притоках Амура находятся, как правило, в многолетнемерзлом состоянии. Криогенная текстура в аллювиальных отложениях (песках, крупнообломочных породах) массивная, корковая, контактная, реже базальная. В делювиально-солифлюкционных супесях и суглинках — слоистая, сетчатая, массивная, вокруг обломков пород — корковая. Консистенция мерзлых суглинков и супесей после оттаивания — от пластичной до текучей. Глинистые грунты делювиально-солифлюкционных и аллювиальных образований пучинистые. Величина пучения их в отдельные годы достигает 12—18 см.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. Для Верхнеамурского региона в целом характерно прерывистое распространение многолетнемерзлых пород, занимающих 50—70 % его площади. Вся долина Амура находится в области островного распространения многолетней мерзлоты. Острова мерзлых пород наблюдаются преимущественно в пойме реки. Мощность их возрастает от 5—10 м у вос-

точной границы региона до 30—50 м у с. Покровка, при температуре мерзлых пород от $-0,1 \div -0,4$ до -1 °С.

По мере продвижения от долины Амура на северо-северо-запад температура пород понижается до $-1,5 \div -1,7$ °С, мощность мерзлой толщи возрастает от 50—80 до 150 м и соответственно возрастает ее сплошность. Наиболее суровые мерзлотные условия наблюдаются в днищах падей и на поймах рек. К водоразделам температура пород повышается, а мощность мерзлой толщи сокращается вплоть до полного ее выклинивания. На водоразделах и склонах южной экспозиции отмечаются радиационные дождевально-инфильтрационные талики, в долинах крупных рек (Большая Ольдой, Уруши, Уркуна и др.) — подрусловые сквозные и несквозные грунтово-фильтрационные талики.

Криолитозона местами имеет сложное строение. Так, в Уруша-Ольдойской впадине, на ст. Уруша, мерзлые породы в разрезе белогорской свиты встречены в интервалах глубин: 9,4—13,1; 16—16,4; 20,4—21,1; 28,4—31,1; 35—50,2 м. Мерзлые — глинистые породы, талые — хорошо фильтрующие песчаные и крупнообломочные. Переслаивание мерзлых и талых горизонтов было отмечено также в пойме Амура в районе с. Покровка на глубине от 5—6 до 14 м.

В связи с такими особенностями строения криолитозоны Берхенеамурского адбассейна в рыхлых четвертичных и плейстоцен-нижнечетвертичных отложениях скважинами вскрывают иногда до четырех водоносных горизонтов мощностью от 0,3 до 25 м. В пределах таких участков подземные воды приобретают напор, достигающий в Уруша-Ольдойском артезианском бассейне 250 м. Пьезометрические уровни иногда устанавливаются до 6 м выше поверхности земли (ст. Уруша).

Водоносный комплекс современных аллювиальных отложений имеет широкое распространение в долине Амура и его крупных притоках. Комплекс содержит пластово-поровые воды, обычно безнапорные, на глубинах от 2 до 7 м. Водоносный комплекс — источник водоснабжения многих населенных пунктов. Воды его разнообразны по химическому составу: обычно это сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые, гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатные магниево-натриевые и другие воды со слабкокислой реакцией.

Четвертичные аллювиальные отложения в долинах малых рек обычно заморожены на всю мощность. Местами в них присутствуют межмерзлотные и надмерзлотные воды несквозных таликов на глубине от 1—2 до 5—6 м. Максимальный дебит скважины достигает 2,7 л/с при понижении на 0,3 м.

Зона региональной трещиноватости коренных пород всех распространённых в регионе формаций заморожена местами не на всю мощность. Подмерзлотные трещинные и трещинно-жильные воды в них вскрываются в долинах и нижних частях склонов на глубинах от 6 до 120—150 м. Водоносность трещиноватой зоны повсеместно низкая. Производительность скважин от 0,5 до 0,8 л/с при понижениях на 48 и 73,6 м соответственно (ст. Тахтамыгда).

По химическому составу воды гидрокарбонатные кальцево-магниевого с минерализацией до 0,2 г/л, по отношению к бетонам характеризуются слабой общекислотной и выщелачивающей агрессивностью.

Современные геологические процессы и явления. *Сейсмичность* региона оценивается в 7 баллов (см. рис. 16.4). Повышенной сейсмической опасностью характеризуется Южно-Тукурингский разлом, ограничивающий регион с севера, в зоне которого известны землетрясения силой до 7—8 баллов [18].

Среди экзогенных геологических процессов наиболее существенное значение для инженерно-геологической оценки территории имеют криогенные процессы: пучение грунтов, наледь, морозобойное трещинообразование, термокарст. На подмываемых берегах Амура отмечаются небольшие оползни, обвалы, осыпи, оврагообразование, на междуречьях широко распространены курумы. Имеются отрывочные сведения о наличии поверхностных карстовых форм на севере региона среди известняков в составе карбонатно-терригенной формации палеозоя.

Пучение грунтов — одно из наиболее распространенных мерзлотных явлений. В результате пучения происходит образование бугров, вылушивание столбов, свай и т. п. Отмечаются как однолетние, так и многолетние бугры пучения. Среди них в свою очередь выделяются бугры с подтоком влаги (типа гидроакколитов) и без подтока влаги со стороны (миграционные бугры). Наиболее широко они развиты в днищах падей и на поймах рек в суглинистых заторфованных грунтах, а также на заболоченных террасах и пологих склонах, редко на водоразделах. В большинстве случаев бугры имеют небольшие размеры: высота 0,8—1,5 м, диаметр до 5, редко до 12 м. Процессы пучения, приводящие к образованию бугров, развиваются на избыточноувлажненных участках, поэтому наиболее действенная мера борьбы с ними — осушение территории.

Наледи в регионе образуются как за счет вод сезонно-талого слоя, так и за счет вод глубокого подмерзлотного стока. Первый тип наледей широко проявлен в днищах долин, падей и на склонах, покрытых каменными россыпями. Наледи этого типа обычно небольших размеров. В отличие от вышеописанных наледей второго типа образуются и развиваются всю зиму и имеют большие объемы. Источники, за счет которых образуются эти наледы, располагаются у подножий склонов и в руслах рек. На Амуре, по имеющимся данным, наледы не образуются.

Морозобойное трещинообразование широко развито в сезонно-промерзающих суглинистых грунтах террас. Глубина трещин 0,5—0,7 м, ширина от 2—3 до 10—15 см. В дальнейшем по ним развиваются эрозийные процессы. Морозобойное трещинообразование в совокупности с эрозийными процессами приводят к образованию полигональных форм микрорельефа.

Термокарстовые формы (воронки, проседания поверхности) встречаются редко и имеют размеры до 2—3 м в поперечнике

и 1—1,5 м в глубину. Образованы они в основном за счет вытравливания миграционных льдов или инъекционных бугров пучения.

Обвалы и осыпи. Обвалы — обрушения больших массивов горных пород наблюдаются в долине Амура и в его крупных притомальных размер наблюдавшихся подмыва рекой склонов. Максимальный размер обвалившихся блоков составлял от 1,5 до 3—5 м³. Обрушение крупных блоков пород сопровождается осыпанием щебня и мелкозема, образующих в нижней части обрыва чехлы или конусы осыпания протяженностью до 50—80 м.

Оползни на территории Верхнеамурского региона встречаются редко. Они образуются, как правило, лишь в толще пород мезозойской терригенной формации и наблюдались в долине Амура. Развиваются они на крутых (более 30°) подмываемых рекой склонах. Объем сместившихся масс в отдельных случаях достигал нескольких тысяч кубических метров. Крупные оползни являются в настоящее время недействующими, стабилизировавшимися.

* * *

В целом Верхнеамурский регион можно считать умеренно сложным для строительного освоения. Значительная часть его представляет собой равнинные участки речных террас, межгорных впадин и плато, не требующих планировочных работ при строительстве. Слагающие эти поверхности скальные, крупнообломочные и песчаные грунты — надежное основание для сооружений всех типов. Исключение представляют заболоченные массивы, сложенные многолетнемерзлыми льдистыми грунтами, требующими специальных мероприятий по обеспечению устойчивости сооружений.

ГЛАВА 26

АМУРО-ЗЕЙСКИЙ РЕГИОН

Регион охватывает обширное пространство в среднем течении р. Амур и нижнем течении р. Зей и занимает площадь более 100 000 км². В структурно-тектоническом отношении он соответствует одноименной мезозойско-кайнозойской впадине (молодой плите), в которой кристаллический фундамент Бурейского массива опущен местами на глубину более 1000 м.

По характеру современного рельефа территория представляет собой плоскоувалистую равнину с абсолютными отметками 200—400 м. Поверхность ее расчленена неглубокой (до 50—150 м), но довольно густой сетью рек, крупнейшие из которых — Амур, Зей, Селемжда и Бурей.

Значительная протяженность Амуро-Зейского региона с севера на юг сказывается на изменении климатических и ландшафтных условий. На севере, до широты примерно 53°, регион входит в зону

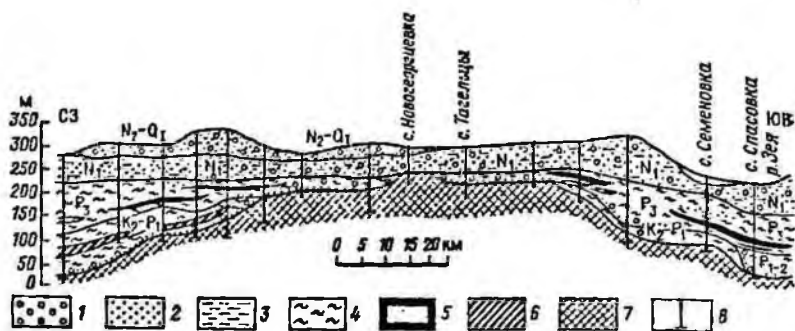


Рис. 26.1. Геологический разрез Амуро-Зейской впадины по линии ст. Переселенец — с. Спасовка:

1 — гравий, галька; 2 — песок; 3 — приресь каолина; 4 — глины, алевроиты; 5 — уголь бурый; 6 — углистые глины, 7 — породы складчатого фундамента (песчаники, глинистые сланцы, конгломераты, граниты) палеозойского и мезозойского возраста; 8 — скважина. Индексация свит (отложений): K_2-P_1 — цагайская и кивдинская; P_{1-2} — райчихинская и мухинская; P_2 — бузулинская; N_1 — сазанковская; N_2-Q_1 — белогорская

тайги с дерново-подзолистыми почвами, южнее — зона смешанных сосново-дубовых лесов на бурых лесных почвах, на крайнем юго-востоке — лесостепная зона с лугово-черноземными почвами.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. Амуро-Зейская впадина выполнена мощной толщей рыхлых и слабо сцементированных отложений позднемиоценового-четвертичного возраста, под которыми породы фундамента, представленные чаще всего гранитоидами, вскрываются местами в руслах рек или образуют среди равнины отдельные останцовые сопки. С поверхности впадина сложена аллювиальными отложениями белогорской свиты плиоцен-нижнечетвертичного возраста, мощность которой от первых десятков до 100—110 м. Подстилаются они породами угленосной формации, верхняя часть разреза которой мощностью 100—200 м относится к сазанковской свите миоценового возраста, средняя часть представлена бузулинской, райчихинской и мухинской свитами палеогенового возраста, нижняя — цагайской и кивдинской свитами верхнемиоценового-палеогенового возраста. Суммарная мощность отложений формации 500—800 м (рис. 26.1).

Белогорская свита. В составе свиты повсеместно преобладают пески полсвошпатово-кварцевые разной крупности с прослоями и линзами галечников, гравия, суглинков и глин. В нижней части разреза пески крупные и гравелистые, в средней и верхней частях — преимущественно средние и мелкие. Неоднородность их гранулометрического состава обуславливает большой диапазон в свойствах. Плотность песков 2,65—2,68 г/см³; плотность скелета крупных песков 1,83—1,87, средней крупности 1,6—1,83, мелких — 1,43—1,50 г/см³; пористость соответственно 30—32; 31—42; 37—46 %; коэффициент пористости — 0,43—0,47; 0,56—0,72; 0,59—0,85. Угол естественного откоса песков в сухом состоянии изменяется от 33

до 38°, под водой — от 28 до 35°. Коэффициент фильтрации при рыхлом сложении составляет 3÷29, при плотном — 1,5—15 м/сут.

Глины и суглинки в сложении свиты имеют подчиненное значение и встречаются как с поверхности, так и в виде прослоев и линз в толще песков. По минеральному составу они гидрослюдисто-бейделлитовые, не набухающие, полутвердой и тугопластичной консистенций, нередко сланцеватой текстуры. Физические свойства глинистых пород из районов Белогорска (левая графа) и Благовещенска (правая графа) следующие:

Плотность, г/см ³	2,70	2,62
Плотность при естественной влажности, г/см ³	1,95	2,0
Плотность скелета, г/см ³	1,54	1,53
Пористость, %	40	41
Коэффициент пористости	0,68	0,70
Естественная влажность, %	24	23
Число образцов	27	72

Коэффициент сжимаемости глин (20 определений) при нагрузке 0,3 МПа составляет 0,006—0,013, модуль деформации 13—27,2 МПа, угол внутреннего трения 14—24°, сцепление 0,05—0,12 МПа [29].

Для белогорской свиты характерно ожелезнение пород. Гидроокислы железа местами цементируют пески и галечники с образованием песчаников и конгломератов слабой прочности. Отложения свиты находятся как в талом, так и многолетнемерзлом состоянии. Криогенная текстура пород массивная, реже (в глинистых грунтах) — сетчатая и слонстая, льдистость до 20—30 %. Высокая объемная льдистость отмечается в глинистых породах, залегающих с поверхности. Мощность льдонасыщенных грунтов обычно не превышает 5 м.

Угленосная формация. Верхняя часть разреза формации, относимая к сазанковской свите миоценового возраста, представлена белыми каолинизированными песками с включениями гальки и гравия с прослоями и линзами глин и лигнитов.

Пески и полевошпатово-кварцевые, характеризуются разнообразием гранулометрического состава, но в целом преобладают пески крупные. При этом во всех разновидностях присутствует примесь глинистого (каолинового) материала, содержание которого увеличивается вниз по разрезу от долей процента до 20—25 %. В мелких песках примесь каолина достигает 35 %.

Значительное содержание глинистых частиц в песках сазанковской свиты придает им устойчивость в откосах, благодаря чему в естественных обнажениях и выработках они держат отвесные стенки.

Глины светло-коричневые, иногда черные (углистые), по минеральному составу гидрослюдисто-каолинистые, не набухающие. Содержание органического вещества до 10—11 %, у углистых глин до 15—16 %. Плотность глины 2,57—2,74 г/см³, плотность при естественной влажности 1,98—2,22, в среднем 2,01 г/см³, плотность ске-

лста 1,6—1,8, в среднем 1,62 г/см³; число пластичности 11—25, в среднем 18; пористость 33—40, в среднем 35 %; коэффициент пористости 0,38—0,68; естественная влажность от 18 до 28 % (50 определений). Консистенция глин твердая и полутвердая. В зоне выветривания естественная влажность возрастает до 38 %, плотность при естественной влажности уменьшается до 1,79 г/см³, объемная масса скелета до 1,35 г/см³ и соответственно понижаются прочностные и деформационные свойства [29].

Средняя и нижняя части разреза угленосной формации, включающие бузулшскую, райчихинскую, мухинскую, кивдинскую и цагайинскую свиты мел-палеогенового возраста, представлены толщей переслаивания глин, песков и бурых углей, реже алевролитов и аргиллитов. Мощность глинистых слоев изменяется от 1 до 40 м, песчаных от 2 до 4 м, угльных от 1,5 до 5 м. В основании разреза залегают крупнозернистые песчаники и конгломераты. Преобладающими породами в составе формации являются глины (50—60 %).

Глины светло-серые, серые, иногда белые, каолиновые с примесью гидрослюд, ненабухающие. Физические свойства глин, по данным Л. В. Буриллиной [29], следующие (приведены средние значения по 60 определениям): плотность 2,68 г/см³, плотность скелета грунта 2,04 г/см³; верхний предел пластичности 34 %, нижний — 20 %; естественная влажность 21 %; коэффициент пористости 0,42; консистенция твердая и полутвердая, реже тугопластичная.

Пески и полевошпатово-кварцевые, мелкие и пылеватые с прослоями песков крупных и средней крупности, сильно каолинизированные, плотного сложения, в водонасыщенном состоянии обладают свойствами пльвунов. Высокое содержание глинистых и пылеватых частиц объясняется сильной выветрелостью песков и превращением полевых шпатов в каолиновую глинистую массу. По содержанию пылеватой и глинистой фракций пески, по сути, превращены в супеси и суглинки.

Четвертичные отложения в Амуро-Зейском регионе представлены двумя основными генетическими типами: озерно-аллювиальными и аллювиальными.

Озерно-аллювиальные отложения ниже-среднечетвертичного возраста распространены в восточной части региона, залегающая на междуречьях на отложениях белогорской свиты, реже коренных докайнозойских породах. В их составе доминируют глины, реже суглинки с прослоями песков. Мощность отложений от 1,5 до 20 м. Физические свойства глин характеризуются следующими показателями (средние значения): плотность при естественной влажности 1,83 г/см³; плотность скелета грунта 1,51 г/см³; число пластичности — 20; коэффициент пористости 0,81; естественная влажность 26,4 %; степень влажности 0,64; содержание органических примесей 5—6 %; консистенция тугопластичная. Глинистые породы находятся преимущественно в многолетнемерзлом состоянии. Криотекстура пород массивная, реже шпирова, сетчатая или слоистая,

льдистость 20—30 %. В местах распространения глинистых пород с поверхности развиты болота.

Аллювиальные отложения средне-верхнечетвертичного и голоценового возраста слагают поймы и I—IV надпойменные террасы рек. Надпойменная терраса V соответствует поверхности плато, сложенного отложениями белогорской свиты. В составе аллювия преобладают галечники, реже пески. С поверхности они обычно перекрыты слоем суглинков или супесей мощностью 0,5—2 м (пойменная фация аллювия). Мощность аллювиальных отложений изменяется от 3 до 50 м, составляя чаще всего 10—15 м.

Гранулометрический состав галечников неоднороден. Преобладает галька диаметром от 2 до 5 см (30—50 %), значительный процент (до 40 %) приходится на гравийную фракцию. В зависимости от состава и содержания заполнителя коэффициент фильтрации галечников изменяется от 20—50 до 100 м/сут и более.

Пески в низовьях рек Селемджи, Зеи, Томи, Бурей и других составляет до 50—90 % разреза аллювиальных отложений. Характерно высокое содержание в них фракции 10—20 мм (до 40 %). Для песков, слагающих поймы, типично преобладание фракций 1—0,5 и 0,5—0,25 мм и увеличение пылеватой и глинистой фракций. У песков поймы и I надпойменной террасы сложение обычно рыхлое, у более высоких террас — плотное и средней плотности. Коэффициент сжимаемости мелких песков рыхлого сложения и средней плотности составляет 0,01—0,16. Минимальные значения модуля общей деформации отмечаются у рыхлых средней крупности и крупных песков 5—10 МПа; максимальные значения (40—50 МПа) характерны для плотных песков средней крупности. Угол внутреннего трения чаще всего составляет 31—37°, сцепление не превышает 0,005—0,007 МПа [29].

Мерзлотно-геологические условия. Амуро-Зейская равнина, протянувшаяся с севера на юг более чем на 300 км, характеризуется различными климатическими и геокриологическими условиями. Распространение многолетнемерзлых пород изменяется от массивно-островного на севере до редкоостровного на юге. С севера на юг острова многолетнемерзлых пород сокращаются по площади и мощности. На севере региона в днищах долин и на междуречьях мощность многолетней мерзлоты достигает 30—50 м; в центральной части не превышает 15—25 м, а южнее городов Свободного и Белогорска полностью исчезает (см. рис. 16.5). Вблизи г. Благовещенска отмечались лишь периодически возникающие перелетки. Среднегодовые температуры пород в регионе изменяются от -2 до +2 °С, температура мерзлых пород чаще всего не ниже -1 °С. Мощность сезонномерзлого слоя в песках достигает 4—5 м, местами до 6 м, в глинистых грунтах 2—3 м, под моховым покровом 0,4—1 м.

В гидрогеологическом отношении регион представляет собой артезианский бассейн мезозойско-кайнозойской плиты, в чехле которой содержатся грунтовые и артезианские пластово-поровые воды.

Грунтовые воды приурочены в основном к отложениям четвертичного возраста и белогорской свиты, местами к отложениям саяноковской свиты. Они образуют горизонт мощностью от 10—30 м по периферии бассейна до 200 м в его центральной части. Подошвой горизонта служат глины палеоген-миоценового возраста или более древние породы. Глубина залегания вод в пределах речных долин от 0,5—8 до 25 м, на водораздельных пространствах до 60 м. Уровень вод обычно свободный, в местах развития с поверхности глинистых или криогенных водоупоров обладает слабым (до 3—6 м) напором. Водообильность горизонта высокая. Преобладающие дебиты скважин 2—8 л/с при понижениях уровня на 1—8 м. Максимальные дебиты (20—25 л/с) отмечаются в гравийно-галечниковых отложениях. Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-натриевые с общей минерализацией от 0,05 до 0,3 г/л. Повышенные значения минерализации вод (до 0,8 г/л) отмечаются вблизи населенных пунктов в связи с бытовыми загрязнениями. Почти повсеместно в воде содержится закисное (до 5 мг/л) и окисное (до 2 мг/л) железо. Воды характеризуются углекислой, местами слабой общекислотной, агрессивностью по отношению к бетонам.

Артезианские воды бассейна приурочены к палеоген-миоценовым и меловым отложениям, в которых образуют многочисленные невыдержанные по простиранию водоносные горизонты. Верхний горизонт залегает на глубинах от 10—30 м в периферических частях бассейна до 170—230 м в центральных. Величина напора вод от 10 до 130 м. Пьезометрический уровень устанавливается обычно на глубинах 2—35 м от поверхности земли, иногда скважины самоизливаются с высотой 2—9 м выше поверхности земли. Водообильность этих водоносных горизонтов в общем невысокая. Дебиты скважин колеблются от 0,1 до 10 л/с при понижениях уровня на 2—25 м, удельные дебиты обычно не превышают 0,6 л/с. Воды пресные гидрокарбонатные кальциевые, натриевые или кальциево-натриевые, преимущественно неагрессивные, местами проявляют слабую углекислую агрессивность к бетонам.

Современные геологические процессы и явления. *Сейсмичность.* Территория Амуро-Зейского региона практически асейсмична с возможной силой землетрясений до 5 баллов (см. рис. 16.4).

Среди экзогенных процессов широкое развитие на севере региона получили мерзлотные (пучение грунтов, солифлюкция, термокарст, наледи), заболачивание, на юге — оврагообразование, плоскостный смыв, подмывы берегов и оползни.

Пучение проявляется как в виде общего сезонного пучения дисперсных грунтов при замерзании, так и в виде локальных сезонных и многолетних бугров (миграционных и инъекционных). Сезонные бугры пучения имеют сравнительно небольшие размеры: высота 0,8—1,5 м, диаметр 2—3 м, редко более. Многолетние миграционные бугры пучения встречаются на поймах, I надпойменной террасе и заболоченных междуречьях. Размеры их более крупные. Так, в верховьях р. Гарь, в нижней части склона долины, от-

мечен бугор пучения высотой 10—12 м, в диаметре до 100 м. С поверхности он сложен торфом мощностью 0,5 м, глубже — многолетние интъекционные бугры пучения более редки. Их образование связано с промерзанием небольших подозерных таликов. В междуречье Бысса—Селемджа отмечались такие бугры высотой от 1 до 6 м, диаметром от 20 до 100 м.

Солифлюкция наблюдается на пологих заболоченных склонах, сложенных с поверхности глинистыми многолетнемерзлыми грунтами. Наиболее интенсивно эти процессы протекают в начале лета при оттаивании грунтов, а также в июле-августе в дождливый период.

Термокарстовые формы встречаются редко и имеют небольшие размеры до 2—3 м в поперечнике и глубину не более 1—1,5 м. Образуются они в основном за счет протаивания сезонных бугров пучения. Вследствие невысокой в общем влажности и льдистости грунтов эти процессы развиты сравнительно слабо.

Наледы в регионе образуются в основном за счет вод сезонного талого слоя и имеют небольшие размеры. Развиваются они в начале—середине зимы, стаивают в конце июня — начале июля.

Заболачивание в регионе является одним из ведущих в комплексе экзогенных процессов. Болота и заболоченные земли занимают до 40 % территории и распространены по долинам рек и на водоразделах. Их развитию способствует наличие криогенных и глинистых водоупоров и слабая расчлененность поверхности. Болота преимущественно неглубокие (до 0,5—1 м, редко более) со слабо разложившимся торфом.

Оврагообразование и плоскостной смыл наиболее активно проявляются на юге, в густо заселенной и освоенной части региона. Водная эрозия здесь обусловлена следующими причинами: 1) сведением растительного покрова и почти повсеместной распахой территории, в том числе и склонов крутизной до 6°, при недостаточности противоэрозионных мероприятий; 2) карьерной добычей полезных ископаемых; 3) дорожным и мелкоративным строительством; 4) обилием осадков в теплый период года, их ливневым характером и рыхлостью грунтов.

Л. В. Мискина по характеру и интенсивности проявления водной эрозии на территории Амуро-Зейской равнины выделяет три района.

1. Зейско-Бурейский низменный район слабого и умеренного смыва почв и слабого развития овражной эрозии. Район охватывает южную часть равнины, прилегающую к р. Амур. Распаханность площади достигает 80 %. Для района более характерна плоскостная и менее — линейная эрозия. Объем плоскостного смыва от 5 до 43 т/га; густота овражной сети от 0,05 до 0,2 км/км², глубина расчленения до 20—25 м.

2. Амуро-Зейский возвышенный район сильного и очень сильного смыва почв и сильного развития овражной эрозии. Район включает юго-восточную окраину Амуро-Зейского плато. Густота ов-

ражной сети достигает 0,7—1,2 км/км², объем плоскостного смыва до 93 т/га.

3. Северный Притуранский район сильного смыва, среднего и сильного развития овражной эрозии. Занимает участок высокой аллювиальной равнины в междуречье Зей и Буреи, значительную площадь в котором занимают населенные пункты и Кивда-Райчихинский угольный бассейн. Распаханность территории 30—40%. Овражная эрозия особенно интенсивно развивается в бассейнах рек Будунды и Белой. Густота овражной сети 0,7—1,2 км/км², вертикальное расчленение до 30—40 м.

Оползни в регионе пользуются ограниченным распространением и наблюдаются на правом берегу р. Зей и левом берегу Амура. Они развиваются на крутых (более 30°) высоких, подмываемых рекой склонах, сложенных песчано-глинистыми породами угленосной формации. Основной причиной развития оползней служит интенсивный подмыв берегов реками, особенно в период летних паводков, что приводит к нарушению устойчивости склона. Оползанию способствуют литологические особенности пород (наличие глинистых прослоев) и неравномерная их обводненность. Оползни образуют обычно кулисообразно расположенные или вытянутые по склону ступени высотой 10—12 м, протяженностью 20—40 м. Диаметр оползневых цирков достигает 100—150 м, мощность оползневых тел от нескольких до 20—25 м.

В целом Амуро-Зейский регион, особенно его южная половина, благоприятен для наземного строительства. Широкие возможности для выбора строительных площадок представляют сухие или слабо заболоченные речные террасы и водоразделы, сложенные песками, с редкими островами многолетнемерзлых пород. Строительное освоение таких участков потребует проведения незначительного объема дренажных работ. Наблюдения показывают, что в тех местах Амуро-Зейской равнины, где был проведен дренаж, местность обсыхает и многолетняя мерзлота вскоре исчезает [58].

ГЛАВА 27. ХИНГАНО-БУРЕИНСКИЙ РЕГИОН

К этому региону относятся Туранский и Мамынский выступы кристаллического фундамента Бурейского массива и сформировавшийся на его восточной окраине Бурейский мезозойский прогиб.

Туранский выступ представляет собой сводово-глыбовое поднятие субмеридионального простирания. Осевая часть поднятия образована хребтом Малый Хинган с максимальной абсолютной высотой 1252 м и продолжающим его на севере хребтом Турана с преобладающими высотами 800—1000 м и максимальными в бассейне р. Акишма 1700—1806 м. Относительные превышения изменяются от 100—400 м на юге до 700—800 м на севере.

Мамынский выступ в междуречье Зеи и Селемджи представляет останцовые низкие горы с абсолютными высотами 400—600 м (максимальная в районе пос. Октябрьский 904 м). Горы расчленены широкими болотистыми долинами.

Буреинский прогиб в современном рельефе выражен цепью холмисто-увалистых впадин (с юга на север): Тыминской, Верхнебуреинской (Ургальской), Ниманской (Софийской) и Огоджинской, разделенных низкогорными перемычками. Абсолютные высоты поверхности впадин от 350—500 м на юге до 900—1200 м на севере (Софийская впадина), однако относительные высоты обычно не превышают 100—200 м. Склоны холмов и увалов пологие (5—8°), слабо расчлененные, заболоченные и заторфованные. Главная водная артерия прогиба — р. Буря, пересекающая Ургальскую впадину. Ширина ее долины 4—9 км, поймы 2—4 км, надпойменных террас до 3 км.

Территория Буреинского прогиба располагает крупными топливно-энергетическими ресурсами. Недра его содержат значительные запасы каменных углей, которые разрабатываются в Ургальском и Огоджинском бассейнах. Перспективны для выявления новых месторождений каменных углей площади в Тыминской впадине.

Геологическое строение и инженерно-геологическая характеристика пород. В геологическом строении Туранского и Мамынского выступов господствующая роль принадлежит разновозрастным гранитоидам — от протерозойских до позднемеловых включительно, среди которых местами сохранились останцы архейских и нижнепротерозойских метаморфических пород гнейсо-мигматитовой формации. В отдельных тектонических блоках, в частности в бассейне р. Мельги и на Малом Хингане, залегают рифейские и нижнекембрийские породы терригенно-карбонатной формации, метаморфизованные до зеленосланцевой фации.

Крайевые части Туранского выступа и Буреинского прогиба, ограниченные глубинными разломами, местами перекрыты вулканическими толщами андезит-дацит-липаритовой формации мелового возраста и базальтовой формации плейстоцен-четвертичного возраста. В пределах Мамынского выступа породы андезит-дацит-липаритовой формации распространены и в его центральной части.

Буреинский прогиб выполнен мощной (до 5 тыс. м) толщей морских терригенных отложений верхнетриасово-юрского возраста. В позднеюрское-раннемеловое время морской режим сменился континентальным, в котором формировалась угленосная формация, завершившись в позднемеловое время накоплением пород терригенной молассовой формации. Мощность отложений угленосной формации до 3500 м, молассовой 200—800 м (рис. 27.1).

Терригенная формация верхнего триаса — юры представляет толщу переслаивания песчаников и алевролитов полимиктового состава на кремнисто-глинистом или известково-глинистом цементе. В верхах разреза присутствуют аргиллиты. Различные по зернистости песчаники чередуются с алевролитами и аргиллитами через



Рис. 27.1. Схема геологического строения Бурейского прогиба:

1—5 — формации (1 — терригенная Т₁—J₁, 2 — угленосная J₂—K₁, 3 — терригенная молассовая K₂, 4 — андезит-дацит-диоритовая K₁—2, 5 — базальтовая N₂—Q₁); 6 — четвертичные аллювиальные отложения; 7 — породы фундамента (PR, PZ); 8 — Туральское сводовое поднятие (древний кристаллический фундамент и разновозрастные гранитонды); 9 — разломы

10—120 м, реже они участвуют в тонком флишовой переслаивании (0,1—4 м). По всему разрезу встречаются пачки конгломератов или гравелистых песчаников мощностью до 50—120 м. Породы формации образуют моноклинал с падением слоев на запад под углом 30—40°, осложненную рядом разломов.

До глубины 20—70 м породы трещиноваты. В зависимости от степени трещиноватости полная пористость песчаников колеблется от 2,2 до 18%, алевролитов от 1,56 до 5,58%; коэффициенты фильтрации песчаников — от 5 до 25 м/сут, алевролитов — от 0,1 до 4,5 м/сут. Временное сопротивление сжатию слаботрещиноватых талых песчаников изменяется от 143 до 180 МПа, алевролитов — от 81 до 123 МПа. В водонасыщенном состоянии и после замораживания эти показатели существенно не меняются. Исключенные составляют сильно трещиноватые разности, у которых при водонасыщении временное сопротивление сжатию снижается до 31 МПа [29].

Угленосная формация верхней юры — нижнего мела представлена чередованием конгломератов, гравелистых, песчаников, алевролитов и аргиллитов с прослоями и пачками каменных углей. Наиболее угленасыщенна нижняя часть разреза формации. В Ургальской впадине выявлено более 150 пластов и прослоев углей, из которых 19 достигают рабочей мощности (0,7—10 м), в Огоджинской впадине — 3—4 угольных пласта, один из которых достигает 43 м мощности. Мощности конгломератовых и песчаниковых слоев составляют 5—10 м, алевролитовых и аргиллитовых 0,1—

0,8 м. В составе формации в целом преобладают полимиктовые и аркозовые песчаники на глинистом или глинисто-серпичитовом цементе.

Плотность талых песчаников составляет 2,61—2,75 г/см³, плотность при естественной влажности 2,08—2,38 г/см³. В зависимости от степени выветрелости временное сопротивление сжатию песчаников в сухом состоянии изменяется от 15 до 73 МПа, в водонасыщенном — от 9,5 до 65 МПа. Плотность талых алевролитов равна 2,49—2,71 г/см³, плотность при естественной влажности 1,8—2,4 г/см³, плотность скелета 1,38—1,8 г/см³, временное сопротивление сжатию при естественной влажности 5—7 МПа [29].

Терригенная молассовая формация верхнего мела представлена практически горизонтально залегающими конгломератами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами с линзами бурых углей и лигнитов. Они распространены только на водоразделах, а в долинах рек полностью размыты.

Характерная особенность формации — слабая сцементированность пород. До глубины 10—30 м они разрушены до рыхлого состояния, легко размокают и размываются. Коренные породы в регионе почти повсеместно перекрыты покровом рыхлых четвертичных отложений, среди которых наиболее существенное значение для всех видов строительства имеют аллювиальные отложения.

Аллювиальные отложения средне-верхнечетвертичного и голоценового возраста слагают поймы и надпойменные террасы рек. И те и другие характеризуются двучленным строением разреза: с поверхности залегают суглинки, супеси и пески (на террасах преобладают глинистые грунты, на поймах — пески). С глубины 1—8 м они подстилаются галечниками с включенным валунов, с песчаным, реже супесчаным заполнителем, мощность которых обычно не превышает 5—6 м. Почти повсеместно аллювиальные отложения перекрыты слоем торфа мощностью 0,5—2, местами до 3 м.

Отложения террас и пойм на большей части региона находятся в многолетнемерзлом состоянии. По данным В. Х. Мавроди и других исследователей, глинистые грунты поймы в Ургальской впадине характеризуются сетчато-слоистой криогенной текстурой с льдистостью до 60—70 %. Встречаются прослойки льда мощностью 0,1—0,3 м. Криогенная текстура галечников корковая и слоистая с редкими прослоями льда мощностью 0,2—0,4 м.

Суглинки, слагающие верхнюю часть разреза второй надпойменной (22-метровой) террасы, имеют слоисто-сетчатую криогенную текстуру с редкими прослоями льда мощностью до 0,3—0,5 м. Льдистость грунтов снижается с глубиной: с 25—30 % на глубине 1—2 м до 3—5 % на глубине 6—8 м. Суглинки, не содержащие крупных включений льда, имеют в среднем коэффициент оттаивания 0,039, коэффициент сжимаемости 0,017, в слое сезонного промерзания-протаивания обладают сильными пучинистыми свойствами.

Залегающие под суглинками валуново-галечниковые грунты имеют незначительную льдистость, однако на подошве их, на контакте с коренными породами, содержание льда возрастает, отмечаются прослойки толщиной 40—50 см.

По данным И. А. Некрасова и И. В. Климовского [50], крупный массив инъекционных льдов был вскрыт в долине р. Туюн (хр. Турана) в толще суглинистых отложений II надпойменной террасы. Ледяное тело залегает на глубине 2—3 м от поверхности и имеет весьма сложную форму. По отдельным скважинам было зафиксировано два-три разобщенных слоя суммарной мощностью до 10 м и более. В ряде мест скважины глубиной 10 м не вышли из льда. Размеры ледяного тела в плане составляют: в глубину террасы до 200—250 м при длине около 300 м.

Мерзлотно-гидрогеологические условия. В распространении многолетнемерзлых пород в регионе проявляется как широтная зональность, так и вертикальная поясность. В целом же сплошность распространения и мощность криогенных толщ возрастает от южных районов Малого Хингана к северу и северо-западу. В этом же направлении понижается и температура горных пород.

Характер площадного распространения многолетнемерзлых пород в пределах Туранского поднятия изменяется от редкоостровного и островного на юге, прерывистого в центральной и до сплошного в его северной части. На крайнем юге, в районе г. Облучье, многолетнемерзлые грунты отсутствуют; глубина зимнего промерзания составляет 3—5 м. Севернее, по трассе железной дороги Известковая—Ургал, на участке ст. Известковая—ст. Тьрма острова многолетней мерзлоты встречаются в пределах дна долин и нижних частей склонов северной экспозиции. Мощность мерзлоты не превышает 10—15 м при температуре пород близкой к 0 °С. В мерзлом состоянии находятся, как правило, лишь глинистые отложения.

Севернее, в центральной части хр. Турана, пересекаемого трассой БАМ, установлена прерывистая криолитозона со сквозными таликами на склонах южной экспозиции и на невысоких водоразделах. Температуры пород имеют довольно низкие значения от —1,5 до —3 °С, мощность многолетнемерзлой толщи превышает 50 м [50]. На севере хребта, где горные массивы достигают абсолютных высот 1700—1800 м, в гольцовом поясе многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение мощностью предположительно до 300 м при температуре пород —3÷—5 °С.

В пределах Мамынского низкогорья многолетнемерзлые породы приурочены к днам долин и склонам северной экспозиции. Мощность мерзлой толщи достигает 30—70 м, температура пород —1÷—2 °С. Склоны южной экспозиции и водоразделы талые [15].

В Бурейском прогибе, в самой южной его Тьрминской впадине, распространена многолетняя мерзлота островного характера, температура пород не опускается ниже —0,5÷—1 °С, а мощность мерзлой толщи не превышает 25 м.

На территории Ургальской впадины на долю мерзлых пород приходится 60—65 % площади, мощность мерзлоты нередко превышает 75 м, температура горных пород на глубине 10 м составляет около -3°C [50]. Наиболее охлаждены участки высокой поймы р. Бурей и ее притоков. В пределах первой надпойменной террасы мощность мерзлых пород сокращается до 50—55 м, а температура не опускается ниже $-2,5^{\circ}\text{C}$. На второй надпойменной террасе глубина залегания подошвы мерзлоты составляет 40—42 м, а температура всего -2°C . На склонах южных и восточных румбов мерзлота отсутствует.

Севернее Ургальской впадины — в Софийской (Ниманской) и Огоджинской впадинах многолетнемерзлые породы занимают 75—80 % площади, мощность многолетнемерзлой толщи 60—80 м, температура пород предположительно не выше $-2\div-3^{\circ}\text{C}$. Сквозные талики отмечаются вдоль русел крупных рек: Нимаи, Акишма, Огоджа и их крупных притоков. Ширина талых зон до 200 м.

Таким образом, многолетнемерзлые породы в рельефе Хингано-Бурейнского региона занимают два вертикальных яруса: самые низкие и самые высокие гипсометрические поверхности. Вместе с тем на склонах и водоразделах в высотном интервале примерно 700—1000 м встречаются обширные таликовые массивы с температурой горных пород до $+3^{\circ}\text{C}$.

В гидрогеологическом отношении Бурейский прогиб представляет собой сложный адартезианский бассейн с наложенными артезианскими бассейнами — Тырминским, Ургальским и Огоджинским.

Бурейский адартезианский бассейн характеризуется преобладающим развитием трещинно-жильных вод в сильно литифицированных отложениях верхнего триаса и юры. Верхняя зона экзогенной трещиноватости в них обычно сдренирована или проморожена, подземные воды локализованы в основном в зонах разломов. Водообильность пород в зонах разломов и участках их криогенной дезинтеграции довольно высокая, удельные дебиты скважин достигают 3 л/с, в то время как на остальных площадях они не превышают 0,1 л/с.

Артезианские бассейны (Огоджинский, Ургальский и Тырминский) приурочены к наложенным впадинам, выполненным пологозалегающими верхнеюрскими и меловыми угленосными отложениями, содержащими пластовые напорные воды. Водовмещающие породы — песчаники, конгломераты, алевролиты, каменные угли, разделенные слабопроницаемыми аргиллитами. В Ургальском бассейне воды этих отложений вскрыты скважинами глубиной 100—120 м. Средние удельные дебиты скважин составляют 1—4 л/с, в долинах рек Чегдомын, Чемчуко, Солон и других они увеличиваются до 6—12 л/с. Воды преимущественно напорные, большинство скважин в долинах самозаливают. На водоразделах уровни воды в скважинах устанавливаются на глубине 30—40 м. Близкими или аналогичными гидрогеологическими особенностями характеризуются Тырминский и Огоджинский бассейны.

Туранский и Мамынский выступы представляют собой криогидрогеологические массивы, в которых зона экзогенной трещиноватости проморожена не повсеместно. Подземные воды присутствуют как в зоне экзогенной трещиноватости пород ниже подошвы криолитозоны, так и в зонах разломов. Благоприятные условия для обводнения пород создаются в районах островного распространения многолетней мерзлоты, на юге региона, где наблюдается региональный характер обводнения пород, и, наоборот, в северных районах обводнение пород приобретает локальный, обычно линейный, характер в связи с увеличением мощности многолетнемерзлых пород.

Трещинные воды вскрываются на глубине от 3—5 до 50—100 м. Водоносность пород низкая. Дебиты скважин, как правило, не превышают 0,5 л/с, редко достигают 1,5 л/с при понижениях уровня от 2 до 75 м и лишь в зонах разломов составляют 12—14 л/с. Удельные дебиты уменьшаются с глубиной от 0,01 до 0,001 л/с.

В бассейне р. Мельги (хр. Турана), а также на юге хр. Малый Хинган выделяют бассейны трещинно-карстовых вод, приуроченные к терригенно-карбонатным формациям верхнего протерозоя и нижнего кембрия. Глубина залегания вод колеблется от 1—3 до 20—30 м. Водообильность пород крайне неравномерная. Дебиты родников от 0,3 до 1400 л/с, дебиты скважин при понижениях уровня на 0,3—5 м достигают 12—21 л/с.

Помимо описанных выше водоносных комплексов подземные воды в регионе распространены также в современных аллювиальных отложениях, где они приурочены к таликовым зонам в долинах крупных рек — таких как Буря, Ургал, Чегдомын, Тырма, Огоджа и др. Воды грунтовые, залегают на глубине от 0,5 до 2,5 м. Водовмещающими являются валунисто-галечные отложения, характеризующиеся коэффициентом фильтрации от 40 до 580 м/сут. Дебиты скважин достигают 18,8 л/с при понижении уровня на 2—3 м.

Все воды региона пресные с преобладающей минерализацией до 0,2 г/л, по составу гидрокарбонатные кальциевые или смешанного катионного состава, по отношению к бетонам обладают слабой общекислотной, выщелачивающей и углекислой агрессивностью.

Современные геологические и инженерно-геологические процессы и явления. *Сейсмичность.* Потенциальная сейсмическая опасность Хингано-Буренского региона оценивается в 6—7 баллов (см. рис. 16.4). Наиболее сейсмоактивной структурой региона является Туранское сводово-глыбовое поднятие, в особенности его северо-восточная часть, где 6 октября 1979 г. произошло землетрясение силой до 6 баллов.

На территории Хингано-Буренского региона развиты разнообразные экзогенные геологические процессы, среди которых наиболее существенное значение имеют криогенные процессы: наледь, пучение грунтов, термокарст, солифлюкция, курумы. Локально развиты обвалы, осыпи, лавины, сели, карсты.

Наледи в регионе распространены чрезвычайно широко. На его территории насчитывается более 2 тыс. ежегодно формирующихся наледей различных генетических типов — речных, грунтовых (вод сезонного талого слоя), глубокого подмерзлотного стока и смешанного питания. Только по трассе БАМ в пределах хр. Турана, на участке от р. Искан до р. Буряя протяженностью 210 км, было зарегистрировано 87 наледей, которые формировались в естественных условиях. Среди них наиболее распространены наледь смешанного питания (53 %) и подземных вод (38 %). На долю наледей поверхностных вод приходится лишь 9 %. По приуроченности к элементам рельефа развиты как долинные, так и склоновые наледы. Размеры их обычно небольшие — от нескольких сотен до 100—200 тыс. м² при мощности льда от 0,5 до 3 м. Наиболее значительны по размерам и опасны по воздействиям на инженерные сооружения наледь глубокого подмерзлотного стока и смешанного питания. Максимальных размеров наледь смешанного питания отмечена на руч. Наледном площадью около 1 млн м², мощностью до 3,7 м [77].

Активизация наледных процессов происходит при нарушении естественных условий — сведении растительного и торфяного покровов, подрезки склонов, изменении гидрологического режима водотоков и т. д. В связи со строительством БАМа и притрассовой автодороги количество наледей здесь увеличилось на 31 % [77]. Большая их часть формируется за счет дренирования вод сезонного талого слоя. Наледи этого типа имеют небольшие размеры, однако они создают значительные трудности для движения транспорта. Рост наледей начинается в ноябре-декабре и продолжается до марта месяца, а к концу июля почти все они стаивают.

Пучение грунтов — весьма распространенный процесс в регионе. Глинистые грунты пойм, террас и делювиально-солифлюкционных шлейфов характеризуются сильной пучинистостью. Величина морозного пучения достигает 0,1—0,3 м. По данным В. Х. Мавроди и других исследователей, большая часть разрушившихся зданий в Ургальской впадине связана с воздействием морозного пучения на фундаменты.

Помимо общего морозного пучения грунтов на марях — заболоченных поверхностях террас и склонов, весьма широко распространены бугры пучения — сезонные и многолетние, миграционные и инъекционные самых разнообразных размеров, чаще всего 3—5 м в диаметре, высотой 1—2 м. Особенность их строения — наличие ледяного ядра или сильно лдянистого минерального грунта. В. А. Кудрявцев в верховьях р. Бысса отмечал бугры пучения от 20—30 до 100 м в диаметре при высоте 1—6 м. Бурение показало, что все они имеют ледяное ядро толщиной до 8 м [50].

Термокарстовые явления в регионе связаны в основном с разрушением сезонных бугров пучения и образованием на их месте провальных воронок, западин и небольших озер. В частности, термокарстовые озера и западины отмечались в Ургальской впадине на плоских водоразделах рек Ургал, Чегдомын, Чемчуко и др. [29].

Проявления термокарста наблюдаются в населенных пунктах, в полотно и выемках железных и автодорог в связи с деградацией мерзлоты.

Курумы в сочетании с солифлюкцией — наиболее характерные процессы для хр.бта Турана и в меньшей степени для хр. Малый Хинган и Мамынского низкогорья. В гольцовом поясе хр. Турана пораженность курумами достигает 70—80 %, в лесном поясе она резко снижается.

Обвалы и осыпи проявляются локально в основном в пределах хр. Турана и связаны с подмывом обрывистых склонов рек Буряя, Нилман, Акишма и др.

Сход *лавин* отмечен в северной части хр. Турана в районе горных массивов Малый и Средний Нанаки, абсолютные отметки которых достигают 1760—1806 м, с обрывистыми ледниковыми цирками. В этом же районе наблюдаются следы схода русловых и склоновых селей.

Карстовые формы выявлены в Мельгинском прогибе хр. Турана и на юге хр. Малый Хинган на площади Кимканского железорудного месторождения, а также в районе ст. Теплое озеро и других местах. Карстующимися являются известняки и доломиты терригенно-карбонатной формации рифея и нижнего кембрия. В известняках наблюдаются многочисленные карстовые воронки диаметром 15—20 м, глубиной до 7—8 м, колодцы, пещеры и другие формы. Одна из пещер имеет длину 100 м при высоте свода 15—20 м, другая — 50 м при максимальной высоте 5 м. Помимо поверхностных карстовых форм предполагается существование на этих площадях глубинного карста, о чем свидетельствуют провалы бурового инструмента и выходы высокодебитных источников.



В целом инженерно-геологические условия Хингано-Бурейского региона сложны. В пределах Туранского и Мамынского поднятий условия для наземного строительства неблагоприятны ввиду небольших площадей речных террас и пологих склонов для выбора строительных площадок. Вместе с тем геоморфологические условия этих территорий благоприятны для строительства мелких и крупных гидростанций. Впадины Бурейского прогиба характеризуются умеренно сложными условиями для наземного строительства с более широкими возможностями для выбора строительных площадок, не требующих значительных инженерных мероприятий по их подготовке. Осложняющими факторами при строительстве и эксплуатации сооружений являются значительная заболоченность местности, наличие высокольдистых грунтов и развитие разнообразных мерзлотных процессов.

Раздел VI

ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ И ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

ГЛАВА 28

ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПО ВИДАМ РАБОТ

28.1. Промышленное и гражданское строительство

В Забайкалье в настоящее время насчитывается более 3 тысяч населенных пунктов, из которых 140 имеют численность от 3 до 50 тыс. человек и более. В силу преобладания сильно пересеченного рельефа почти все населенные пункты расположены в межгорных впадинах и речных долинах, на долю которых приходится всего около 20 % территории. Природными факторами, которые создают значительные трудности при строительстве и эксплуатации сооружений в этом регионе являются снежные лавины, сели, высокая сейсмичность, сезонная и многолетняя мерзлота.

Большая часть территории Забайкалья принадлежит к числу сейсмичных районов. При сейсмичности свыше 6 баллов предусматриваются специальные антисейсмические мероприятия в зданиях и сооружениях. К сооружениям водопровода, канализации и теплофикации предъявляются дополнительные требования. Широкое распространение многолетнемерзлых пород на площадях, подверженных сейсмическим воздействиям, создает очень сложную обстановку для возведения сооружений и при землетрясениях малой балльности. В этих условиях землетрясения даже малой силы постепенно изнашивают сооружения. Анализ литературы, освещающей опыт строительства в сейсмических районах и районах распространения многолетнемерзлых грунтов, показывает, что при назначении принципа строительства на многолетнемерзлых грунтах и выборе типа фундаментов необходимо учитывать конструктивные особенности и материал наземной части зданий и сооружений.

Особенно большие сложности при строительстве в Забайкалье создает многолетняя мерзлота и развитие сопутствующих ей явлений. Воздействие различных сооружений нарушает естественный мерзлотный режим, а оттаивание льдистого основания сопровождается деформациями сооружений, носящими иногда разрушительный характер. Например, в Чите из 526 капитальных каменных зданий 40 (8 %) пришло в аварийное состояние и 90 (17 %) находится в состоянии, затрудняющем их нормальную эксплуатацию [68].

Гражданское строительство в Забайкалье ведется как по I, так и по II принципу, хотя преобладание высокотемпературных мерзлых грунтов определило ограниченность применения I принципа строительства.

О возможности применения I принципа в условиях распространения высокотемпературных многолетнемерзлых грунтов свидетельствует опыт эксплуатации жилых зданий на ст. Могзон и целого ряда жилых зданий на станциях Сковородино, Шимановская, ряда зданий в Чите и других городах. Пример, подтверждающий возможность сохранения мерзлого состояния и предотвращения деформаций,— случай «лечения» деформированного двухэтажного здания общежития паровозного депо на ст. Шимановская. Здание было выстроено в 1955 г. на бутобетонных ленточных фундаментах с глубиной заложения 3,3 м в мерзлое основание, сложенное мелкозернистым песком и суглинком с температурой $-0,2 \div -0,3$ °С. Через год после сдачи в эксплуатацию вследствие резкого нарушения температурного режима грунтов, вызванного сбросом горячей воды в колодец, в южной части здания образовалась чаша протаивания глубиной 6—7 м, что привело к неравномерной осадке здания. По предложению Сковородинской мерзлотной станции было осуществлено восстановление мерзлого состояния за счет естественной промерозки и устройства проветриваемого подполья. Обследование здания в 1966 г. показало отсутствие каких-либо серьезных деформаций.

В г. Чите по принципу I с использованием оснований в мерзлом состоянии путем устройства холодного подполья с круглогодичной естественной вентиляцией построено 17 зданий, из которых 3 до 1914 г. и 14 — до 1978 г. Здания жилые, одно-, двух-, четырех- и пятиэтажные, с несущими продольными наружными и внутренними кирпичными стенами, находятся в удовлетворительном состоянии. Деформации зданий, построенных по I принципу, связаны с отступлениями от проектов и нарушениями норм строительства и эксплуатации. Так, по улице Январской в г. Чите в 1977 г. был построен 3-этажный кирпичный детский сад-ясли на 300 человек с пристройкой пищеблока. В ходе эксплуатации сооружения допущалась утечка воды из пищеблока, что привело к тому, что уже в 1983 г. здание вышло из строя и было полностью демонтировано в 1986 г. Массовое жилищное строительство с предпостроечным оттаиванием грунтов осуществлено в Шилкинском районе. Строительство каменных зданий здесь произведено на дисперсных льдо-насыщенных грунтах.

Для предотвращения неравномерных осадок в процессе эксплуатации проведено предпостроечное оттаивание с укладкой электроспиралей в траншеи, открытые под фундаменты. Глубина оттаивания составляет 6—8 м, глубина заложения фундаментов 1 м. Для предотвращения промерзания оснований и выпучивания последних были применены теплоизолирующие шлаковые отступки шириной 2—2,5 м, толщиной 0,6—0,85 м. Наблюдение за состоянием этих зданий в процессе эксплуатации показало, что в условиях южного Забайкалья допустимо мелкое заложение фундамента с применением теплоизолирующих отступков. Указанное положение справедливо и для строительства на талых грунтах с глубоким сезонным промерзанием. По данным А. И. Левковича, при глубине

оттаивания (промерзания) до 4 м отстка с влажностью 20—25 % и мощностью 1 м снижает под ней глубину промерзания до 0,7—0,8 м. Здания, выстроенные по этому методу, деформаций не имеют.

Строительство по принципу II с последующим оттаиванием мерзлых грунтов в основании сооружений после их возведения (в процессе эксплуатации) в подавляющем большинстве случаев сопровождается деформациями этих сооружений. Приспособление конструкций к неравномерным осадкам оттаявших грунтов основания обычно не исключает деформаций сооружений и не дает положительных результатов. По принципу II с допущением оттаивания мерзлых грунтов основания в процессе эксплуатации, по данным П. И. Сальникова [68], только в г. Чите построено 324 здания. Строительство на льдистых мерзлых грунтах при фундаментах мелкого заложения осуществлялось с приспособлением конструкций к восприятию повышенных неравномерных осадок оттаивающих мерзлых грунтов.

Основные конструктивные элементы построенных зданий следующие: в жилых — несущие наружные и внутренние продольные стены; в промышленных — каркас из железобетонных или стальных сборных колонн, а иногда несущие наружные и внутренние стены или столбы. Фундаменты ленточные или столбчатые монолитные или из бутовой кладки, бутобетона, бетона и железобетона, а также из сборных блоков. Глубина заложения от 1 до 4 м. Стены кирпичные и панельные. Перекрытия по деревянным балкам и сборные железобетонные. Для обеспечения устойчивости в фундаментах и стенах большинства зданий устроены армокирпичные или железобетонные пояса. Приспособления конструкций к неравномерным осадкам оттаявших грунтов оснований обычно не исключают деформаций сооружений и не всегда дают положительные результаты. По причине больших осадков было разобрано частично здание паровозного депо на ст. Зилово. Основной причиной деформаций читинских мастерских, паровозных депо на станциях Зилово, Могоча, Сквородино, Уруша и Шимановская, зданий школ на станциях Могзон и Чернышевск-Забайкальский явилась неравномерная осадка сооружений вследствие оттаивания многолетнемерзлого основания.

Наиболее распространенная причина деформаций — протавивание мерзлых грунтов оснований, вызывающее их осадку. Такие явления происходят особенно быстро при «высоких» температурах многолетней мерзлоты. Образование и развитие чаши протавивания под отапливаемыми сооружениями происходит интенсивно в первые годы их эксплуатации, а в последующие начинает постепенно затухать. По глубине это протавивание часто превышает 10—12 м. Нередко скорость протавивания грунтов составляет 1—3 мм в сутки. В крупнообломочном основании скорость протавивания до 5—6 мм в сутки была зарегистрирована на Баянгольской электростанции.

Осадка протаивающих грунтов сопровождается деформацией сооружений. Осадки зданий не только достигают большой величины — от 40 до 500 мм, но и протекают с большой скоростью, особенно в первые годы эксплуатации. В последующее время они уменьшаются и при наступлении стабилизации грунтов основания прекращаются совершенно. Многолетние наблюдения за деформациями более чем 40 кирпичных (2—5-этажных) зданий, построенных на оттаивающих основаниях в условиях Забайкалья, позволили выделить три характерных периода деформаций: начала развития деформаций продолжительностью до 3 лет, интенсивных в последующие 3—4 года и затухания деформаций через 6—7 лет с начала эксплуатации. Примерами деформаций зданий в результате тепловых осадок являются поселок ГРЭС и читинские мастерские в г. Чите, большинство зданий и сооружений в районе Борзинского промузла, паровозное депо на станциях Зилово, Могоча, Сквородино, Уруша и Шимановская, здания школ на станциях Могзон и Чернышевск-Забайкальский.

Все обследованные деформированные здания в районе станции Чита-1 оборудованы железобетонными поясами в фундаментах. Часть зданий имеет дополнительно железобетонные пояса в уровне перекрытия над первым этажом и армокирпичный пояс в уровне перекрытия над последним этажом. Другие здания оснащены только армокирпичными поясами над первым и последним этажами. Здание школы на ст. Чернышевск-Забайкальский имеет армокирпичные пояса по стенам на каждом этаже. Все вышесказанные усиливающие мероприятия не обеспечивают должной устойчивости зданий при строительстве в мерзлотно-грунтовых условиях Забайкалья. Между тем есть и положительные примеры роли железобетонных поясов, когда они в совокупности с осадочными швами предохраняют здания от разрушения. Так, здание мастерских, несмотря на большой продольный изгиб (осадка восточного торца достигла 125 мм), сохранило свою целостность. Основным изменением в состоянии здания было раскрытие осадочных швов, которое в восточном крыле на уровне карниза достигло 60 см. Железобетонные пояса приняли на себя неравномерные напряжения в фундаментах и стенках здания, а осадочные швы предохранили его от разрушения, сохранив в таком виде, что после заделки кирпичами проемов в осадочных швах, оно эксплуатируется и в настоящее время.

Хорошие результаты как при глубоком (до 4,5 м), так и при мелком (до 2 м) заложении фундаментов дает возможность применения фундаментов в виде сплошных железобетонных плит для небольших по площади отдельно стоящих зданий. Такие фундаменты являются самыми надежными по условиям сейсмостойкости. Примером сохранения целостности сооружения при резкой односторонней осадке оттаявших пород на величину до 0,5 м может служить старое здание водонапорной башни на станции Чита-1. Фундамент в виде плиты был заложен на глубину 2 м непосредственно на поверхность льдонасыщенного элювия юрско-нижнеме-

ловых алевролитов. В результате неравномерной осадки произошел наклон водонапорной башни на 78 см, при этом никаких деформаций не произошло. Ликвидация наклона башни путем искусственного прогрева основания была произведена без нарушения ее целостности.

Проявление деформаций, связанных только с осадкой сооружений, наблюдается в большинстве случаев при столбчатых фундаментах с глубиной заложения, превышающей мощность деятельного слоя. При неглубоком заложении фундаментов (2—3 м), преобладают деформации, связанные с процессами пульсационного пучения деятельного слоя.

Усиление фундамента и заглубление его свыше 3 м в случае неотопливаемых зданий не предотвращает деформаций пучения. Так, в г. Чите в 1973 г. был сдан в эксплуатацию склад готовой продукции Черновского завода ЖБИ. Фундамент был выполнен из монолитного железобетона и заглублен на 3,4 м. В основании залегают супеси, суглинки и гравийно-галечные грунты мощностью от 0,5 до 9—8 м, ниже — алевролиты и песчаники. Деформации начались сразу после строительства, а к 1976 г. приобрели значительные размеры с раскрытием трещин до 12,5 см. Малоэтажные легкие здания выведены из строя аналогичными причинами в пос. Алхиной, Кутузовка и Нерчинский завод. Деформации пучения привели к появлению трещин в мастерской и котельной пос. Абагайтуй, в пос. Копуня, в учебном корпусе техникума г. Нерчинска и других населенных пунктах.

Поиск решения проблемы строительства малоэтажных зданий в Забайкалье ведется длительное время. Существующие до настоящего времени технические решения часто не дают положительного результата. В 50-х годах в городах Чите и Забайкальске были возведены микрорайоны с одноэтажными зданиями, фундаменты которых были заглублены от 0,5 до 1,5 м. Противопучинных мероприятий практически не предусматривалось. Большинство из этих зданий получили повреждения, в ряде случаев вышли из строя. Причиной разрушения зданий явилось пучение, возникшее вследствие высокой влажности грунтов обратных засыпок. В настоящее время в Читинской области малоэтажные здания строят с глубиной заложения фундамента до 1,5—2 м с усилением их железобетонными поясами. Однако такие мероприятия не предотвращают деформаций аварийного характера.

Для одноэтажных строений рациональны малозаглубленные и незаглубленные фундаменты типа жесткой монолитной системы железобетонных перекрестных лент, укладываемых на песчаных подсыпках толщиной 50 см. Этот тип фундаментов разработан и внедрен трестом Читасельстрой при строительстве одноэтажных кирпичных жилых домов в Карымском районе. Здания эксплуатируются более 15 лет и находятся в устойчивом состоянии.

Деформациям пучения подвергаются здания, иногда целые кварталы жилых массивов в г. Чите и области, выстроенные в пос-

ледяне 20 лет на мелкозаглубленных фундаментах. В качестве конструктивных мер против разрушительного влияния сил морозного пучения применяются железобетонные пояса, обсыпка наружных стенок фундаментов крупнозернистым материалом, шлаковые отмостки, сплошные железобетонные плиты. Однако некоторые из этих мер малоэффективны, а другие — слишком дороги.

В 1957—1960 гг. участок набережной р. Читинки был застроен двухэтажными зданиями. Фундаменты ленточные, бутобетонные, глубина заложения составляет 1,2—2,5 м. Пазухи засыпаны крупнозернистым материалом и шлаком. По верху или по низу фундамента уложен монолитный железобетонный пояс. В основании залегают аллювиальные пески с прослоями супесей и суглинков. Большинство из зданий после сдачи в эксплуатацию начали деформироваться. В фундаментах и стенках появились сквозные трещины, раскрытие которых, по данным П. И. Сальникова, достигало 50 мм. Деформации зданий вызваны пучением и осадкой при оттаивании. Здания продолжают деформироваться и в настоящее время.

В 70-х годах в с. Маккавеево были построены четыре крупнопанельных и восемь кирпичных домов с подвалами без усиления несущих конструкций. Фундамент кирпичных зданий ленточный, бутобетонный, крупнопанельных — ленточный, состоящий из сборных железобетонных цокольных панелей, сваренных между собой; глубина заложения 2,2 м. Основания сложены многолетнемерзлыми алевролитами массивной и сетчатой криогенной текстуры. Температура пород минус 2 °С, глубина слоя сезонного оттаивания 3—5 м. Деформации зданий начались через 1—1,5 года после начала их эксплуатации. Ширина наиболее крупных раскрытых трещин достигала 50 мм.

Деформации зданий происходят по следующим причинам: некачественные изыскания (10 %), ошибки в проектно-конструкторских решениях (20 %), некачественное строительство (27 %) и неправильная эксплуатация зданий (43 %). Все эти аспекты должны найти соответствующее воплощение при выборе принципа строительства, типа фундамента, видов мелиоративных и конструктивных решений по обеспечению устойчивости промышленных и гражданских сооружений.

Анализ опыта строительства в Забайкалье показывает, что при применении в строительстве принципа I основным мероприятием по сохранению мерзлого состояния оснований является устройство холодных подполий с круглогодичной естественной, а в необходимых условиях принудительной вентиляцией. Выбор типа подполья и способа охлаждения производится на основе теплотехнического расчета с учетом опыта эксплуатации зданий на станциях Чита-1, Могзон, Сквородино.

Наряду с мероприятиями, необходимыми для сохранения мерзлого состояния грунта в основании зданий и сооружений, должны быть также предусмотрены специальные мероприятия по инженерной подготовке территории, вертикальной планировке, прокладке

инженерных сетей, расположению зданий и сооружений с мокрыми и горячими технологическими процессами и т. д. в соответствии с требованиями СНиП-II-18—76 и другими нормативными документами. Принцип I целесообразно применять при залегании в основании зданий льдистых грунтов и исключении возможности повышения температуры их в период эксплуатации. При необходимости понижения температуры мерзлых грунтов или промораживания отдельных участков талых грунтов целесообразно применять саморегулирующие охлаждающие устройства (жидкостные и пажелобетонных полых двухъячейковых свай и естественной вентиляции их полостей. Принцип I приемлем для зданий и сооружений, если технически возможно и экономически целесообразно выполнение мероприятий, обеспечивающих сохранение оснований в мерзлом состоянии.

Причины деформаций зданий, построенных по принципу II, следующие: тепловая осадка льдистых мерзлых грунтов, криогенное пучение и совместное проявление пучения и осадки. Принцип II целесообразно применять на слабо- и среднесжимаемых при оттаивании высокотемпературных многолетнемерзлых грунтах с приспособлением конструкций зданий и сооружений к восприятию повышенных деформаций оттаивающих оснований. При этом следует учитывать, что процесс оттаивания грунтов должен быть постепенным и равномерным. Принцип II следует также применять, если температурно-влажностный режим здания или сооружения, его технологические особенности и геокриологический прогноз не позволяют сохранить грунты основания в мерзлом состоянии.

Для предотвращения влияния пучения рекомендуется применение: 1) свайных фундаментов глубиной до 5 м; 2) незаглубленных фундаментов; 3) утепление грунтов вокруг фундаментов. Свайные фундаменты глубокого заложения (до 20—30 м), перспективные, по мнению Ю. М. Мосенкиса, и на оттаивающих основаниях, рассчитаны на проходку многолетнемерзлых грунтов или предельных ореолов оттаивания. На площадках, сложенных высокольдистыми мерзлыми грунтами, следует применять предпостроечное оттаивание по опыту строительства в г. Магадане и на объектах Уренгойского промысла.

Задача строительства становится намного сложнее, когда и многолетняя мерзлота, и сейсмические явления присутствуют одновременно. Повышенная сейсмичность территории требует учета поведения мерзлых грунтов при сейсмических воздействиях. Протаивание грунта, как правило, увеличивает сейсмическую опасность. Приращение сейсмической интенсивности в таликах ограниченного объема может достигать 2—3 баллов. При повышении сейсмичности предпочтителен принцип I. Практикой строительства в сейсмоопасных районах отработаны приемы, из которых ведущим становится проектирование здания как единой системы, грунт—здание и решение самого здания как системы блоков равнопрочной конструкции, способных противостоять любым из

ледние 20 лет на мелкозаглубленных фундаментах. В качестве конструктивных мер против разрушительного влияния сил морозного пучения применяются железобетонные пояса, обсыпка наружных стенков фундаментов крупнозернистым материалом, шлаковые отмостки, сплошные железобетонные плиты. Однако некоторые из этих мер малоэффективны, а другие — слишком дороги.

В 1957—1960 гг. участок набережной р. Читинки был застроен двухэтажными зданиями. Фундаменты ленточные, бутобетонные, глубина заложения составляет 1,2—2,5 м. Пазухи засыпаны крупнозернистым материалом и шлаком. По верху или по низу фундамента уложен монолитный железобетонный пояс. В основании залегают аллювиальные пески с прослоями супесей и суглинков. Большинство из зданий после сдачи в эксплуатацию начали деформироваться. В фундаментах и стенках появились сквозные трещины, раскрытие которых, по данным П. И. Сальникова, достигало 50 мм. Деформации зданий вызваны пучением и осадкой при оттаивании. Здания продолжают деформироваться и в настоящее время.

В 70-х годах в с. Маккавеево были построены четыре крупнопанельных и восемь кирпичных домов с подвалами без усиления несущих конструкций. Фундамент кирпичных зданий ленточный, бутобетонный, крупнопанельных — ленточный, состоящий из сборных железобетонных цокольных панелей, сваренных между собой; глубина заложения 2,2 м. Основания сложены многолетнемерзлыми алевролитами массивной и сетчатой криогенной текстуры. Температура пород минус 2 °С, глубина слоя сезонного оттаивания 3—5 м. Деформации зданий начались через 1—1,5 года после начала их эксплуатации. Ширина наиболее крупных раскрытых трещин достигала 50 мм.

Деформации зданий происходят по следующим причинам: некачественные изыскания (10 %), ошибки в проектно-конструкторских решениях (20 %), некачественное строительство (27 %) и неправильная эксплуатация зданий (43 %). Все эти аспекты должны найти соответствующее воплощение при выборе принципа строительства, типа фундамента, видов мелiorативных и конструктивных решений по обеспечению устойчивости промышленных и гражданских сооружений.

Анализ опыта строительства в Забайкалье показывает, что при применении в строительстве принципа I основным мероприятием по сохранению мерзлого состояния оснований является устройство холодных подполий с круглогодичной естественной, а в необходимых условиях принудительной вентиляцией. Выбор типа подполья и способа охлаждения производится на основе теплотехнического расчета с учетом опыта эксплуатации зданий на станциях Чита-1, Могзон, Сквородино.

Наряду с мероприятиями, необходимыми для сохранения мерзлого состояния грунта в основании зданий и сооружений, должны быть также предусмотрены специальные мероприятия по инженерной подготовке территории, вертикальной планировке, прокладке

инженерных сетей, расположению зданий и сооружений с мокрыми и горячими технологическими процессами и т. д. в соответствии с требованиями СНиП-II-18—76 и другими нормативными документами. Принцип I целесообразно применять при залегании в основании зданий льдистых грунтов и исключении возможности повышения температуры их в период эксплуатации. При необходимости понижения температуры мерзлых грунтов или промораживания отдельных участков талых грунтов целесообразно применять саморегулирующие охлаждающие устройства (жидкостные и пажелезобетонных полых двухъячейковых свай и естественной вентиляции их полостей. Принцип I приемлем для зданий и сооружений, если технически возможно и экономически целесообразно выполнение мероприятий, обеспечивающих сохранение оснований в мерзлом состоянии.

Причины деформаций зданий, построенных по принципу II, следующие: тепловая осадка льдистых мерзлых грунтов, криогенное пучение и совместное проявление пучения и осадки. Принцип II целесообразно применять на слабо- и среднесжимаемых при оттаивании высокотемпературных многолетнемерзлых грунтах с приспособлением конструкций зданий и сооружений к восприятию повышенных деформаций оттаивающих оснований. При этом следует учитывать, что процесс оттаивания грунтов должен быть постепенным и равномерным. Принцип II следует также применять, если температурно-влажностный режим здания или сооружения, его технологические особенности и геокриологический прогноз не позволяют сохранить грунты основания в мерзлом состоянии.

Для предотвращения влияния пучения рекомендуется применение: 1) свайных фундаментов глубиной до 5 м; 2) незаглубленных фундаментов; 3) утепление грунтов вокруг фундаментов. Свайные фундаменты глубокого заложения (до 20—30 м), перспективные, по мнению Ю. М. Мосенкиса, и на оттаивающих основаниях, рассчитаны на проходку многолетнемерзлых грунтов или предельных ореолов оттаивания. На площадках, сложенных высокотльдистыми мерзлыми грунтами, следует применять предпостроечное оттаивание по опыту строительства в г. Магадане и на объектах Уренгойского промысла.

Задача строительства становится намного сложнее, когда и многолетняя мерзлота, и сейсмические явления присутствуют одновременно. Повышенная сейсмичность территории требует учета поведения мерзлых грунтов при сейсмических воздействиях. Протаивание грунта, как правило, увеличивает сейсмическую опасность. Приращение сейсмической интенсивности в таликах ограниченного объема может достигать 2—3 баллов. При повышении сейсмичности предпочтительнее принцип I. Практикой строительства в сейсмоопасных районах отработаны приемы, из которых ведущим становится проектирование здания как единой системы, грунт—здание и решение самого здания как системы блоков равной прочной конструкции, способных противостоять любым из упо-

мянутых воздействий независимо от того, с какой стороны и под каким углом придут к зданию разрушающие силы — сейсмические волны. В частности, для застройки Северобайкальска была разработана серия 122 крупнопанельных жилых домов, которая и по архитектурно-планировочным решениям, и по конструктивным отвечает как мерзлотно-сейсмическим, так и климатическим требованиям [3].

28.2. Горнодобывающая промышленность

Разработка россыпных месторождений. Разрабатываемые россыпные месторождения имеют различные параметры как по мощности рыхлых отложений, ширине и протяженности промышленного контура, так и по литологическому составу пород и мерзлотной обстановке. Разнообразные горно-технические условия месторождений требуют различной в каждом конкретном случае технологии горных работ.

Россыпные месторождения Ленского района (Байкало-Патомского нагорья) представлены различными типами: террасовыми, увальными, русловыми и долинными. Объектами дражных работ являются преимущественно долинные. По глубине залегания они изменяются в широких пределах — от 3 до 70 м, по ширине промышленной части от 40 до 600 м, составляя в среднем 135 м. По мощности рыхлых отложений россыпи этого региона относятся преимущественно к глубоким со значительной непродуктивной толщей, требующей применять глубокую вскрышу «торфов» ниже уреза грунтовых вод. Мощность непродуктивной толщи достигает здесь 45 м при общей мощности паносов до 70 м. Большая часть этих россыпей находится в многолетнемерзлом состоянии и для эффективной их отработки требуется предварительная оттайка пород. Крутые склоны и корытообразная форма долин, отсутствие каких-либо ровных площадок создают трудности с размещением пород вскрыши.

Россыпные месторождения, расположенные в Селенгино-Витимской зоне, на Хэнтэй-Чикойском нагорье и Агинской равнине, характеризуются, как правило, незначительной мощностью (3—4 м) при малой мощности торфов (0,5—1 м). Месторождения располагаются в зоне островной многолетней мерзлоты.

По способам отработки россыпей все месторождения подразделяются следующим образом (табл. 28.1).

Как видно из табл. 28.1, наибольшее число месторождений пригодно для дражного, гидромеханизированного и гидравлического способов отработки. Иными словами, максимальное воздействие на геологическую среду при разработке россыпей Забайкалья оказывают дражные и гидромеханизированные разработки.

Россыпи Верхнего Приамурья отрабатываются как дражным, так и гидромеханизированным способом. Добыча золота ведется в основном из россыпных месторождений, скованных многолетней мерзлотой. Сезонная оттайка мерзлоты составляет 0,7—1,5 м.

Разделение россыпных месторождений Забайкалья по способам разработки Таблица 28.1

Золотоносные районы	Число месторождений, разрабатываемых следующими способами			
	дражным	гидравлическими	открытым (гидромеханизированным)	подземным
Север Забайкалья	1	—	—	—
Могочинский	47	—	11	—
Карингский	14	3	61	—
Дарасуно-Балейский	58	16	24	1
Приаргунский	16	2	19	9
Кручино-Илья-Туринский	2	—	21	7
Любавинско-Бальджинский	14	4	25	1
Читинский	15	3	32	9
		—	48	—

Мощность рыхлых отложений от 4 до 15—18 м. Часть разрабатываемых в настоящее время россыпей ранее обрабатывали подземным способом, поэтому на ряде полигонов остались галечно-эфельные отвалы подземных работ со значительным содержанием золота. Это осложняет проведение предварительных вскрышных работ.

Эксплуатация россыпей представляет единый технологический цикл, в котором жестко взаимосвязаны основные процессы подготовки, выемки и обогащения «песков», отвалообразования и рекультивации поверхности. Для подготовки металлосодержащих песков в выемке выполняется комплекс горноподготовительных работ: вскрыша «торфов», оттаивание многолетнемерзлых пород, предохранение поверхности от сезонного промерзания, водоснабжение горных и обогатительных работ, водоохраные работы. Кроме выемочных работ значительные нарушения ландшафта вызываются вскрышными работами, а также плотинами, перемычками, дамбами и т. д.

Изменение природных условий при этом приводит: к уничтожению леса и осушению болотистых участков как в районе горных работ, так и на прилегающей к ним местности; снятию почвенно-растительного слоя; изменению рельефа долины и многократному изменению положения русел рек и ручьев, нарушению их гидрологического режима; изменению температурного режима вечномерзлых пород и развитию термокарстовых явлений.

В результате сброса драгами промышленных стоков, содержащих взвешенные минеральные частицы, загрязняются реки и водоемы. Мутность в сточных водах колеблется от десятков миллиграммов до 4—5 г на литр, что превышает естественные ее значения в 20—500 раз. Принимаются различные меры по снижению выноса взвешенных частиц: строительство прудов-отстойников, фильтрующих дамб, работа драг и гидравлик с обратным водо-

снабжением (в «глухом» забое), обработка воды коагулянтами. Однако, несмотря на применяемые меры, загрязнение водотоков продолжается.

Разработка месторождений карьерным способом. Открытый способ разработки месторождений остается наиболее эффективным и в дальнейшем его развитие будет идти опережающими темпами. Одним из существенных недостатков данного способа добычи полезных ископаемых — значительно большее негативное влияние на окружающую среду в сравнении с другими способами.

Добыча различных полезных ископаемых имеет свои особенности, связанные как с разработкой месторождения, так и с влиянием на геологическую среду. Для пластовых месторождений, к которым относятся угольные, такими особенностями являются большое распространение по площади, высокая обводненность, возможность внутреннего отвалообразования, горючесть полезного ископаемого и связанные с ней пожары, оползневые явления. Основные угольные месторождения региона, разрабатываемые открытым способом, — Харанорское, Татауровское, Холбоджинское, Райчинское.

Харанорское месторождение расположено на стыке Агинского и Шилкинско-Аргунского регионов. Месторождение содержит 20 угольных пластов, из них 6 мощных (4,8—13,3 м), 7 пластов средней мощности (2—4,2 м) и тонких (1,3—1,6 м). Размеры месторождения следующие: длина 11 км, ширина от 2 до 6,5 км. Породы вскрыши представлены песками, супесями, глинами, песчано-гравийным материалом, песчаниками, алевролитами, аргиллитами.

Месторождение разрабатывается разрезом «Харанорским» с производственной мощностью 6,7 млн т угля в год. В связи с ростом объемов потребления угля идет наращивание мощности разреза до 12 млн т/год с последующим увеличением до 15 млн т. Разработка месторождения осложняется значительной обводненностью и наличием многолетней мерзлоты. Подземные воды приурочены в основном к угольным пластам и вмещающим их песчаникам.

В результате повышенного водонасыщения пород происходит их разуплотнение и набухание. Это приводит к оползевым явлениям на вскрышных уступах и отвалах породы. Осушение карьерного поля посредством водопонижающих скважин позволило уровень подземных вод опустить на 10—20 м ниже почвы угольного пласта. Однако эти мероприятия не позволили избежать оползневых явлений. Водонасыщение пород продолжает происходить за счет атмосферных осадков. Водонасыщению пород способствует недостаточно организованный водосбор и плоская планировка берм уступов. Для предотвращения деформации уступов проводятся работы по сбору и отводу атмосферных осадков с берм уступов. Для предотвращения фильтрационных деформаций откосов уступов, сложенных песчано-глинистыми отложениями, производится отсыпка фильтрующей пригрузки на локальных участках интенсивного выкачивания вод.

Многолетняя мерзлота в районе месторождения имеет тенденцию к деградации [78]. Температура пород от $-0,3$ до -2 °С, средняя мощность мерзлой толщи 12 м, при колебаниях от 3,8 до 21 м.

Вскрытие карьерного поля на участке первой очереди выполнено внешней выездной траншеей длиной около 1,6 км и разрезной шириной рабочих площадок 41 м. Высота уступов траншеи 10—13 м, породных 25°, породных по мерзлоте 20°, угольных 50°. Углы откосов рабочего борта — породных 60°, угольных 70°. Для предотвращения оползней при оттаивании мерзлых пород четвертичных отложений борта подсыпаются слоем скальных пород мощностью 2 м. С целью избежания пожаров при самовозгорании угля производится присыпка инертными породами угольных уступов рабочего борта и рабочих площадок, оставленных на консервацию. Несмотря на это, в результате разрушения предохранительной присыпки оползнями или по другим причинам нередко происходит самовозгорание угля.

Внешние отвалы Харанорского разреза располагаются на заболоченных участках. Высота внешних отвалов равна 60 м при двухъярусной отсыпке с результирующим углом 25° и шириной бермы 45 м. Угол откоса яруса принят 35°. Для внутренних отвалов, нагруженных оборудованием, высота принята 60 м с общим углом наклона 19°. Отвал отсыпается в три яруса по 20 м с переменным углом откоса: угол откоса первого яруса 30°, второго и третьего 35°; ширина первой межъярусной бермы 30, второй 55 м. За период эксплуатации (на 1 января 1987 г.) разрезом Харанорский нарушено 994 га земель, в том числе при разработке 486,5 га, заскладировано 139,3 тыс. м³ плодородного слоя. В среднем ежегодно разрезом нарушается 43 га.

Месторождение бурого угля «Татауровское» расположено в Читино-Ингодинской впадине, в долине р. Ингоды. В пределах карьера в толще нижнемеловой угленосной формации выделяются три пласта угля средней мощностью 8,95, 3,86 и 7,35 м. Вмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Угленосная толща перекрыта с поверхности аллювиальными гравийно-галечниковыми породами средней мощностью 8—10 м. Производительность разреза в настоящее время составляет 1300 тыс. т угля в год, в перспективе годовая добыча возрастет до 6000 тыс. т.

Освоение месторождения в значительной степени затруднено сложными гидрогеологическими и гидрологическими условиями, которые определяются: прямой гидравлической связью подземных вод с поверхностными водами р. Ингоды; периодическим затоплением площади месторождения паводковыми водами р. Ингоды и ее притоков; высокой водообильностью вскрышных пород; наличием многолетнемерзлых пород и сложной конфигурацией их распространения.

Многолетняя мерзлота занимает 50 % площади месторождения. Глубина залегания ее верхней границы от 0,5 до 24 м, мощ-

ность многолетнемерзлых пород достигает 80 м при среднем значении 30 м, уменьшаясь по мере приближения к руслу р. Ингоды. Распространение многолетней мерзлоты исключает применение современной поточной технологии с роторными экскаваторами. Разработка вскрышных пород и угля ведется с применением буровзрывных работ. Отвалы вскрышных пород размещаются в выработанном пространстве. Отвалы одноярусные высотой 5—10 м. Осушение осуществляется путем перехвата подземных вод на пути их движения к участку горных работ и удаления карьерных вод из отработанного пространства. Перехват подземных вод ведется с помощью открытой дрены, пройденной параллельно границам карьерного поля.

В связи с нарушением естественных природных условий на территории работ развиваются инженерно-геологические процессы: пучение, палеобразованье, эрозия, термокарст и др. Дальнейшее углубление и расширение карьера создают условия образования оползней.

Райчихинское месторождение бурого угля находится в Амурско-Зейском регионе. Разработку месторождения ведут четыре разреза: «Северо-Восточный», «Юго-Западный», «Широкий», «Новорайчихинский». Общая производственная мощность разрезов по углю составляет 8750 тыс. т в год. Угольные пласты мощностью от 1,5 до 5 м залегают на глубине 30—50 м. Пласты имеют горизонтальное или слабо пологое залегание; вскрышные породы разрабатываются экскаваторами и размещаются в выработанное пространство. Часть вскрышных пород (300—5000 м³) используется для строительства полотна авто- и железных дорог.

Ведение горных работ осложнено обводненностью месторождения и связанными с этим оползневыми явлениями на внутренних отвалах. Особенно сильно эти процессы активизируются в период летних ливневых дождей. Борьба с оползнями ведется путем дренажно-осушительных работ и уменьшения углов откосов отвалов. Сброс карьерных вод в окружающие водотоки производится после осветления в отстойниках.

Горными работами нарушены значительные площади земель. На Райчихинском месторождении на 1 января 1987 г. из 14 тыс. га горного отвода нарушено 11,5 тыс. га, на Архаро-Богучанском из 4,8 тыс. га нарушено 0,8 тыс. га. Ежегодно рекультивируется 200—350 га нарушенных земель с последующей посадкой лесонасаждений.

Гусиноозерское буроголиное месторождение эксплуатируется разрезом Холбоджинский и шахтой Гусиноозерская. Годовая мощность разреза составляет 3000 тыс. т угля. Мощность угольных пластов — в среднем 6—7 м, коэффициент вскрыши 6 м³/т. Пласты пологозалегающие с углом наклона 18°. Породы вскрыши представлены алевролитами и аргиллитами. Вскрышные работы ведут карьерными экскаваторами с погрузкой в автотранспорт и складированием пород во внешние отвалы. Уголь из разреза автотранспортом выводится на промежуточный склад, где грузится в же-

лезнодорожные вагоны. Ведение горных работ осложнено обводненностью месторождения и связанными с этим оползнями откосов карьера.

Обобщая опыт эксплуатации угольных месторождений, можно выделить некоторые особенности влияния открытой угледобычи карьеров, что связано с пластовым типом месторождений. Например, Харанорским разрезом в среднем ежегодно нарушается около 43 га земной поверхности. За период эксплуатации Райчихинского месторождения нарушено более 11 тыс. га. Глубина карьеров доходит 60—100 м. Высокая обводненность пород — одна из основных причин возникновения оползней откосов и уступов отвалов. После отработки месторождений выработанное пространство, как правило, заполняется водой, образуя водоемы. Внутреннее отвалообразование в 1,5—2 раза удешевляет вскрышные работы, сокращает нарушенность земель горными работами. Вместе с тем с внутренними отвалами связано большинство случаев оползневых явлений. Причина возникновения оползней — насыщение вскрышных пород отвалов дождевыми водами.

Одно из негативных явлений, сопровождающих разработку месторождений угля, — его самовозгораемость. В результате пожаров возникают сверхнормативные эксплуатационные потери угля (до 5%), ухудшаются санитарно-экологические условия работы, снижается производительность добычного оборудования. Наибольшую подверженность к самовозгоранию имеют угли Харанорского и Гусиноозерского месторождений. Например, в 1981 г. на разрезе «Харанорский» в результате возгорания рабочего борта длиной 1,7 км сгорело более 40 тыс. т угля. Причем в ненарушенных угольных целиках пожаров не возникает. Поэтому одна из профилактических мер — предохранение угольного массива от различного рода нарушений, способствующих проникновению воздуха. Такие нарушения возникают в результате активизации оползней, при ведении буровзрывных работ, разработке пластов мехлопатами, а также в трещинах естественных зон нарушения. Основные способы профилактики пожаров — использование инертных пород для засыпки обнаженных угольных массивов.

Разработка рудных месторождений открытым способом имеет свои особенности. Основные отличия технологии разработки рудных месторождений — широкое применение буровзрывных работ на вскрыше и добыче, большая глубина карьеров, внешнее отвалообразование, переработка руд на обогатительных фабриках.

Особенность карьеров, разрабатываемых в Забайкалье, — небольшие их размеры, производительность 200—500 тыс. м³, значительная обводненность пород. Большая часть карьеров расположена в Читинской области. Это оловянный карьер Шерловогорского ГОКа, Балейский карьер, карьер рудника Ключи, два вольфрамо-молибденовых карьера Орловского ГОКа. В настоящее время завершается строительство молибденового карьера Жирекенского

ГОКа. Глубина отдельных карьеров достигает 150 м, площади по верхней бровке от 100 до 600 га, высота уступов 10—15 м, объем откачиваемой воды до 10 м³/ч. Отвалы высотой до 30 м занимают площади в среднем 200—250 га.

Случаи оползневых явлений связаны в основном с тектоническими нарушениями массива или с несоблюдением устойчивых углов бортов карьеров. Например, на Шерловогорском карьере в феврале 1982 г. была зарегистрирована подвижка пород объемом 12 млн м³, началось разрушение западного борта. Для предотвращения оползня были выполнены работы по разгрузке призмы высокого давления. В результате этих работ в июле-августе 1986 г. скорость подвижки составляла: вертикальная — 0,8 мм/сут, горизонтальная 1,6 мм/сут. В октябре эти скорости уравнились и составили 1,2 мм/сут. В 1978 г. произошел оползень северо-восточного борта Балейского карьера. Площадь оползня составила 25 000 м². В 1986 г. в этом же карьере в районе водосборника произошел оползень площадью 2750 м².

Подземные горные работы. Подземные горные работы в Забайкалье ведутся во многих районах. Находятся они в сложных инженерно-геологических условиях, работы ведутся на различной глубине от поверхности земли, различными системами разработки, поэтому инженерно-геологические особенности месторождений целесообразно рассмотреть отдельно.

Балейское рудное поле (площадью 40 км²) объединяет Тасеевское и Балейское золоторудные месторождения. В непосредственной близости — в долине р. Унды разрабатываются россыпные месторождения золота. Балейское рудное месторождение до 1964 г. обрабатывалось открытым и подземным способами. В настоящее время рудник Балей законсервирован, а горнооткрытые работы переданы Ундинскому приisku, ведущему отработку россыпей дражным способом.

Эксплуатация Тасеевского месторождения начата с 1948 г. Месторождение представляет участок золото-кварцевой минерализации, расположенной в центральной части Балейского грабена, сложенного юрскими и меловыми песчано-конгломератовыми отложениями. В его пределах вскрыто около 50 жильных тел, сгруппированных в семь рудных зон, имеющих крутые падения на северо-запад.

Трещинные воды являются одним из источников обводнения рудника. Приток в горные выработки в среднем составляет 200 м³/ч.

Выработки закреплены деревянной крепью вразбежку или всплошную неполными крепежными рамами, арочной бетонной, штанговой крепью. Используются все виды крепи, в зависимости от устойчивости горных пород.

Разнообразие горно-геологических условий предопределило применение нескольких систем разработки: с магазинированием руды для отработки крутопадающих жил мощностью 0,8—3 м и устойчивыми вмещающими породами; потолкоуступная с распор-

ным креплением — для мощности жил 0,4—0,8 м при устойчивых боковых породах и 0,4—3 м при неустойчивых боковых породах с углами падения более 50°; подэтажного обрушения — для отработанных крутопадающих рудных тел мощностью более 3 м в породах с тектоническими нарушениями. Потери при всех системах разработки достигают до 20—25 %, разубоживание руды до 46 %. Ввиду больших потерь полезного ископаемого в потолочине и целиках подземных разработок намечается отработка так называемой Первой рудной зоны открытым способом. Вскрышные работы на карьере уже начались.

Внутреннее строение Тасеевского месторождения определяется наличием системы продольных и поперечных нарушений, разбивающих Балеюскую депрессию на серию крупных блоков. Каждый из них в свою очередь разбит более или менее густой сетью нарушений, что обуславливает общую высокую степень тектонической раздробленности массива. В результате подземной отработки произошли деформации горного массива Первой рудной зоны. На поверхности образовались провалы, причем некоторые из них достигают значительных размеров. Объемы их изменяются от 600 м³ до 12 000 м³.

В пределах проектного контура Тасеевского месторождения выделяются три зоны сдвижения: 1) плавных сдвижений; 2) трещин; 3) обрушения.

Наиболее опасным участком мульды сдвижения является зона воронок и провалов. Воронки образуются в результате перепуска пород закладочного материала с верхних горизонтов на нижние и при отработке мощных рудных тел. Обрушения, в результате которых образуются воронки, распространяются куполообразно перпендикулярно слоистости пород. Угол обрушения, в зависимости от мощности налегающей толщи пород и фронта горных работ, колеблется от 75 до 85°.

В настоящее время на Первой рудной зоне, вследствие подработки массива подземными горными работами, идет активный процесс земных подвижек, о чем свидетельствует оседание поверхности и образование провалов. Переход подземных работ на систему с закладкой практически исключен, так как к выработкам нет доступа, горный массив нарушен, выработки деформированы и завалены. Доставка закладки в отдельные пустоты потребует проходки множества скважин большого диаметра. Все это затруднено технически и невыгодно экономически.

Сложные горно-геологические условия, неравномерность отработки крутопадающих рудных тел (по падению, простиранию и вкост простирания, при селективной отработке жилы), недостаток информации о ведении горных работ прошлых лет и большое разнообразие факторов создают серьезные трудности в изучении и прогнозировании характера сдвижения горных пород и в известной мере оказывают влияние на решение вопроса повторной разработки верхних горизонтов открытым способом.

Максимальные наклоны и приращения наклонов земной поверхности

Номер линии	Номера реперов	Приращение наклонов, мм/м		Наклоны, мм/мес. 1969 — 1976 гг.
		за период с февраля 1975 г. по январь 1976 г.	за январь — февраль 1976 г.	
I—I	32—33	0,79	1,25	14,04
II—II	27—28	0,33	0,26	9,9
III—III	13—14	2,48	0,78	18,42
V—V	13—14	1,81	0,67	13,86
VI—VI	13—14	0,93	0,13	15,45

По результатам исследований Читинского политехнического института, выявлено большое число участков профильных линий, где наклоны поверхности значительно превышают допустимые. Для качественной оценки этого явления по участкам со средним максимальным оседанием реперов определены максимальные скорости оседания и вычислены относительные величины наклонов (табл. 28.2).

Анализ деформаций земной поверхности показывает, что процесс сдвижения еще не закончился. Оседание земной поверхности возрастает в направлении продвижения очистной выемки, причем оно сопровождается внезапными провалами и воронками.

Сдвижение горного массива происходит преимущественно в форме отрыва и внезапного обрушения пород в выработанное пространство, что представляет наибольшую опасность для ведения открытых горных работ при повторной разработке месторождения.

По данным маркшейдерской службы рудника Балей, после проведения очистной выемки на Первой рудной зоне имеется около 300 тыс. м³ пустот, чем и обусловлено периодическое образование на поверхности провалов.

Дарасунский рудник. Вмещающие породы Дарасунского месторождения представлены интрузией гранитондов. Крепость пород по классификации Протодяконова составляет 12—14, крепость руд 8—15; мощность рудного тела в среднем 0,6—1,2 м, редко достигает 1,5—2 м, поэтому при проведении очистных работ происходит нарушение боковых пород и неизбежна выемка значительного количества пустых пород.

Рудное поле разбито системами тектонических нарушений, которые сопровождаются зонами повышенной трещиноватости. Мощность зон колеблется от первых до нескольких десятков метров. Падение зон крутое, в среднем 80—85°. Тектонические нарушения сопровождаются системами разнонаправленных трещин, которые в процессе взрывных работ способствуют образованию вывалов крупных глыб. Размеры обрушений от 1 до 25 м по падению и от 1—1,5 до 30 м по простиранию.

Горные работы на Дарасунском руднике достигли глубины 500—700 м от дневной поверхности, где проявления горного давления весьма значительны и существенно влияют на условия проходки горных выработок и на проведение отбойки руды. Горное давление проявляется в раздавливании ходков в блоках, восстающих или ранее пройденных штреков, что вызывает необходимость проведения дополнительных восстановительных работ, проходку обходного квершлага и т. п. Наличие горного давления также отрицательно влияет на выпуск руды из блоков, ввиду сдавливания очистного пространства и образования зажимов значительных размеров.

Условия отработки рудных тел осложнились начиная с глубины 400—500 м. При проходке выработок на нижних горизонтах наблюдаются проявления горного давления (стреляние, шелушение, заколообразование); очистная выемка стала сопровождаться увеличением степени отслоений вмещающих пород в блоках. Динамические формы проявления горного давления с увеличением глубины горных работ становятся более интенсивными и опасными. В связи с этим возникла необходимость определения критериев удароопасности пород и руд. Осуществляется систематический контроль за степенью удароопасности пород в очистных блоках и подготовительных выработках как визуалью, так и инструментальными методами (электрометрии и дискованию керна).

Опыт разработки участка по жиле «Алмазная» показывает, что опасность проявления горных ударов возрастает постепенно. Сначала появляются лишь отдельные признаки в виде «стреляния», заколообразования и других форм проявления горного давления, которое с возрастанием глубины разработки и развитием очистных работ по площади перерастают в обрушения и горные удары.

После выпуска отбитой руды блоки остаются пустыми. Во время выпуска руды возможно самообрушение вмещающих пород, вследствие чего происходит забутовка и в некоторых блоках заполняется до 70 % выработанного пространства. На поверхности образуются воронки обрушения длиной до 170—200 м, шириной до 15—20 м.

Наблюдениями за процессами сдвижения установлено, что разрыв сплошности происходит при горизонтальных (50—65 мм) и вертикальных (80 мм) смещениях.

Рудное поле Шахтаминского месторождения занимает площадь около 2,5 км². К настоящему времени на месторождении известно около 140 рудных тел, из которых промышленное значение имеют 40. В эксплуатации находятся 28 жил, 4 частично вскрыты подземными выработками. Углы падения рудных тел изменяются от 60 до 90°. Протяженность жил по простиранию от первых десятков метров до 700—800 м. На глубину отдельные жилы прослеживаются до 300—450 м. Средняя мощность жил, подлежащих выемке, равна 0,3 м.

Рудные тела залегают в гранитах, рассеченных дайками диорит-порфиров и гранит-порфиров. Коэффициент крепости пород по

шкале Протодьяконова составляет 9—14, а для руд он равен 8. Наличие тектонических нарушений и зон милонитизации, проходящих параллельно рудным телам на более глубоких горизонтах, значительно нарушают монолитность пород, которые на этих участках становятся ослабленными и легко обрушаются.

Приток воды в выработке зависит в основном от количества выпадающих атмосферных осадков. Инfiltrация поверхностных вод происходит по зонам дробления пород, вдоль контактов рудных тел и отдельным трещинам. Приток воды в горные выработки составляет в среднем $175 \text{ м}^3/\text{ч}$ (максимально $600 \text{ м}^3/\text{ч}$).

На руднике принята система разработки с магазинированием руды без оставления надштрековых и междублоковых целиков. В устойчивых породах горные выработки проходятся без крепления. Крепь возводится при пересечении выработками тектонических зон и в местах, где наблюдается значительное проявление горного давления.

Нерчинский полиметаллический комбинат, состоящий из Кличкинского, Каданского, Благодатского, Акагуевского рудников и Калангуйский плавиковошпатовый комбинат, включающий Калангуйский, Абагайтуйский, Усуглийский и Солонечный рудники Шахтминского рудоуправления. Все месторождения жильные. Крепость пород от 6 до 14. Притоки воды в горные выработки составляют в среднем $150\text{—}200 \text{ м}^3/\text{ч}$, достигая максимума $600 \text{ м}^3/\text{ч}$. Вскрыты месторождения вертикальными стволами прямоугольного сечения, закрепленными деревянной крепью, глубиной от 250 до 600 м. Горные выработки в устойчивых породах проходятся без крепления. Крепь возводится в слабых породах, а также при пересечении выработками тектонических зон и в местах, где наблюдается значительное проявление горного давления.

Большие трудности ведения горных работ возникают при проходке известняков и доломитов в составе терригенно-карбонатных формаций рифея и палеозоя ввиду их значительной закарстованности. Прорывы трещинно-карстовых вод в горные выработки часто вызывали затопление рудников и приостановку работ на значительный срок. Например, откачка воды в Благодатском руднике велась в течение двух месяцев. Разработка месторождений ведется с магазинированием руды, иногда с оставлением надштрековых и подштрековых целиков, где неизбежны потери полезного ископаемого. Потери полезного ископаемого составляют около 20 %, разубоживание руды 75—80 %.

При проведении горных выработок и очистных работ наблюдается отслаивание и обрушение отдельных глыб породы. При производстве взрывных работ в забое горных выработок происходит трещинообразование в законтурном пространстве, которое способствует вывалам и обрушениям пород.

В целом по Нерчинскому комбинату при разработке нарушено 359,9 га земель, рекультивировано в 1986 г. 8 га, для предотвращения ветровой эрозии осуществляется засыпка пустой породой песков хвостохранилища. Гидрогеохимический анализ шахтных

вод показывает, что происходит значительное увеличение содержания фтора как на действующих предприятиях, так и на отработанных.

Таким образом, при разработке месторождений полезных ископаемых происходят различные инженерно-геологические процессы, которые требуют разработки эффективных мероприятий для их предотвращения.

28.3. Линейное строительство

Современные железные и автомобильные дороги в области распространения многолетнемерзлых пород — сложнейшие линейные техногенные комплексы, состоящие из земляного полотна, насыпей и выемок, мостов и эстакад, тоннелей, различных ограждающих и противодеформационных устройств, линий электропередач и других сооружений и коммуникаций различного назначения.

Особенности строительства и эксплуатации железных дорог в условиях Забайкалья рассмотрим на примере Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМа).

Главный элемент Байкало-Амурской магистрали — земляное полотно. Основными факторами, от которых зависит его устойчивость, следующие: характер многолетнемерзлых грунтов, их температурный режим и степень льдистости. В соответствии с принятой методикой проектирования, трасса БАМ проложена по наиболее низким отметкам местности, преимущественно в нижнем геокриологическом поясе, — на поймах, склонах долин рек и низкогорных водоразделах. Поэтому на большей своей части от Северо-Муйского до Буренинского хребта она проходит в районах распространения многолетнемерзлых пород с температурой от $-0,1$ до -6 °С. В строительной зоне (до 10—15 м) многолетнемерзлые грунты, как правило, сильно льдистые, что предопределяет их просадочность при протаивании. На маревых участках в торфяниках и заторфованных грунтах льдистость в строительной зоне превышает 40—60 %.

Расчеты, проведенные на предпроектной стадии документации, показали, что вдоль всей трассы БАМ ожидается повышение температуры грунтов, увеличение глубин сезонного протаивания и соответственно развитие термокарста, термоэрозии, просадочности земной поверхности.

Для обеспечения устойчивости насыпей против просадок основания, которые являются причиной деформации земляного полотна, было предложено возводить их на оптимальную высоту. Под ней, согласно решению задачи в одномерном температурном поле, следует понимать такую высоту, которая при наименьших затратах средств обеспечивает устойчивость земляного полотна (площадок зданий и сооружений) на просадочных мерзлых основаниях, сохраняя верхнюю границу мерзлоты на прежнем до строительства уровне.

Расчеты показали, что наиболее выгодно возводить насыпи из гравийно-галечных отложений и скальных грунтов с заполнителем не более 20 %. В этих случаях высота насыпи в центральной части БАМа составляет 1,5—2 м. Применять такие высоты насыпей необходимо в условиях устойчивого к техногенным нагрузкам температурного режима вечномерзлых грунтов. Территории с такими условиями характеризуются постоянным во времени превышением глубин нормативного промерзания над глубинами сезонного протаивания на оголенных от растительности площадках. Температура грунтов, оголенных от растительности, на таких участках ниже —1 °С. Эти прогнозы оправдались. В центральной части БАМа и вдоль линии Бамовская—Тында—Беркамит такие насыпи на участках вольного хода трассы возведены как оптимальные и являются устойчивыми.

Существенное условие повышения устойчивости насыпей на просадочных вечномерзлых основаниях — нормальная работа водоотводных устройств. Несмотря на имеющиеся недостатки в проектировании и строительстве БАМа и железной дороги Беркамит—Тында—Бамовская, опыт их эксплуатации показывает, что в районах распространения многолетней мерзлоты возможно создание бездеформационного земляного полотна путем строительства его без нулевых мест с повсеместным применением оптимальных насыпей и соответствующей технологии строительства. Этого можно достигнуть переуглублением выемок и последующим прохождением их насыпями с таким расчетом, чтобы на нулевых местах высота насыпей была не ниже оптимальной. Другим способом является укладка в основание насыпей на нулевых местах нетканых теплоизоляционных материалов.

Негативный инженерно-геологический процесс на трассе БАМ, притрассовых автодорогах и строительных площадках — размыв откосов насыпей и выемок, пройденных в выветрелых коренных породах.

Выветривание кристаллических многолетнемерзлых пород при большой длительности криогенного воздействия заходит настолько далеко, что они почти полностью превращаются в криоэлювий (рухляк). В мерзлом состоянии породы выглядят как скальные, но попадая при строительстве или других нарушениях природной среды в зону положительных температур такие «скальные» породы распадаются на дресву и песок. В восточном и центральном участках БАМа в строительной зоне практически не обнаружено прочных скальных пород с морозоустойчивостью равной 500 и без примесей пылевой фракции. Прочность как называемых «скальных» пород в зоне выветривания снижена по сравнению с прочностью вне области многолетнемерзлых пород в десятки раз, а объемная масса их до 2,3—2,4 против 2,7—2,8 т/м³. Буровыми скважинами, некоторыми тоннелями, в частности «Нагорным» (в порталных выемках), котлованами под опоры мостов и ЛЭП, под здания и сооружения, выемками земляного полотна в зоне БАМ вскрыт криоэлювий, имеющий прочность по буримости VII—

VIII категорий. Пролежав на дневной поверхности непродолжительное время, он распадается на структурные грунты (дресву, пески, легкие супеси и щебень).

Особенно активный процесс посткриогенного преобразования пород наблюдается в выемках на железнодорожных линиях Бароды во время строительства превращались в дресву и супеси буквально на глазах и их можно было разрабатывать экскаватором (участки Дипкун—Маревая, Мульмуга—Зейск, Ургал—Солони, южный портал тоннеля «Нагорный» и т. д. (см. рис. 23.1). Так называемые «скальные грунты», уложенные в насыпь, в слое сезонного промерзания-протаивания быстро разложились на ряде участков БАМа до пылеватых супесей, легко размываемых дождевыми водами, что создало проблему укрепления откосов насыпей (например, участки Алонка—Воспорухан, Дипкун—Зейск), так как они размываются даже при уклонах $5-7^\circ$ и на них не закрепляется растительность.

Зона БАМ различается по проявлению криогенеза в западной (где он ослаблен вследствие преобладания скоростей сноса продуктов разрушения над скоростью выветривания) и восточной частях (где он проявляется в полной мере). Граница между этими зонами проходит примерно по р. Олекма.

Размывы откосов выемок и полувыемок, пройденных в льдо-насыщенных многолетнемерзлых грунтах (термоэрозия), наблюдались в г. Тында на базе УРСа при разработке выемки под предгорочный и сортировочные парки. Не оправдали себя на большей части трассы БАМ рекомендованные в ВСН-61-61 и других нормативных документах травосеяние и другие меры по укреплению откосов путем поселения растительных сообществ. Пылеватые грунты в зоне БАМ, появляющиеся как результат криогенного выветривания, обладают почти нулевым сцеплением, поэтому легко размываются и текут даже при уклонах земной поверхности $5-7^\circ$. Поэтому при снятии торфяно-мохового покрова и леса на участках широкого распространения таких грунтов, например в Чарской и Верхне-Зейской котловинах, образуются мпкроселли и даже барханы.

Борьба с размывом насыпей русловыми водами также явилась важной проблемой при строительстве БАМа в связи с тем, что на прижимных участках пришлось прокладывать железнодорожные пути в русле рек насыпями, предусмотрев при этом укрепление их откосов рваным камнем. Таких участков особенно много между станциями Тында и Чара. В ряде случаев насыпи приходится защищать от размыва речными водами в связи с возможным сверхнормативным поднятием их уровня.

Большое значение приобрели техногенные и природные наледные процессы. На сегодняшний день методы противоналедной борьбы и прогноза наледной опасности находятся в стадии поисков. Нет обобщающих научных разработок и действующих нормативных документов, которые регламентировали хотя бы общие

вопросы противоналедной борьбы. Поэтому проектировщики БАМа были вынуждены организовать поиски эффективных противоналедных мероприятий.

Природные особенности зоны БАМ благоприятны для широкого развития наледей, особенно в горных районах в среднем геокриологическом поясе (на абсолютных отметках 600—1000 м). Наледи развиты практически по всей территории зоны БАМ, особенно на подрезаемых склонах. По условиям и интенсивности наледообразования территорию, прилегающую к БАМу, можно разделить на два участка.

К первому относится регион Байкальского рифта (от хребта Байкальского до р. Олекмы), который отличается практически сплошным (исключая долины рек, впадающих в оз. Байкал) распространением на всех высотах довольно мощных (200—300 м и более) многолетнемерзлых пород, закрытыми гидрогеологическими структурами, разгрузкой по тектоническим зонам холодных и термальных вод. Такие условия наиболее благоприятны для применения варьирования трассы как способа противоналедной борьбы, при этом легко осуществляется безналедный пропуск воды под различными сооружениями вследствие ее высокой температуры. Несмотря на принятые меры в отдельных случаях пришлось и на этом участке применить для борьбы с наледями дорогостоящие и глубокие (до 4—5 м) утепленные дренажи.

Второй участок наледообразования территориально охватывает центральную и почти всю восточную части зоны БАМ: от р. Олекмы до хр. Дуссе-Алинь. Участок наиболее сложен по природным условиям наледообразования и, следовательно, по противоналедной борьбе. Здесь пришлось применить весь арсенал известных методов противоналедной борьбы и разработать новые, что существенно повлияло на количество техногенных наледей. Так, вдоль железнодорожной линии Бамовская—Тында—Беркамит наледей оказалось после строительства в несколько раз меньше, чем вдоль Амуро-Якутской автомобильной магистрали, где впервые разрабатывались многие традиционные методы противоналедной борьбы. Такой эффект достигнут прежде всего варьированием трассы при проектировании на различных стадиях, а впоследствии безналедным пропуском воды под мостовыми переходами, а иногда — насыпями, утепленными рамными лотками и дренажами. Успешное применение этих традиционных методов для противоналедной борьбы на участке Бамовская—Тында—Беркамит объясняется благоприятными гидрогеологическими и геоморфологическими предпосылками: большие уклоны местности, способствующие турбулизации потока, а следовательно и переходу части кинетической энергии воды в тепло, большие сосредоточенные расходы источников подземных вод (до 70 л/с), сравнительно высокая их температура (1,5—2 °С).

Довольно сложной оказалась противоналедная борьба в поселках Аносовская, Золотинка, Дипкун, Алонка и в г. Тында. В результате техногенного изменения мерзлотно-гидрогеологических

условий здесь появились многочисленные наледы, дополнительным, а иногда и основным питанием для которых являются бытовые воды: сливы из бань, прачечных, утечка из котельных, водопроводов, нагорных резервуаров, теплосетей, канализационных сетей и т. п.

Весьма дорогостоящим, но эффективным способом противоналедной борьбы в поселках и городах в зоне БАМ являются сопутствующие теплотрассам дренажи. Так, в г. Тында наледы, появившиеся в первоначальный период строительства, исчезали после сооружения проходных каналов, в которых проложены и теплотрассы.

Наиболее сложной оказалась противоналедная борьба на участке Тында—Ургал. Железная дорога на этом участке проходит до ст. Зейск по отрогам Станового хребта, а затем пересекает Верхне-Зейскую и Амуру-Зейскую равнины, Верхнебуреинскую межгорную впадину, хребты Джагды, Туран и их отроги. На низкогорных водораздельных пространствах и перевалах развиты в основном многолетнемерзлые породы с температурой выше минус 0,5—1 °С, мощность которых не превышает 20—30 м. Подмерзлотные воды почти повсеместно обладают криогенным напором и имеют очень низкую температуру (0,2—0,3 °С).

Трасса железной дороги, исключая Верхнезейскую и Амуру-Зейскую равнины, на протяжении 700 км проложена по сложной местности, в основном по склонам долин, пересекает многочисленные перевалы и реки. При обследовании основного хода трассы на стадии технического проекта на участке Тында—Ургал было обнаружено 120 наледных участков, из них 32 на склонах. Варьированием трассы на стадии рабочей документации, а также проектированием и строительством безналедного пропуска под мостами большинство наледей удалось избежать. Однако возникла сложная проблема борьбы с наледями в период строительства и эксплуатации в затяжных выемках с незначительным уклоном, малыми расходами напорных подмерзлотных низкотемпературных (0,2—0,3 °С) вод, которые в зимний период, выходя на путь, быстро замерзают или деформируют основную площадку вместе с рельсо-шпальной решеткой вследствие образования подземных наледей (гидролакколитов) и многочисленных пучин. Для ее решения на разных стадиях строительства и временной эксплуатации железной дороги Тында—Ургал применялись все известные на практике методы противоналедной борьбы: устройство заборов и удерживающих валов, выкалывание и вывозка льда за пределы выемок, прогревы рельс пламенными грелками, отвод воды при помощи канав во льду, покрытие траншей фашинами, бензиновые капельницы, механическая уборка льда бульдозерами, временные сдвиги путей, подъем в несколько рядов шпальных решеток и т. п. Однако все временные мероприятия, как показал опыт эксплуатации участка железнодорожной линии Тында—Дипку—Ижак в зимы с 1979 по 1984 гг., оказались малоэффективными и не позволяли добиться беспрепятственного движения поездов, при-

водили к значительному накоплению льда в выемках и формированию бугров пучения высотой до 5—7 м. Такие широко известные постоянные сооружения, как открытые лотки без источников тепла, быстро заиливались продуктами выветривания с откосов выемок, выпучивались и не пропускали воду.

Таким образом, из традиционно применяемых методов противоналедной борьбы в выемках большой протяженности с разгрузкой низкотемпературных напорных подмерзлотных вод можно применять с высокой степенью надежности только лотки с греющим кабелем. Однако вдоль железнодорожной линии Тынды—Ургал пока не построена продольная ЛЭП. Других источников дешевой энергии не имеется.

В этих условиях были предприняты попытки отыскать новые эффективные способы противоналедной борьбы. Их найдено пока два: глубокое водопонижение скважиной с отводом воды в напорном трубопроводе за пределы воронки депрессии и беструбчатый дренаж.

Способ глубокого водопонижения скважинами впервые был применен успешно зимой 1982—1983 гг. на железнодорожной линии Тынды—Ургал для борьбы с наледями и пучением в выемках большой протяженности (1—1,5 км). Основой способа является искусственное формирование депрессионной воронки подземных вод на расчетную глубину. Происходит осушение поверхностной части горных пород в районе образования наледи при откачке воды из скважины в конце осени — начале зимы. В выемке (или другом инженерном сооружении) прекращается не только процесс наледообразования, но и другие деформации земной поверхности и инженерных сооружений, связанные с высокой влажностью среды, такие как пучение грунтов и основной площадки земляного полотна, перекосы рельсошпальной решетки, рост наледных бугров и т. п. Способ водопонижения заключается в бурении скважин глубиной 50—100 м, расположенных на борту выемки, которые оборудуются погружными насосами типа ЭЦВ. Над каждой скважиной сооружается отапливаемый павильон (3×4,5 м) для размещения герметизированного оголовка скважины, запорной и регулирующей арматуры, устройства для замера воды. Из скважины вода по напорному трубопроводу отводится от выемки в пониженные места рельефа (русло ручья или реки, лог). Автоматическое управление насосным агрегатом осуществляется при помощи системы «Сауна» с датчиком сухого хода, позволяющим включать насос по верхнему заданному уровню. Устройство водопонижающих скважин для борьбы с наледями, применяемое на БАМе, экономичнее и значительно эффективнее традиционных методов. Метод внедрен строительными организациями на БАМе в 1985 г.

Сущность другого нового метода противоналедной борьбы — беструбчатого дренажа заключается в следующем. На расчетных глубинах и расстояниях, безопасных для устойчивости основной площадки и рельсошпальной решетки, производят камуфлектные

взрывы в скважинах. Этим создается сплошная зона повышенной трещиноватости горных пород с заданным уклоном. Вследствие существенно больших скоростей фильтрации подземного потока в окружающем массиве (в десятки раз), она работает как подземному наледообразованию здесь не происходит.

В результате принятых мер наледная опасность на участке Тында—Ургал к настоящему времени практически ликвидирована, что позволяет осуществить сквозное движение.

Много опасений при проектировании линейных сооружений в зоне БАМ возникало в связи с возможным увеличением интенсивности криогенных склоновых процессов: курумов, солифлюкций и др.

Криогенные склоновые процессы широко развиты в зоне БАМ. При этом в западной части зоны преобладают курумы, в восточной — солифлюкционные процессы. В лесном поясе имеются обширные участки древних стабилизированных курумов, которые начинают двигаться при вырубке леса, протаивании мерзлых грунтов, других нарушениях природной среды (например, район г. Тынды, ст. Бестужево и др.). На отдельных участках распространения глинистых грунтов (Алонка—Ургал, Беркамит—Нерюнгри и др.) на стадии изысканий в полосе варьирования трассы отмечались крио-оползни (оползни-спльвы). Ряд принятых мероприятий и проектных решений позволил справиться с опасностью проявления криогенных склоновых процессов. Путем варьирования трассы удалось обойти наиболее опасные участки, на которых могли развиваться подобные процессы. Там, где и варьированием трассы не удалось обойти такие участки, подвижные отложения прорезаны на всю мощность — до скальных грунтов, а для улавливания и механической уборки осыпавшихся отложений предусмотрены двухсторонние траншеи шириной не менее 4 м.

Строительство и эксплуатация дорожных мостов в зоне БАМ осложнились выпучиванием естественных оснований опор, закладываемых в неглубокие котлованы. Такие явления отмечались на мостах Амуро-Якутской автодорожной магистрали (АЯМ), железнодорожных линий Ургал—Известковая, Бамовская—Тында (старая ветка). Поэтому при проектировании и строительстве средних и малых мостов естественные основания применялись лишь в единичных случаях. Основным видом фундаментов для пролетных строений стали мостовые буроопускные столбы большого диаметра, опирающиеся на слабыветрелые и невыветрелые скальные породы с заглублением в них на 2 м и более с последующим замонтированием скважины, столба и горного массива цементным раствором. Такие конструкции мостов позволили в наименьшей степени нарушать мерзлотно-гидрогеологические условия, вести их строительство на отсыпанных из грунтов площадках с организованным пропуском русловых вод. Принятые меры против повышения температуры вечномерзлых грунтов и развития пучения

дали хорошие результаты. На БАМе пока не известно ни одного случая деформаций мостов.

Проектирование и строительство больших мостов с точки зрения несущей способности грунтов в зоне БАМ затруднений не вызвало, так как мощность русловых отложений сравнительно невелика (10—12 м), кора выветривания под ними практически отсутствует, а для береговых опор варьированием трассы специально подбирали участки с наличием скальных грунтов, расположенных вне зон разломов. Этим самым устранялись подвижки мостов при землетрясениях и одновременно исключалось посткриогенное выветривание скальных пород.

Одной из наиболее сложных проблем дорожного строительства в зоне БАМ оказалась проблема проектирования и строительства тоннелей, что связано прежде всего с тектоническими, сейсмическими и гидрогеологическими особенностями этой территории. Очевидно, что тоннели в сейсмически активной зоне, а особенно с наложением суровой мерзлотно-гидрогеологической обстановки, необходимо трассировать с учетом не только экономических соображений, но и возможности самого строительства и эксплуатации таких сооружений. А так как перевалы и долины рек обычно заложены по тектоническим разломам и представляют собой наиболее сейсмически опасные участки, с сильной раздробленностью горных пород и мощной разгрузкой подземных, в том числе термальных вод, то строительство тоннелей под перевалами сопряжено с максимальными трудностями.

Строительство тоннелей под перевалами ведет к существенному их удорожанию, так как связано со сложной технологией, большим увеличением железобетонной рубашки тоннеля, существенным возрастанием сроков строительства. Из-за отсутствия методов прогноза времени и силы землетрясения надежность таких сооружений становится сомнительной. Поэтому в сейсмически активных районах, где даже по общему прогнозу ожидаются постоянные подвижки земной коры, в наиболее мобильных участках — региональных зонах разломов надо или отказаться от тоннелей и заменять их глубокими обходами земполотна или же проходить тоннели в монолитных блоках горных пород. Последнее будет трудно достижимо для тоннелей значительной протяженности.

Несмотря на имеющиеся трудности в строительстве тоннелей в зоне БАМ, все они, за исключением Северо-Муйского, к настоящему времени построены и большинство введено в эксплуатацию. Состояние тоннелей в зоне с балльностью землетрясений даже 8 баллов хорошее в течение ряда лет.

В заключение следует отметить, что строительство автодорог в Забайкалье в целом сталкивается с теми же проблемами, что и при строительстве БАМа. Осложняющими строительство и эксплуатацию дорог факторами являются: пучение грунтов, термокарст, наледи, а в горных районах также лавины, сели, обвалы, осыпи, солифлюкция и др. При этом главное препятствие — мерзлотные процессы.

28.4. Гидротехническое строительство

В Забайкалье протекает 12 крупных рек, включая верхний Амур. Все они могут быть использованы (частично уже используются) для целей гидроэнергетики. Общий гидротехнический потенциал рек Забайкалья составляет более 340 млрд кВт·ч, что превышает 10 % общесоюзного потенциала.

Водный сток рек региона характеризуется неравномерностью внутригодового распределения, что обусловлено широким распространением многолетней мерзлоты и глубоким сезонным промерзанием грунтов, в связи с чем грунтовое питание рек практически отсутствует. В течение зимнего периода питание рек практически не происходит менее 10 %, а по малым рекам всего до 2 % стока воды. Поэтому для обеспечения рационального режима производства электроэнергии на ГЭС требуется искусственно выровнять сток в сезонном и, желательнее, в многолетнем разрезе. Возникает необходимость в создании емких регулирующих водохранилищ, что требует строительства высоких плотин. При возведении каскада гидроэлектростанций на одной реке это условие относится в первую очередь к верхней, регулирующей его ступени. Например, Бурейский гидроузел с плотиной высотой 138 м является регулирующим по отношению к расположенному ниже по течению Нижне-Бурейскому, с плотиной высотой всего 35 м.

По характеру рельефа регион в целом благоприятен для возведения высоких плотин, образующих регулирующие водохранилища, на таких крупных реках, как Витим, Олекма, Зeya, Бурей, пересекающих горные хребты в узких долинах. На участках межгорных впадин берега рек выполаживаются, образуя котловины, удобные для создания водохранилищ. Водоохранилища предназначены не только для регулирования стока рек, но и для аккумуляирования паводкового стока в целях защиты от опустошительных наводнений.

При гидротехническом строительстве в Забайкалье необходимо считаться с высокой сейсмической активностью ряда районов. Наиболее сейсмоактивная морфоструктура — Байкальское сводовое поднятие. Современные методы позволяют строить в районах с сейсмичностью 9 баллов как бетонные плотины, так и плотины из грунтовых материалов. Для этого необходимо чтобы весь комплекс сооружений проектируемого объекта располагался в пределах единого тектонического блока с размерами блока вдоль течения реки не менее 200×800 м (в зависимости от высоты и конструкции подпорного сооружения).

Вторая особенность региона — широкое распространение многолетней мерзлоты. Возникающая в результате отепляющего действия водохранилища деградация мерзлоты может привести к изменению физико-механических показателей основания сооружений пород, вмещающих подземные выработки, а также пород, слагающих ложе водохранилища. В настоящее время разработаны ин-



Рис. 28.1. Схема размещения ГЭС на р. Мамакан:

1 — погребенные участки древней долины, не совпадающие с современной

жеберные решения, позволяющие надежно закрепить породы в случае их оттаивания.

В Забайкалье в настоящее время построены Мамаканская ГЭС на одноименной реке (притоке Витима) и Зейская ГЭС на р. Зее. В стадии строительства находится Бурейская ГЭС на р. Бурея. Ниже приведены краткие сведения о природных обстановках, в которых построены и проектируются некоторые гидроузлы и основные инженерные решения, разработанные для данных природных условий.

Мамаканская ГЭС находится на одноименной реке, примерно в 8 км от г. Бодайбо. Строительство ее было начато в 1956 г. и уже в 1962 г. ГЭС была введена в эксплуатацию на полную мощность. Это первая в СССР крупная ГЭС, построенная в условиях многолетней мерзлоты.

Река Мамакан местами наследует древнюю долину, а местами представляет собой молодой послеледниковый врез в коренные породы (рис. 28.1). Гидроузел размещается в пределах молодого приустьевого вреза, величина которого составляет 60—70 м.

Коренные породы в районе гидроузла представлены метаморфическими слюдяными сланцами и кристаллическими известняками рифея с жилами гранитов мощностью до 4 м. Условия залегания пород благоприятны, так как простирание их перпендикулярно оси плотины. Из тектонических нарушений преобладают сбросы с амплитудой 1—1,5 м. Метаморфические и жильные породы относятся к слаботрещиноватым, с коэффициентом трещинной пустотности от 0,3 до 1,4 %. Выветриванием породы затронуты на глубину до 6 м в бортах и от 1 до 5 м в дне долины. Невыветрелые породы в основании плотины ГЭС характеризуются высокой прочностью (см. гл. 19).

Четвертичные отложения представлены современными аллювиальными отложениями в русле и пойме мощностью от 1 до 5 м, древнеаллювиальными мощностью от 5 до 20 м, делювиальными и пролювиальными образованиями склонов и флювиогляциальными отложениями р. пра-Мамакана мощностью до 70 м.

В районе гидроузла развита многолетняя мерзлота. Глубина залегания многолетнемерзлых пород на левом берегу составляла от 7 до 13 м, на правом изменялась от 10 до 25 м. Мощность многолетнемерзлых пород достигала 27 м, выклиниваясь к руслу. Под руслом р. Мамакан сквозной талик. Глубина сезонного промерзания пород от 2—3 до 5—7 м.

Наличие многолетней мерзлоты на участке плотины практически не ухудшило инженерно-геологических условий строительства, но затруднило устройство цементационной завесы, вызвав необходимость специального размораживания пород в береговых приямках. Малая фильтрационная способность пород под основанием сооружения и в бортах позволила отказаться от глубокой противофильтрационной цементационной завесы для снижения потерь на фильтрацию.

После наполнения водохранилища в 1963 г. началась интенсивная фильтрация из водохранилища в р. Витим на участке древней долины, угрожавшая устойчивости водораздела шириной 500 м. В 1963—1966 гг. было проведено детальное изучение условий фильтрации воды из водохранилища через песчано-гравийные водо-ледниковые отложения, заполняющие погребенную долину р. Мамакан. Проведены стационарные наблюдения за уровнем поверхностных и подземных вод, установлены уклоны поверхности фильтрационного потока. Результаты исследований 1963—1966 гг. показали, что устойчивость водораздела сомнений не вызывает, а расход фильтрационного потока в ледниковых отложениях погребенной долины при полной деградации мерзлоты на водоразделе не превысит 120 л/с, что составит всего 0,07 % от среднего многолетнего расхода воды в реке.

В проекте Мамаканской ГЭС были рассмотрены варианты компоновки гидроузла как с плотинами из грунтовых материалов, так и с бетонными плотинами разных конструкций. Сравнение вариантов показало, что более надежна в эксплуатации, проста в строительстве и экономична — компоновка с бетонной плотиной, так как при значительных сбросных расходах воды и относительно коротком напорном фронте (345 м), все бетонное сооружение используется одновременно для образования подпора, сброса избытков воды из водохранилища и подвода воды к агрегатам гидроэлектростанции. Обследование сооружений Мамаканской ГЭС в 1978 г. показало удовлетворительное их состояние.

Особенность Мамаканской ГЭС — небольшой объем водохранилища, образуемого плотиной высотой 57 м, в связи с чем водохранилище не может обеспечить регулирование стока даже в годичном разрезе. Для ликвидации этого недостатка проектируется выше по течению р. Мамакан строительство регулирующего Тельмамского гидроузла с плотиной высотой около 140 м.

Тельмамская ГЭС будет расположена выше по течению р. Мамакан от действующей ГЭС. Плотина проектируется из грунтовых материалов с асфальтово-бетонной диафрагмой, но возможен вариант суглинистого ядра. Новое водохранилище распространится по долинам р. Мамакан на 54 км и по р. Тельмама на 32 км.

Современная долина р. Мамакан в пределах рассматриваемых участков вложена в древнюю долину. Морфология долины очень сложная, днище ее неровное с перепадами отметок в поперечном сечении до 30 м, узкий тальвег, глубиной от современного уреза до 60 м. Ширина долины составляет 1 км на уровне подпора.

В геолого-структурном отношении район приурочен к северо-восточному крылу Мамаканского купола, сложенного гранитами. Тельмамский гидроузел и большая часть водохранилища находятся в 7-балльной сейсмичной зоне, верхняя часть водохранилища в 8-балльной зоне на границе с Байкальской рифтовой зоной. Строительство ГЭС будет осуществляться в зоне многолетней мерзлоты мощностью до 150 м со сквозными таликами под руслами рек Мамакан и Тельмама.

В связи с наличием в основании и примыканиях плотины водопроницаемых рыхлых отложений и коренных пород, предусматривается противofiltrационная завеса и в бортах перед ее созданием потребуются предварительная оттайка мерзлых пород. Следует предусмотреть дренаж подрусового талика при врезке котлована под плотину.

Максимальный размыл берегов водохранилища прогнозируется до 100 м у плотины и не более 25—30 м на большей части водохранилища. В целом Тельмамский гидроузел проектируется в более сложных природных условиях, чем Мамаканская ГЭС.

Зейская ГЭС — первенец на Дальнем Востоке располагается в «Зейских Воротах», где р. Зей прорезает хр. Тукурингра-Соктахан. Сток реки резко колеблется от почти нуля зимой до 20 000 м³/с в сезон муссонных дождей. Геологическое строение участка характеризуется распространением метаморфизованных пород протерозоя и нижнего палеозоя, осложненных крупным Южно-Тукурингским разломом, проходящим в 1 км от створа плотины. Эти образования прорваны диоритами нижнего палеозоя, на которых расположена Зейская ГЭС.

В створе плотины долина р. Зей имеет вид ущелья с крутыми высокими скалистыми берегами, дно которого почти целиком занято руслом. На высоте гребня плотины ширина долины составляет около 700 м, по дну 300 м. Крутые борта долины и ее коренное ложе сложены крепкими и слабопроницаемыми диоритами, имеющими неглубокую (2—3 м на дне долины, в береговых примыканиях до 10—15 м) зону поверхностного выветривания и маломощный (от 1,5 до 4 м, местами до 20 м) покров рыхлых отложений. Физико-механические свойства диоритов в створе плотины приведены в гл. 24.

В результате сопоставления нескольких вариантов конструкции была принята массивно-контрфорсная бетонная плотина высотой более 100 м, длиной по гребню 700 м, и приплотинное здание ГЭС на 6 турбин. Диагональный тип агрегатов позволил начать эксплуатацию с напора в 40 м, что ускорило ее пуск на год. Плотина образует водохранилище площадью 2419 км², протяженностью до 200 км. Гидроузел расположен на сохранном блоке, фоновая сейсмичность его оценена в 7 баллов с повторяемостью сотрясений раз в 1000 лет. Для борьбы с фильтрацией выполнены 2-х рядная цементная завеса, фронтальный дренаж из разгрузочных скважин и дренажной штольни. Строительство в условиях многолетней мерзлоты массивно-контрфорсной плотины Зейской ГЭС в разрез-

ке ее температурными швами на 43 секции позволило уменьшить объем бетона и ее стоимость.

Гилуийский гидроузел. В 1983 г. начались работы по уточнению схемы гидротехнического использования р. Гилуий — крупного правого притока р. Зен. Участок выбранного створа сложен гнейсами динского сводово-глыбового поднятия, ограниченного разломами, где происходят 7—8-балльные землетрясения. В бассейне р. Гилуий распространены многолетнемерзлые породы мощностью 50—100 м. Встречаются сквозные талики. Повсеместно развиты палеония в сочетании с повышенной сейсмичностью представляют собой осложняющие факторы при проектировании ГЭС.

Бурейская ГЭС сооружается в районе станции Завитая Забайкальской железной дороги. Район строительства приурочен к верхнепалеозойской гранитной интрузии, перекрытой четвертичными отложениями мощностью до 12—15 м. По уровню сейсмичности район ГЭС относится к 6-балльной зоне. На участке створа развита островная мерзлота мощностью 25 м. В период строительства следует ожидать деградации мерзлоты, но учитывая слабую льдистость мерзлых пород, существенных изменений свойств массива в примыканиях плотины не ожидается.

Сооружения гидроузла размещаются в пределах единого тектонического блока. Подземные воды приурочены к трещиноватым гранитам и вместе с водами четвертичных отложений образуют единый безнапорный водоносный горизонт, дренируемый р. Бурей. Глубина залегания уровня подземных вод в гранитах в зависимости от рельефа поверхности изменяется от нескольких метров вблизи реки до 40—50 м в бортах долины.

Скальное основание Бурейского гидроузла характеризуется в целом высокими показателями сопротивления сдвигу и сжимаемости. Одной из важных задач при разработке проекта Бурейской ГЭС был выбор типа основного подпорного сооружения. В результате углубленных проработок была рекомендована к строительству бетонная плотина гравитационного типа высотой 138 м.

Ниже по течению предполагается соорудить Нижне-Бурейскую гидроэлектростанцию, которая будет работать на зарегулированном стоке реки и выравнивать суточную неравномерность расходов воды после Бурейской ГЭС.

Нижне-Бурейская ГЭС намечается в районе г. Нижне-Бурейска. Коренные породы в районе строительства представлены гранитами и гранодиоритами, перекрытыми делювиальным суглинисто-супесчаным плащом мощностью до 10 м, в русле — песчано-гравийными отложениями такой же мощности. Грунты находятся в талом состоянии.

В составе основных сооружений этого гидроузла проектируются: станционный узел, грунтовая плотина высотой до 50 м, длиной по гребню 452 м с противофильтрационной асфальто-бетонной диафрагмой. Здание гидроэлектростанции будет расположено от-

дельно от плотины, где будут установлены 3 вертикальных агрегата по 127 МВт с ежегодной выработкой 1,600 млн кВт. Сопряжение плотины с основанием осуществляется бетонным зубом с цементационной завесой глубиной 10 м. Выше плотины образуется сравнительно небольшое водохранилище протяженностью 80 км, объемом 2 км³. Район строительства расположен в зоне 6-балльных землетрясений.

Подземные воды образуют единый безнапорный горизонт. Высокое положение зеркала подземных вод на водоразделах между Буреей и ее притоками гарантирует отсутствие утечек воды в соседние долины. Строительство Нижне-Бурейской ГЭС не представляет значительных трудностей и к нему можно приступить по завершению строительства Бурейской ГЭС.

Кроме перечисленных, на разных стадиях проектирования находится ГЭС на других реках, в том числе каскад ГЭС на р. Витим.

Мокский гидроузел мощностью 2 млн кВт проектируется на р. Витим в 28 км к югу от трассы БАМ с расчетной сейсмичностью 9 баллов (рис. 28.2).

Участок ГЭС расположен на восточном крыле синклинали субмеридионального простирания, сложенной гнейсами, кристаллическими сланцами, моноклинально падающими на запад под крутыми углами (70—90°). Четвертичные отложения имеют незначительное распространение и небольшую мощность (2—13 м). Участок гидроузла располагается в области распространения многолетнемерзлых пород со сквозным таликом под руслом р. Витим и инфильтрационно-радиационным таликом в нижней части правобережного склона. Мощность многолетнемерзлых пород вблизи русла составляет 60—70 м и увеличивается до 160—200 м в глубь склона.

На участке строительства выделяют воды сезонноталого слоя и воды сквозного подруслового талика. В зоне разуплотненных сильноводопроницаемых пород в русле и бортах долины (после их оттаивания) целесообразно сделать цементационную завесу. Не исключено, что деривационные напорные тоннели местами пройдут нижнюю границу мерзлой толщи и тогда вскроют напорные подмерзлотные воды, что затруднит проходку выработок. На конструкцию бетонной плотины могут влиять неоднородность мерзлотнотемпературных условий по длине сооружений (разные температуры левобережного и правобережного примыканий), руслового талика и проявления на этих участках разнообразных процессов (обвалы, осыпи, пучение, солифлюкция). Район гидроузла опасен также в отношении проявления лавин и селей.

Исходя из сложности инженерно-геологических условий были выбраны две конкурирующие компоновки основных сооружений: с бетонной гравитационной и взрыво-набросной плотиной с напором 140 м при максимальной строительной высоте 160 м. В качестве противофильтрационного элемента плотины рассматриваются диафрагмы из асфальто-бетона или металла. Предполагается, что диафрагма будет сопрягаться с основанием железобетонной гал-

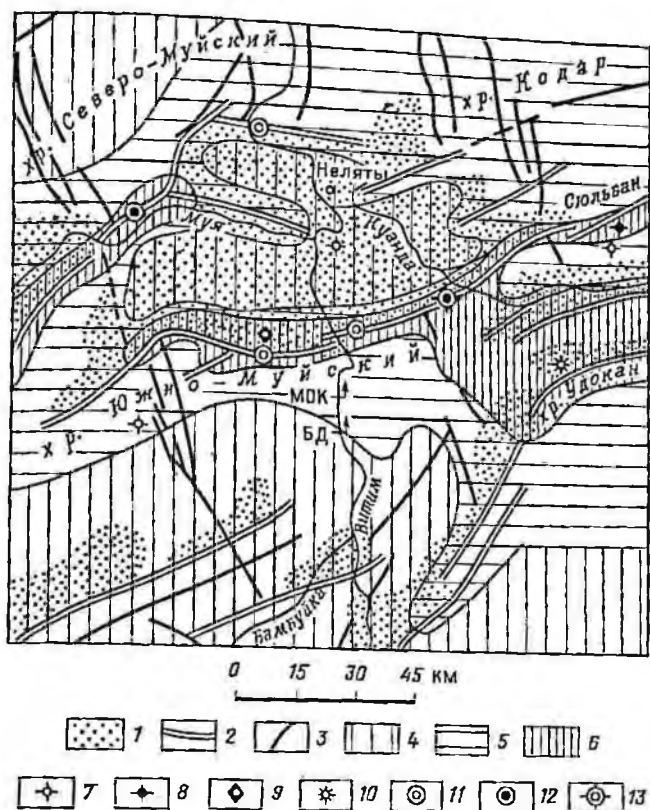


Рис. 28.2. Схема сейсмотектоники района Мокской ГЭС (по В. П. Солоненко [76]):

1 — впадины; 2 — рифтогенные сейсмоактивные разломы; 3 — прочие разломы, активные в кайнозой; 4—6 — сейсмические зоны с интенсивностью землетрясений соответственно 8—10 баллов; 7—10 — эпицентры землетрясений соответственно 6, 7, 8 и 10—11 баллов; 11—13 — эпицентры землетрясений по палеосейсмологическим данным соответственно 9, 10 и 10—11 баллов. МОК и БД — Мокшский и Болдыревский створы ГЭС

лерей и цементационной завесы в скальном массиве после его гд-рооттайки. Здание ГЭС проектируется соответственно береговым или приплотинным с установкой 5 агрегатов мощностью до 300 тыс. кВт с ежегодной выработкой электроэнергии 6,3—7 млрд кВт. Водоохранилище Мокской ГЭС проектируется протяженностью 266 км и может осуществлять любые виды регулирования расходов р. Витим при полном объеме 50 км³ и полезном 26 км³. Мокская ГЭС будет иметь решающее значение для строительства трех нижераположенных: Каралонской, Амалыкской и Бодайбинской ГЭС. Суммарная мощность Витимского каскада ГЭС составит 4,5 млн кВт при выработке 31,5—32 млрд кВт дешевой энергии в год.

В схеме использования водных ресурсов Забайкалья предусматривается строительство еще двух ГЭС на р. Олекме. Порожистый участок реки ниже устья р. Нюкжи оказался перспективным и там намечается два гидроузла: регулирующий Олекминский и работающий на зарегулированном стоке — Кирехтэхская ГЭС. Предполагается р. Олекму перекрыть каменно-набросной плотиной высотой 200 м при длине 1150 м. Установленная мощность 2 млн кВт, которая будет вырабатываться 6 агрегатами по 333 МВт. После сооружения Олекминской ГЭС может быть создана Кирехтэхская мощностью 400 МВт. В целом может быть создан крупный энергетический узел с энергоотдачей 12 млрд кВт в год.

ГЛАВА 29

ПРОГНОЗ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ, ПРОБЛЕМЫ ЕЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ В СВЯЗИ С ДАЛЬНЕЙШИМ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНА

В связи с планами хозяйственного освоения Забайкалья техногенное воздействие человека на природу в регионе с каждым годом будет усиливаться. Это может иметь и негативные последствия, поскольку природа Забайкалья исключительно уязвима, медленно регенерирует, а в некоторых случаях процессы разрушения природных комплексов могут приобрести необратимый характер и существенно ухудшить экологические условия территории. Возникает необходимость прогнозирования изменений природной среды и важнейшего ее компонента — геологической среды в результате техногенного воздействия и разработки надежных рекомендаций по предотвращению или снижению негативных последствий этого воздействия.

29.1. Региональные тенденции изменения геологической среды в ходе хозяйственного освоения территории

Осуществление любого вида инженерно-хозяйственной деятельности всегда сопровождается изменением сложившегося в природе равновесия. Нарушение этого равновесия с неизбежностью сказывается прежде всего на изменении характера или активности современных экзогенных геологических процессов. Е. М. Сергеев указывал, что они (геологические процессы) являются своеобразным фокусом, отражающим другие элементы инженерно-геологических условий территории. Активизация отдельных видов или парагенетических групп экзогенных процессов на той или иной территории — прямое или косвенное следствие изменения состава или состояния горных пород.

Для любого вида техногенного воздействия неизбежны такие виды нарушения природной целостности как вырубка леса, снятие

почвенно-растительного покрова, выемка или замена состава рыхлых отложений и т. п. Однако в зависимости от вида производственной деятельности возникают и специфические нарушения геотехнической среды, и, соответственно, требуются особые мероприятия по предотвращению их вредного влияния. Рассмотрение видов возможного воздействия позволит давать прогноз и оценку возможных изменений инженерно-геологических условий и планировать природоохранные мероприятия.

Дорожное строительство. Изменение геологической среды обычно начинается со строительства дорог, представляющего собой первый этап хозяйственного освоения территории. Поскольку автомобильные и железные дороги — линейные сооружения, простирающиеся на сотни и тысячи километров, их воздействие на геологическую среду весьма значительно. Нарушения природных условий при строительстве и эксплуатации дорог многообразны. Основные из них сводятся к уничтожению древесной растительности и напочвенных покровов, вертикальной планировке местности (отсыпка и снятие грунта), разработке придорожных карьеров, изменению характера снегонакопления (снятие или уплотнение снежного покрова), осушению или заболачиванию территорий и др.

Изменения в геологической среде при сооружении земляного полотна дорог выражаются прежде всего в местном изменении рельефа в результате устройства насыпей и выемок. Подрезка склонов выемками и полувыемками нарушает их устойчивость, вызывает развитие оползней, что в особенно крупных масштабах проявилось по южному побережью оз. Байкал между железнодорожными станциями Мысовая и Мурино (см. гл. 18).

Особенный ущерб геологической среде наносится в районах с многолетнемерзлыми грунтами. Выемки вскрывают мерзлые породы и пересекают потоки вод сезонного слоя, меняют движение подмерзлотных вод; насыпи превращаются в своеобразные плотны, нарушающие естественный поверхностный сток, в результате чего происходит скопление воды с нагорной стороны насыпей. Все это приводит к протаиванию расположенных под земляным полотном многолетнемерзлых грунтов, начинают возникать и активизироваться термокарст, термоэрозия, солифлюкция, наледи, пучение и т. д., что в свою очередь приводит к деформации земляного полотна и нарушению его устойчивости. В частности, на участке БАМа в междуречье Унаха—Брянта глубокими выемками были вскрыты напорные воды, что привело к формированию наледей, существенно осложнивших условия эксплуатации дороги (см. разд. 28.3).

Строительство дорог в горных районах сопряжено с перемещением больших объемов грунтов. Подрезка склонов при устройстве выемок, их перегрузка при возведении насыпей изменяют напряженное состояние пород, что может привести к возникновению обвалов, оползней, оселей, лавин, селей, подвижки курумов и т. п. Это прежде всего будет сказываться на устойчивости и эксплуа-

тационных качествах самой дороги. Например, автомобильная дорога Улюхан—Кумора протяженностью 200 км, построенная в 1977 г. через Северо-Муйский хребт без достаточного учета природных условий этой территории, в течение одного года на многих участках была разрушена эрозионными, термокарстовыми и оползневыми процессами, мостовые переходы снесены или отеснены от речных русел селевыми выносами. В настоящее время дорога не используется.

Влияние дорог на изменения в геологической среде не исчерпывается описанными выше воздействиями. Значительную опасность представляет также загрязнение прилегающей местности отработанными выхлопными газами автомобилей, в состав которых входит около 200 различных компонентов, в том числе токсичные вещества. Загрязняя прилегающую местность, они быстро растворяются, проникают в грунт, поверхностные и подземные воды. На территориях, прилегающих к железным дорогам, по которым перевозится уголь, в частности на Малом БАМе, угольная пыль зачерняет снежный покров, снижает альбедо в 2—3 раза, увеличивает поглощение солнечной радиации, ускоряя сход снега, что влечет за собой более глубокий прогрев почвенного покрова, возрастание глубины сезонного протавнения, а в некоторых случаях и деградацию многолетней мерзлоты.

В связи с расширением сети автомобильных и железных дорог в Забайкалье в предстоящий период, особенно в северных его районах, техногенная нагрузка на геологическую среду будет усиливаться.

Гражданское и промышленное строительство. В Забайкалье в настоящее время насчитывается более 3 тыс. населенных пунктов, среди которых также крупные города как Улан-Удэ, Чита, Благовещенск и др. Строительство БАМа предопределило возникновение и бурный рост новых городов — Северобайкальска, Тынды, Ургала и более 50 прирассовых поселков. В городах ведется многоотраслевое хозяйство и представлены самые разнообразные виды инженерной деятельности человека. С этим связано разнообразие воздействий и изменений геологической среды.

Застройка городской территории нарушает нормальный теплообмен между атмосферой и литосферой, затрудняет испарение, ведет к увеличению влажности грунтов, подъему уровня грунтовых вод и подтоплению городских территорий. Значительные изменения инженерно-геологических условий происходят в результате изменения состояния литогенной основы. Изменения литогенной основы проявляются в результате механического воздействия (вибрации при забивке свай, движении транспорта, выемки и замены грунтов, нагрузки от зданий и сооружений), физического (термического, радиационного, электрического) и химического воздействий на субстрат. Эти воздействия влияют на структуру и состояние массивов горных пород, вызывают оползни, эрозионные и суффозионные процессы, засоление грунтов, коррозию металлических и бетонных конструкций и т. п.

Строительству на многолетнемерзлых грунтах сопутствуют многие нежелательные процессы, связанные главным образом с изменением температурного режима грунтов, их состояния и глубины сезонного оттаивания. Практика проектирования и строительства в условиях Забайкалья показывает, что недостаточный учет мерзлотных явлений приводит к деформациям и разрушению зданий и инженерных систем. Существенные изменения на застроенных территориях происходят в составляющих теплового баланса, прежде всего, в уменьшении потерь тепла на испарение. Большей частью в температурном режиме пород происходят непосредственно под сооружениями. Неотапливаемые сооружения, поступающее поступление солнечной радиации, создают затенение, уменьшающее поступление среднегодовой температуры пород, вплоть до образования многолетнемерзлых пород. Под зданиями и коммуникациями, выделяющими тепло, температура мерзлых пород повышается, образуются талики и ореолы протаивания, что влечет за собой развитие термокарста, осадку оттаивающих грунтов, деформацию зданий, а в некоторых случаях их разрушение.

Деформации зданий и сооружений происходят также из-за морозного пучения грунтов, главной причиной возникновения которых является их влажность. Возрастание влажности грунтов в пределах города происходит из-за утечек воды из инженерных коммуникаций.

Утечки воды из систем отопления, канализации и водоснабжения приводят к интенсивному протаиванию многолетнемерзлых пород и в ряде случаев приводили не только к разрушению самих коммуникаций, но и других зданий и сооружений (например, ст. Могол, разъезд Болен и др.).

Городские территории характеризуются геохимической спецификой. В них отмечается химическое загрязнение почв, поверхностных и подземных вод. Так, в г. Ургале с 1974 по 1981 г. содержание сульфатов в первом (надмерзлотном) водоносном горизонте повысилось в 10 раз, а хлоридов — в 17 раз [30]. В приречных зонах, где расположены основные водозаборы, чистота подземных вод во многом зависит от чистоты рек и озер. Однако очистные сооружения городов Забайкалья работают, как правило, с большой перегрузкой и часто сбрасывают слабо очищенные стоки, что приводит к загрязнению как поверхностных, так и грунтовых вод. По данным Читинской санэпидемстанции, только в р. Ингоду ежедневно сбрасывается 10 т взвешенных веществ, 11 т органических, 95—100 кг хрома, 2,8 т аммиака. Аналогичная ситуация наблюдается на реках Аргунь, Шилка, Селенга и других, где в местах сброса сточных вод скапливаются такие вещества как фенолы, нефтепродукты, ионы тяжелых металлов в концентрациях, превышающих предельно допустимые нормы.

С ростом промышленных городов и поселков расширяются зоны влияния их на окружающую среду, возрастает химическое загрязнение поверхностных и подземных вод. Влияние сброса сточ-

ных городских вод прослеживается на расстояние до 150 км вниз по течению реки. Значительному загрязнению подвергаются реки бассейна оз. Байкал. Многочисленные предприятия и жилмассивы г. Улан-Удэ продолжают загрязнять р. Селенгу, несущую свои воды в оз. Байкал.

В последние годы проблема охраны оз. Байкал становится все более актуальной. Несмотря на принятые на правительственном уровне постановления об охране оз. Байкал, построенные в его водосборной зоне промышленные предприятия (Байкальский ЦБК и Селенгинский ЦКК) продолжают сбрасывать полуочищенные стоки в озеро и р. Селенгу. Допускается загрязнение рек и Байкала хозяйственными отходами, нефтепродуктами. Повышенные концентрации нефтепродуктов, фенолов, некоторых тяжелых металлов и взвешенных веществ отмечаются и в северной части озера, что связано с возросшей хозяйственной деятельностью в зоне БАМа.

Таким образом, городские территории очень активно воздействуют не только на свою внутреннюю геологическую среду, но и на прилегающее к нему природное окружение. Под влиянием техногенного воздействия геологическая среда в городах очень сильно, иногда коренным образом изменяется. При этом наиболее существенно изменяются мерзлотно-гидрогеологические и геохимические условия.

Горнодобывающая промышленность. Добыча и первичная переработка минерального сырья — главная отрасль хозяйства Забайкалья, имеющая общесоюзное значение. Этот регион и в дальнейшем будет давать значительную часть редких и драгоценных металлов. Предстоит реконструкция и расширение существующих рудников и обогатительных фабрик. В ближайшее время должно быть закончено строительство Жирекенского и Орловского, а в последующие годы — крупного Озерного горнообогатительных комбинатов.

Большие перспективы для добычи медных руд открываются на Удоканском месторождении, которое в ближайшие десятилетия станет основным поставщиком меди. Дальнейшее и опережающее развитие получит топливно-энергетический комплекс, возрастет добыча угля на Харанорском и Гусиноозерском месторождениях. В ближайшее время начнется освоение Тугнуйского месторождения и ряда бурогольных месторождений в Амурской области (Ерковецкого, Свободненского, Тыгдинского).

С добычей полезных ископаемых связаны такие изменения геологической среды как преобразование рельефа, нарушение напряженного состояния массивов горных пород, понижение уровня подземных вод при водоотливе, загрязнение поверхностных и подземных вод, которые проявляются практически во всех горнодобывающих районах [61]. К этим главным видам влияния добычи полезных ископаемых на окружающую среду следует добавить множество других: отвалы пород вокруг шахт и карьеров, пожары в шахтах и отвалах, переотложение и седиментация разрабатываемых горных пород поверхностными водами и др.

Структуры нарушенных земель Забайкалья и Верхнего Приамурья Таблица 29.1

Объединение	Площадь нарушенных земель, га							Общая
	Карьеры (разрезы)	Внутренние отвалы открытых разработок	Внешние отвалы открытых разработок	Отвалы подземных разработок	Прочие дражные отвалы	При строительстве линейных и других сооружений	Деформации поверхности над шахтами	
ПО «Лензолото»	3,3	2 643,5	—	—	3069,7	498,6	—	6 215,1
ПО «Забайкалзолото»	1655,7	7 628,2	315,9	13,0	343,7	194,3	34,1	10 184,9
ПО «Амурзолото»	1147,5	6 533,1	—	—	—	—	—	7 680,6
Итого по региону:	2806,5	16 804,8	315,9	13,0	3413,4	692,9	34,1	24 080,6

Производственная деятельность горнодобывающей промышленности связана, прежде всего, с неизменным нарушением земной поверхности, что наглядно проявляется при открытом способе добычи угля. Каждый миллион тонн добычи угля этим способом влечет за собой в среднем 7,5 га нарушенных земель [97]. Значительные нарушения земной поверхности происходят при разработке россыпных месторождений дражным и гидромеханизированным способами. По материалам инвентаризации, проведенной институтом ГОСГИПРОзем, площадь нарушенных земель по основным золотодобывающим районам Забайкалья составила свыше 150 тыс. га и продолжает возрастать. Масштабы нарушения земель при разработке месторождений полезных ископаемых представлены в табл. 29.1.

При разработке месторождений полезных ископаемых происходит нарушение теплового режима вмещающих пород. Наиболее ощутимо это проявляется при разработке россыпных месторождений, где с целью повышения эффективности добычи осуществляют специальные мероприятия по оттаиванию мерзлых пород. После отработки месторождения драгами происходит дальнейшее расширение зоны оттаивания, сопровождаемое процессами термокарста, термоэрозии, солифлюкции, оползнями и т. п.

Значительные изменения температурного режима горных пород происходят в контурах шахтных полей, карьеров и отвалов. Так, на Харанорском месторождении многолетнемерзлые породы в 50-е годы занимали до 40 % площади мощностью от 3—8 до 25 м. В 1981 г. было установлено [78], что многолетнемерзлые породы на данной территории отсутствуют, за исключением отдельных линз в краевых частях месторождения. Разработка угля открытым способом способствовала осушению пород на глубину 40—50 м и

созданию мощной зоны аэрации. Вследствие этого начался процесс активного окисления углей с повышением их температуры до 26 °С, что вызвало протаивание вышележащих мерзлых пород.

На месторождениях, разрабатываемых открытым способом при вскрытии угольных пластов нередко происходят подземные пожары, в результате чего оттаивание мерзлых пород происходит особенно интенсивно. Оттаивание многолетней мерзлоты происходит также в результате отепляющего влияния водоемов, образующихся при затоплении карьеров подземными и поверхностными водами.

Деградация мерзлоты в пределах шахтных полей в период эксплуатации связана с отеплением вентиляцией и значительными потоками тепла из подмерзлотных водоносных горизонтов, вскрываемых повсеместно горными выработками. Постоянный шахтный водоотлив обуславливает усиленную циркуляцию воды в водоносных горизонтах, тем самым увеличивая их отепляющее воздействие.

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым или подземным способами требует большого объема осушительных работ, что приводит к значительному изменению режима и уровней подземных вод. Она вызывает образование депрессионных воронок площадью до нескольких сот квадратных километров, ухудшение водного баланса крупных территорий, значительные перемены в гидродинамической, гидрохимической и температурной обстановке подземных вод [61].

При подземных разработках неизбежно проявление горного давления, разуплотнение массива, образование заколов, обрушения пород в выработках. Применяемые системы разработки с открытым очистным пространством со временем приводят к сдвигению горных пород, образованию мульд, провалов земной поверхности и т. п. (см. разд. 28.2). Широкое применение буровзрывных работ является причиной повышения трещиноватости вмещающих пород, разуплотнения массива и соответственно изменения гидрогеологических условий.

Дальнейшее развитие горнодобывающей промышленности в регионе повлечет за собой глубокие качественные изменения природных условий на больших площадях. Особенно существенно повлияют на геологическую среду такие крупные горные предприятия как Озерный и намечаемый к освоению Удоканский горнообогатительные комбинаты. Ввод в строй этих предприятий повлечет за собой перестройку гравитационного, температурного, гидрохимического и других полей, далеко выходящих за границы месторождений, в результате чего будут формироваться новые инженерно-геологические условия шахтных и карьерных полей и примыкающих к ним территорий.

Гидротехническое строительство. Значительное влияние на геологическую среду оказывает строительство гидротехнических сооружений. Отрицательное воздействие гидротехнических сооруже-

ний связано прежде всего с большими площадями затопления земель. В результате создания только Зейского водохранилища изъято 2419 км² земель.

С созданием водохранилища резко нарушилось относительное равновесие, установившееся в природе, и началось бурное развитие таких процессов, как переформирование берегов, повышение уровня грунтовых вод, всплывание торфяников и невырубленного леса, изменение климата. Величина зоны переработки берегов Зейского водохранилища за первые десять лет составила 20—30 м, а за 50 лет — достигнет 40—60 м. На западном берегу водохранилища термоабразия развивается со скоростью 2—5 м/год и через некоторое время приблизит берега к инженерным сооружениям БАМа.

На всем протяжении водохранилища изменилась гидрогеологическая обстановка, деградирует многолетняя мерзлота, в днише его формируется сквозной талик, происходит подтопление территории, прогрессирующее заболачивание [58]. В пределах хребта Тукурингра в бортах водохранилища активизировались обвальные и осыпные процессы, оползни, движение курумов и т. п.

Возведение крупных гидротехнических сооружений, таких как Зейского и проектируемого на р. Витим Мокского, существенно изменяет сейсмологическую обстановку в сейсмически активных Байкальском и Тукурингра-Джагдинском регионах. Крупные водохранилища вызывают прогибание их дна и могут вызвать возбужденные землетрясения.

Сельскохозяйственное производство. На юге Забайкалья сосредоточена значительная доля сельскохозяйственных угодий страны, из них почти 90 % находится в степной и лесостепной зонах. Под пастбищами и сенокосами занято около 70 % земель хозяйственного пользования, под пашней — до 30 %. При этом в структуре сельхозугодий наблюдается смещение в сторону увеличения пашни.

Степи Забайкалья испытывают недостаток влаги, особенно весной и в начале лета, подвергаются воздействию периодических засух и ветровой эрозии. С летними ливневыми осадками связано развитие водной эрозии. По данным Института географии Сибири и Дальнего Востока, в течение только одного сезона со склонов сносится от 1 до 4,6 мм почвы. Из 2,3 млн га пахотных угодий юго-восточного Забайкалья ветровой и водной эрозии подвержено 940,4 тыс. га или 48 % площади.

Отрицательное влияние природных факторов усиливается хозяйственной деятельностью человека. Это проявляется в традиционном подходе к способам обработки почвы при господстве склонового земледелия, перегрузке склоновых пастбищ, вырубке и распашке облесенных и закустаренных склонов и т. п. Установлено, что в результате несоблюдения противоэрозионных мер при обработке почв ливнем в течение суток смыв гумусового горизонта достигал 17—24 см. Водная и ветровая эрозия почв с каждым годом

все возрастает и выводит из сельскохозяйственного использования значительные площади земель. За последние годы только в Читинской области списано более 5 тыс. га пашни. Активное развитие ветровой и водной эрозии почв наблюдается также в хозяйственно освоенных районах Бурятской АССР и Амурской области.

С ростом сельскохозяйственного освоения земель увеличивается загрязнение почв, поверхностных и подземных вод. Основные источники загрязнения — стоки животноводческих ферм, минеральные удобрения и ядохимикаты, отходы горючесмазочных материалов. Наиболее опасны для почв, поверхностных и подземных вод, вносимые на поля минеральные удобрения, представляющие собой площадные источники нитратного загрязнения. Под угрозой загрязнения нитратами находятся первые от поверхности водоносные горизонты, площади распространения которых заняты сельскохозяйственными угодьями. Значительному загрязнению подвергаются малые реки, на берегах которых строят склады минеральных удобрений и ядохимикатов, размещают стоянки скота, бурты навоза, склады горючесмазочных материалов и т. п. Опасность загрязнения окружающей среды возрастает в результате формирования крупных животноводческих комплексов. Основными источниками загрязнения будут выступать свиноводческие фермы и птицефабрики. Неполная и неправильная утилизация отходов этих предприятий может вызвать существенное загрязнение почв, водоемов и подземных вод. Опасность загрязнения природной среды возрастает в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства, развитием агропромышленных комплексов, мелнорацией земель, увеличением доз минеральных удобрений, расширением животноводческих ферм.



Анализ рассмотренных видов производственной деятельности показывает насколько велико и разнообразно их влияние на природную среду в целом и геологическую среду в частности. При этом основными тенденциями изменения геологической среды при всех видах производственной деятельности и на всех этапах освоения территории будут: глубокая перестройка гравитационного, геохимического и температурного полей на участках освоения, деградация многолетней мерзлоты в результате нарушения теплообмена и под влиянием сбрасываемых бытовых и промышленных вод, особенно с высокими температурами; изменение динамики экзогенных геологических процессов; загрязнение почвенного покрова пестицидами, тяжелыми металлами и нефтепродуктами, увеличение загрязнения поверхностных и подземных вод. В связи с этим важнейшей становится проблема регулирования воздействия человека на природу и влияния природной среды на результаты хозяйственной деятельности людей.

29.2. Основные проблемы рационального использования и охраны геологической среды

Под рациональным использованием геологической среды следует понимать такое ее использование, когда при наименьших затратах и минимальных нарушениях естественных условий будет достигнут наибольший экономический эффект.

Основными принципами рационального использования и охраны геологической среды являются: ограничение общих техногенных нагрузок на геологическую среду; максимальная утилизация различных отходов; комплексная переработка полезных ископаемых; применение безотходных и малоотходных технологий, строительство очистных сооружений к моменту пуска предприятий; своевременная рекультивация и использование нарушенных земель и подземного пространства.

Учет особенностей природных условий Забайкалья и отдельных его регионов имеет важнейшее значение для рационального освоения его ресурсов.

Негативное влияние на геологическую среду отдельных сооружений может быть уменьшено путем изменения их местоположения, основанного на выборе оптимальных в инженерно-геологическом отношении участков для размещения объектов строительства. Это относится прежде всего к линейному строительству, а также к размещению населенных пунктов, объектов теплотехники, перерабатывающей промышленности и т. д. Как отмечалось в разд. 28.3, при строительстве БАМа удалось избежать многих негативных последствий нарушения природной среды благодаря варьированию трассы и выбору оптимального ее направления. Наиболее благоприятны по инженерно-геологическим условиям для размещения трасс равнинные участки речных террас и водоразделов, дренированные склоны долин с падением пород в глубь склонов и южные склоны, где отсутствуют надмерзлотные воды. В районах распространения многолетнемерзлых пород вертикальную планировку лучше осуществлять подсыпкой (см. разд. 28.3). Срезка грунтов, устройство выемок и подрезка склонов должны применяться в исключительных случаях.

В период строительства и последующей эксплуатации дороги нельзя допускать образования застойной воды возле насыпей, в дренажной системе. Следует избегать проложения трассы на участках, где ожидается появление наледей в период строительства. К ним относятся косогоры, имеющие выходы или неглубокое залегание грунтовых вод, участки водотоков с перекатами и породами, конусы выноса и т. п. Выбор трассы, установление продольного профиля дороги, выбор типов и профилей земляного полотна, устройство водоотводов и других искусственных сооружений — все это должно быть направлено на максимальное сохранение сложившихся до строительства природных условий или на изменение их в таком направлении, которое в наибольшей степени будет благоприятствовать устойчивости сооружения.

Опыт строительства и эксплуатации промышленных и гражданских сооружений в Забайкалье показывает, что подавляющее число их деформаций происходит из-за изменения мерзлотно-гидрогеологических условий, приводящих к развитию пучения и просадок в зоне влияния сооружений. Для устранения этих явлений при строительстве зданий стали применять отмостки с теплоизоляционными подушками у северной или южной стен здания, затенение поверхности грунта у стен южной экспозиции путем высаживания зеленых насаждений, устройством веранд, козырьков и т. п. Желательный эффект достигался за счет использования теплоизолирующих отмосток из шлака или подобного ему материала. Для увеличения глубины промерзания грунта у южной стены, его поверхность покрывают слоем светлого материала с высоким значением альбедо, а для уменьшения глубины промерзания, наоборот, — темным материалом с низким значением альбедо. Выравнивание глубины сезонного промерзания — протаивания грунта — обеспечивается также меридиональной ориентацией здания на склонах южной экспозиции.

Особенно сложным является строительство в районах многолетнемерзлых пород тепловыделяющих зданий и сооружений и, прежде всего, коммуникаций различного назначения. Подземная прокладка сетей водоснабжения, канализации, теплоснабжения в условиях многолетней мерзлоты должна быть исключена. Наиболее приемлема надземная прокладка коммуникаций с изоляцией и опиранием коллектора на железобетонные подставки или опоры из насыпных крупнообломочных грунтов. Крупнообломочные грунты, расположенные выше дневной поверхности, оказывают охлаждающее воздействие на подстилающие грунты и предохраняют их от протаивания, а коммуникации от деформаций. Вышеуказанные проектные решения оказались эффективными в г. Тында и пос. Дипкун, на линиях ЛЭП и связи вдоль всего БАМа.

На основании приведенных в разд. 28.1 примеров можно утверждать, что добиться устойчивого состояния сооружений на мерзлых породах в условиях Забайкалья с учетом рационального использования и охраны природной среды можно как при строительстве по первому принципу с сохранением многолетней мерзлоты, так и по второму принципу с предварительным оттаиванием основания, хотя и в том и в другом случаях деформации сооружений все же происходят. Анализ причин повреждений зданий показывает, что из-за нарушения режима их эксплуатации деформировалось около 30 % зданий [46]. В этой связи особое значение приобретают вопросы правильной эксплуатации зданий и сооружений. Особенно важно соблюдать правила эксплуатации зданий, построенных по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов основания. Однако при утечках воды из коммуникаций, а это повсеместно распространенное явление, вследствие которого развиваются термокарсты, наледи, пучения грунтов и т. п., обеспечить устойчивость зданий и сооружений почти невозможно. Никакие мероприятия пока не останавливают их разрушения вследствие

общей экологической неграмотности населения (в том числе строителей). По мнению Ю. М. Мосенкиса [46], крайне желательным было бы издание специальной инструкции по эксплуатации зданий и сооружений, построенных по разным принципам использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований, где помимо правил эксплуатации зданий, содержались бы рекомендации по ремонтно-восстановительным работам для характерных случаев в зависимости от степени деформаций.

Значительное воздействие на геологическую среду оказывает горнодобывающая промышленность, в частности, открытые горные работы.

При разработке металлоносных россыпей в земельный отвод включаются: площади, подлежащие разработке месторождения в пределах границ балансовых запасов, площади под складирование пород вскрыши, берма, зона затопления и транспортные пути и другие объекты. Проведенные исследования, транспортные пути и пересчет по трем земельным отводам «Лензолото» показали, что испрашиваемые только под горноподготовительные работы площади завышены в 3 раза, а в целом по земельным отводам на 61—82%. Из этого следует, что существует возможность уменьшения величины земельного отвода за счет рационального использования площади земель под отвалы вскрыши и уменьшения величины берм.

В районах, где ведутся дражные и гидромеханизированные разработки россыпей, загрязнению подвергаются реки, ручьи и озера. Предпринимаются поиски способов снижения загрязнения рек от механических примесей сточных вод. Читинским политехническим институтом предложены различные коагулянты для очистки сточных вод, а также разработаны новые способы эксплуатации россыпных месторождений, позволяющие значительно снизить загрязненность вод. На большинстве месторождений в настоящее время драги и гидромеханизированные установки работают по замкнутому циклу, т. е. на оборотном водоснабжении. Нашли применение различные способы уменьшения фильтрации через тело земляных плотин, при помощи которых устраняется замкнутый цикл.

На полигонах, где драги заканчивают отработку балансовых запасов, встает вопрос о рекультивации земель. Рекультивация нарушенных горными работами земель — одно из мероприятий, снижающих отрицательное влияние на геологическую среду. В настоящее время вопросам рекультивации земель уделяется все большее внимание в деятельности горнодобывающих предприятий. На основе исследований, выполненных в ПО «Лензолото» и «Амурзолото», разработаны и внедрены технологические схемы рекультивации нарушенных земель при разработке россыпей [53].

Опыт повторной, а в отдельных случаях многократной разработки дражных отвалов на Ленских и других приисках показал, что россыпи, сложенные песками слабой промываемости или глинистые, имеют промышленное содержание металла и подлежат повторной отработке. Поэтому работы по рекультивации земель

должны проводиться в выборочном порядке после обстоятельной разведки и проведения опытных работ по повторной разработке на отдельных площадях.

Для обеспечения полноты извлечения металла из россыпи рекомендуется:

производить более качественную подготовку полигона (оттайку мерзлоты) и полную выемку россыпи, т. е. обработку ее с максимальной глубиной черпания;

осуществлять обработку запасов в широких участках долины поперечными ходами — от борта до борта;

использовать соответствующие реагенты-диспергаторы для разупрочнения глинистой примазки с целью повышения извлечения металла из глинистых песков.

При проектировании мероприятий по рациональному использованию геологической среды при разработке месторождений карьерным способом требуется прежде всего учет текущей и перспективной ценности земель, планируемых под земельный отвод. При этом важнейшая задача при вскрытии полезного ископаемого — сохранение (складирование) плодородного слоя почвы для его использования при последующей рекультивации земли.

В практике обработки месторождений карьерным способом намечались и частично реализуются следующие направления по рациональному использованию геологической среды.

1. Уменьшение площадей земельного отвода под внешние отвалы за счет повышения их удельной землеемкости — увеличение высоты отвала (многоярусное отвалообразование).

2. Использование под отвалы неудобных и малоценных земель, а также зон нарушений на дневной поверхности при комбинированном — карьерном и подземном способах разработки.

3. Переход на внутреннее отвалообразование при открытом способе разработки или использование под отвалы отработанных карьеров.

4. Использование вскрышных пород для нужд народного хозяйства в качестве строительного материала [33, 43, 52, 97].

При подземном способе разработки месторождений главное воздействие на геологическую среду выражается в образовании мульд сдвижения, разрывов, трещин и провалов на поверхности земли. Основным направлением по предотвращению этих явлений может стать переход на системы с закладкой выработанного пространства.

В направлении рационального использования полезных ископаемых, извлекаемых из недр, неотложной задачей является совершенствование технологии переработки руд, разработка методов и способов полного извлечения из комплексных руд всех ценных компонентов, не только главных, но и второстепенных. Например, на Шерловгорском ГОКе промышленные попутные компоненты оловянных руд представлены свинцом, цинком, висмутом, серебром и другими элементами, однако из них лишь немногие извлекаются в оловянный концентрат, остальные компоненты те-

ряются. Эти проблемы актуальны также для Орловского и Жиренского ГОКов, Дарасунского рудника и др. В этом направлении уже принимаются некоторые меры. За последние годы несомненно улучшилась полнота отработки запасов ряда месторождений, уменьшились потери полезных ископаемых. На Нерчинском полиметаллическом комбинате при переработке добываемых руд кропотливые компоненты. Однако принимаемые меры, направленные на повышение полноты и качества извлечения разведанных запасов из недр и комплексного их использования, пока еще недостаточно. Перспективным решением данной проблемы является применение методов химического обогащения, которые позволяют вовлечь в разработку запасы забалансовых руд, а также окисленной с использованием процессов флотации.

Важное направление рационального использования месторождений — утилизация огромных объемов вскрышных пород. Ежегодно горнодобывающими предприятиями Забайкалья складывается в отвалы более 20 млн. м³ вскрышных пород, из которых можно получить такие необходимые для строительной промышленности материалы, как глина, песок, гравий, щебень и др. Здесь открывается богатая перспектива для производства строительных материалов. Использование вскрышных пород позволит в 4—5 раз снизить себестоимость строительных материалов и значительно сократить число специальных карьеров для добычи аналогичного сырья. Этот вопрос уже частично решается на Орловском ГОКе, разрезе «Восточный» и др. Вскрышные породы карьеров, шахт и обогатительных фабрик находят все большее применение в дорожном строительстве.

Главная задача рационального использования геологической среды — рекультивация нарушенных горнодобывающими предприятиями земель, нанесение на образовавшиеся поверхности плодородного слоя почвы и потенциально плодородных пород и возврат их сельскому хозяйству в качестве пашен, лугов, лесонасаждений и т. п.

Однако само сельскохозяйственное производство создает также весьма острую экологическую обстановку на юге Забайкалья. Приведенные в разд. 29.1 примеры свидетельствуют о крайне опасном развитии некоторых негативных процессов, сопутствующих интенсификации сельскохозяйственного производства. Среди них на первом месте стоят такие процессы как деградация почв в результате водной и ветровой эрозии, вторичное их засоление, загрязнение поверхностных и подземных вод и др.

Колхозы и совхозы начали применять различные агротехнические приемы обработки почвы, чтобы защитить их от эрозии (безотвальная вспашка с сохранением стерни, посев культур специальной противозерозионными сеялками, полосное размещение сельскохозхозяйственных культур и паров и т. д.). Создают полозащитные полосы, строят мелiorативные сооружения и т. п. Од-

нако отдельные приемы борьбы с водной и ветровой эрозией мало эффективны. Необходим научно обоснованный комплексный почвенно-эрозионный план для каждого хозяйства или отдельного участка сельхозугодий.

Особое место занимает вопрос рационального использования и охраны подземных и поверхностных вод. Рост городов, промышленности и сельскохозяйственного производства вызывает значительное увеличение использования подземных вод. Баланс подземных вод в Забайкалье пока еще не имеет дефицита, однако при существующих темпах роста промышленных предприятий водозабор уже через несколько лет превысит разведанные их запасы. Для более рационального использования подземных вод необходимо промышленным предприятиям с крупным потреблением воды переходить на водооборот и освоить водосберегающие технологии: шире использовать для технических целей поверхностные воды.

Гораздо серьезнее обстоит дело с разгрязнением подземных вод. Основные источники их загрязнения — промышленные и бытовые сточные воды, сбрасываемые предприятиями без достаточной очистки.

Важное значение имеют вопросы охраны поверхностных вод от загрязнения, поскольку значительная часть населенных пунктов Забайкалья использует именно их как основной источник питьевого водоснабжения. Кроме того, поверхностные воды во многих случаях представляют собой источник питания подземных вод.

В этой связи важными факторами защиты их от загрязнения являются: ускоренное строительство очистных сооружений в городах, поселках, животноводческих комплексах, горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях; перевод промышленных предприятий на замкнутый цикл водоснабжения; организация зон санитарной охраны на всех (подземных и поверхностных) источниках водоснабжения; контроль за водозабором, качеством вод и т. д.

В 1987 г. было принято постановление «О мерах по обеспечению охраны и рациональному использованию природных ресурсов бассейна оз. Байкал 1987—1995 гг.», в котором учтены рекомендации ученых и мнения общественности по этой проблеме. Меры, принятые по этому решению, уже принесли немало положительных результатов и экологическая обстановка в байкальском регионе в настоящее время складывается к лучшему. Однако многие вопросы охраны Байкала остаются все еще не решенными. Неотложные меры, связанные с охраной Байкала, в первую очередь предусматривают изменение технологического профиля Байкальского и Селенгинского комбинатов.

Из всего сказанного выше вытекают следующие основные условия, гарантирующие рациональное использование и охрану подземных и поверхностных вод, ландшафтов и экосистем.

1. Широкое и повсеместное использование технологически замкнутых циклов при потреблении природных вод, переработке руд,

эффективное использование отходов добычи полезных ископаемых, промышленности, бытовых стоков и т. п.

2. Разработка быстрых, точных и комплексных методов анализа различных загрязняющих средств и систем (механических, химических, биохимических), дающих возможность принимать оперативные меры по улучшению охраны окружающей среды.

3. Строгое соблюдение и совершенствование природоохранного законодательства на общегосударственном, региональном и, что особенно важно, местном уровнях.

Реальным инструментом рационального использования геологической среды и ее охраны может стать литомониторинг, представляющий собой систему наблюдений, прогноза и управления техногенными и природными изменениями геологической среды.

1. *Абакуменко А. Е.* Аэрокосмические методы исследования наледей Центрального и Западного участков зоны БАМ.— В кн.: Дистанционные исследования природных ресурсов Сибири. Новосибирск, 1986, с. 94—99.
2. *Александров А. И.* Рельеф и склоновые процессы Назаровской впадины.— В кн.: Географические исследования восточных районов СССР. Иркутск, 1981, с. 5—6.
3. *Алексеева Т. И.* Региональные особенности градостроительства в Сибири и на Севере. Л., Стройиздат, 1987.
4. *Ан В. В., Любомиров А. С., Соловьева Л. Н.* Геокриологические условия Байкало-Становой части зоны БАМ. Новосибирск, Наука, 1984.
5. *Арефьев В. Е.* Особенности хозяйственного освоения и системы расселения межгорных котловин Алтая.— В кн.: Географические проблемы использования межгорных котловин Алтае-Саянской горной области. Барнаул, 1986, с. 56—57.
6. *Бадухин В. Н., Луценко О. А., Пирогов И. А.* Саяно-Шушенская ГЭС на р. Енисее.— В кн.: Геология и плотины, 1986, т. 10, с. 6—42.
7. *Баженова О. И.* Закономерности движения рыхлого материала на лесостепных склонах в Назаровской впадине.— В кн.: Географические исследования восточных районов СССР. Иркутск, 1981, с. 13—14.
8. *Биришников Г. Я.* Палеогеографические условия формирования рыхлых отложений и развитие речных систем Северного Алтая на ранних этапах четвертичной истории.— В кн.: Вопросы географии Сибири. Томск, 1984, вып. 16, с. 16—26.
9. *Бейром С. Г., Куковский В. С.* Формирование берегов и подпора подземных вод на водохранилищах в бассейнах Оби и Енисея.— В кн.: Изучение берегов водохранилищ Сибири. Новосибирск, 1977, с. 27—47.
10. *Бирюкова О. Н., Соколов Б. А.* Количественная оценка неоднородной лёссовой толши (на примере лёссовых отложений Чебаково-Балахтинской впадины).— Инженерная геология, 1980, № 3, с. 49—56.
11. *Бондарев А. А., Назарова Л. Н.* О влиянии КАТЭКа на химический состав поверхностных вод района.— Гидрохимические материалы, 1982, № 81, с. 19—22.
12. *Булдинкин Н. Ф., Иванова В. Ф.* Исследование работы коротких свай в региональных галечниковых грунтах Красноярска.— В кн.: Основания, фундаменты и инженерные коммуникации в условиях Восточной Сибири и Крайнего Севера. Красноярск, 1983, с. 41—47.
13. *Геологическая среда центрального участка зоны БАМ как объект хозяйственного освоения.* М., Изд-во МГУ, 1985.
14. *Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых.* Л., Недра, 1986, т. 7, кн. 2.
15. *Геология и сейсмичность зоны БАМ.* Гидрогеология/Е. В. Пиннекер, Л. Л. Шабынин, В. Г. Ясько и др. Новосибирск, Наука, 1984.
16. *Геология и сейсмичность зоны БАМ.* Инженерная геология и инженерная сейсмология/Ю. В. Павлов, В. И. Джурик, А. Ф. Дренов и др. Новосибирск, Наука, 1985.
17. *Гигиенические аспекты районной планировки и градостроительства в Кемеровской области/*Под ред. Е. М. Горбачева. Новосибирск, Наука, 1978.
18. *Главные сейсмоопасные зоны, пересекаемые трассой БАМ на севере Амурской области/*В. В. Николаев, Р. М. Семенов, В. П. Соловьев, А. Д. Саралулов.— В кн.: Геологические и сейсмические условия района Байкало-Амурской магистрали. Новосибирск, 1978, с. 100—115.
19. *Господинов Д. Г.* Процесс подтопления грунтовыми водами территории городов Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера.— В кн.: Процессы подтопления застроенных территорий грунтовыми водами (прогноз и защита). М., 1985, с. 27—33.

20. Дейкин Б. Н., Абакуменко А. Е. Распространение наледей подземных вод в центральной части зоны БАМ.— В кн.: Дистанционные исследования природных ресурсов Сибири. Новосибирск, 1986, с. 86—94.
21. Демьянович М. Г., Куришин Р. А., Авдеев В. А. Сейсмогеологические особенности Северо-Муийского участка трассы БАМ.— В кн.: Геологические и сейсмические условия района Байкало-Амурской магистрали. Новосибирск, 1978, с. 115—126.
22. Егоров П. В., Шевелев Ю. А., Ренев А. А. Некоторые вопросы сооружения горных выработок на рудных шахтах Горной Шории.— В кн.: Повышение эффективности горнопроходческих работ. Кемерово, 1987, с. 70—73.
23. Замана Л. В. Мерзлотно-гидрогеологические и мелiorативные условия Баргузинской впадины. Новосибирск, Наука, 1988.
24. Звягинцева К. М. Пути ограничения влияния промышленности Кузбасса на окружающую среду.— В кн.: Основные проблемы развития угольной промышленности Кузбасса. Новосибирск, 1982, с. 97—107.
25. Ивановский Л. Н. Термокарст в горах Алтая.— В кн.: Гляциология Восточной Сибири. Иркутск, 1983, с. 93—103.
26. Изразль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды. М., Гидрометеониздат, 1984.
27. Инженерная геология СССР. М., Изд-во МГУ, 1977—1978. Т. 1, 3—5.
28. Итоги и задачи изучения изменений геологической среды в пределах городских и промышленных агломераций/Ф. В. Котлов, Л. В. Бахирева, Ю. О. Зеегофер, Г. Л. Кофф. М., 1988, с. 37—61.
29. Каталог наледей зоны БАМ. Наледи бассейна р. Верхней Ангары. Л., Гидрометеониздат, 1982, вып. 3.
30. Каталог наледей зоны БАМ. Наледи бассейна р. Муи. Л., Гидрометеониздат, 1981, вып. 2.
31. Каталог наледей зоны БАМ. Наледи верхней части бассейна р. Чара. Л., Гидрометеониздат, 1980, вып. 1.
32. Каченов В. И., Закоптелов В. Е. К вопросу рекультивации (на примере ПО «Кемеровоуголь»).— В кн.: Охрана и рациональное использование геологической среды. Пермь, 1987, с. 114—119.
33. Козлова Н. В. О мероприятиях по охране геологической среды при разработке угольных и сланцевых месторождений.— В кн.: Рациональное использование геологической среды и ее охрана от отрицательного воздействия горнодобывающих предприятий.— Л., 1986, с. 51—55.
34. Коржув С. С. Карст.— В кн.: Проблемы экзогенного рельефообразования. М., Наука, 1976, с. 289—351.
35. Короновский Н. В. Краткий курс региональной геологии СССР. М., Изд-во МГУ, 1984.
36. Кузьмин А. П. Пути повышения эффективности добычи угля в Кузбассе.— В кн.: Основные проблемы развития угольной промышленности Кузбасса. Новосибирск, 1982, с. 29—42.
37. Кусковский В. С. Геодинамика берега и подпор подземных вод во второй стадии эксплуатации Красноярского водохранилища (1975—1978 гг.).— В кн.: Изменение природных условий под влиянием деятельности человека. Новосибирск, 1984, с. 86—93.
38. Кусковский В. С. Формирование берегов Саянского водохранилища в первую стадию его заполнения.— В кн.: Пути преобразования речного стока на юге Сибири. Новосибирск, 1984, с. 65—76.
39. Лавинная и селевая опасность на трассе БАМ/Под ред. В. Ф. Перова. М., Изд-во МГУ, 1980.
40. Лапердин В. К., Тржцинский Ю. Б. Экзогенные геологические процессы и сели Восточного Саяна. Новосибирск, Наука, 1977.
41. Лапочкин Б. К. Инженерно-геологическое изучение территории гидроотвалов Кузбасса для обоснования возможности повышения их емкости.— Геол. и разведка, 1978, № 5, с. 183—184.
42. Лесин Ю. В., Прокопенко С. А. Формирование композиционных отвалов на разрезах.— В кн.: Технология отработки пожароопасных пластов. Кемерово, 1987, с. 73—77.

43. *Ломтадзе В. Д.* Оценка и прогноз изменений геологической среды под влиянием горно-добывающих предприятий.— В кн.: Рациональное использование геологической среды и ее охрана от отрицательного воздействия горно-добывающих предприятий. Л., 1986, с. 3—9.

44. *Либцова Е. М.* Ускоренная водная эрозия в Минусинской котловине.— В кн.: Географические проблемы использования межгорных котловин Алтае-Саянской горной области Барнаул, 1986, с. 88—89.

45. *Максимов С. А.* Состояние и задачи гидрогеолого-мелиоративной службы по контролю за мелиоративным состоянием земель.— В кн.: Гидрогеолого-мелиоративные исследования Западной Сибири. Красноярск, 1986, с. 75—83.

46. *Мосеник Ю. М.* Эксплуатация земель на вечномёрзлых грунтах Забайкалья.— В кн.: Проблемы геокриологии Забайкалья. Чита, 1981, с. 103—104.

47. *Нагорья Прибайкалья и Забайкалья.* М., Наука, 1974.

48. *Намжилов Н. Б.* Факторы развития водной эрозии почв Бурятской АССР и основные меры борьбы с ней.— В кн.: Современные аспекты изучения эрозийных процессов. Новосибирск, 1980, с. 96—98.

49. *Небесная Е. В.* Морфология и интенсивность роста эрозийных форм рельефа в Назаровской впадине.— География и природные ресурсы, 1984, № 1, с. 37—42.

50. *Некрасов Н. А., Клиновский И. В.* Вечная мерзлота зоны БАМ. Новосибирск, Наука, 1978.

51. *Никифоров Ю. В., Климонтов А. М.* Экологические особенности Уймонской котловины и вопросы природопользования.— В кн.: Географические проблемы использования межгорных котловин Алтае-Саянской горной области. Барнаул, 1986, с. 76—77.

52. *Новожилов В. Н., Кононова Л. П.* Основные направления рационального использования геологической среды и ее охрана на месторождениях руд цветных металлов.— В кн.: Рациональное использование геологической среды и ее охрана от отрицательного воздействия горно-добывающих предприятий. Л., 1986, с. 17—21.

53. *Овешников Ю. М., Большаков А. И.* Взаимосвязь технологии гидравлической разработки россыпей с рекультивацией нарушенных земель. (Комплексные исследования физических свойств горных пород и процессов). Тез. докл. IX Всесоюзной научной конференции. М., 1987.

54. *Озерский А. Ю.* Техногенез геологической среды в районе золошлакоотвалов КАТЭКа.— В кн.: Экспериментальные основы географического прогнозирования воздействия КАТЭКа на окружающую среду. Иркутск, 1984, с. 34—47.

55. *Ольховатенко В. Е.* Закономерности деформирования бортов действующих карьеров Кузбасса.— В кн.: Проблемы инженерной геологии Западной Сибири. Томск, 1984, с. 88—95.

56. *Ольховатенко В. Е.* Инженерно-геологическая типизация угольных месторождений как основа прогнозной оценки условий строительства и устойчивости бортов глубоких карьеров.— В кн.: Проблемы инженерной геологии Западной Сибири. Томск, Изд-во Томского ун-та, 1984, с. 19—32.

57. *Ольховатенко В. Е., Краевский А. А.* Исследование полей напряжений и свойств пород при разведке угольных месторождений центральной части Кузбасса.— В кн.: Взаимосвязь геолого-тектонических структур, свойств, структурных особенностей пород и проявлений избыточной напряженности. Апатиты, 1985, с. 133—135.

58. *Основные особенности инженерно-геологических условий зоны освоения БАМ/В. Е. Афагасенко, Б. В. Графский, Н. Н. Романовский и др.*— Инженерная геология, 1983, № 2, с. 24—39.

59. *Осьмушкин В. С., Швецов А. Я., Барышников Г. Я.* Развитие криогенных процессов и явлений в Чуйской межгорной котловине.— В кн.: Географические проблемы использования межгорных котловин Алтае-Саянской горной области. Барнаул, 1986, с. 24—25.

60. *Перов В. Ф., Кириченко А. В., Лаптев М. Н.* Оценка лавинной и селевой опасности зоны БАМ.— В кн.: Человек и природа в зоне БАМ. Иркутск, 1984, с. 59—68.

61. Писарский Б. И., Демьянович Н. И., Васина М. Н. Проблемы охраны геологической среды в горно-добывающих районах Восточной Сибири. «Земная кора и верхняя мантия Восточной Сибири». Иркутск, 1987, с. 170—179.
62. Портнова В. П. Инженерно-геологические условия Центрального и Восточного Забайкалья. М., Недра, 1976.
63. Природа и хозяйство района первоочередного формирования КАТЭКа. Новосибирск, Наука, 1983.
64. Пуляев В. Н. Изменения геологической среды на буроугольных месторождениях Сибири при разработке их крупными карьерами.— В кн.: Тез. докл. 27 Междунар. геол. конгр. М., 1984, т. 8, с. 130—131.
65. Раиба И. Н. Склоны и склоновые процессы в Южно-Минусинской впадине.— Сиб. геогр. сб., 1978, № 14, с. 86—122.
66. Рогов Г. М., Понов В. К. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса.— Томск, Изд-во Томского ун-та, 1985.
67. Рытова Е. Л. Кайнозойские отложения Оловской впадины (северо-восточное Забайкалье) и основные этапы ее развития.— Вестн. ЛГУ. Геология и география, вып. 3, 1982, с. 103—105.
68. Сальников П. И. Опыт строительства и некоторые рекомендации по рациональным фундаментам на лучинистых грунтах в условиях Забайкалья.— В кн.: Результаты научно-исследовательских разработок в сфере строительства на Дальнем Востоке. Владивосток, 1984, с. 47—49.
69. Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. Новосибирск, Наука, 1977.
70. Сеелопасные районы Советского Союза/Под ред. С. М. Флейшмана и В. Ф. Перова. М., Изд-во МГУ, 1976.
71. Соколов В. Н., Лапочкин Б. К. Инженерно-геологические особенности намыльных грунтов гидроотвалов Кузбасса.— Инженерная геология, 1979, № 5, с. 57—65.
72. Соловьева Л. Н. Морфология криолитозоны Саяно-Байкальской области (на примере Бурятской АССР). Новосибирск, Наука, 1976.
73. Солоненко В. П. Инженерная сейсмогеология. Некоторые проблемы и задачи.— Инженерная геология, 1988, № 1, с. 3—14.
74. Солоненко В. П. Сейсмогеологические условия зоны строительства БАМ. Иркутск, Ин-т земной коры СО АН СССР, 1981.
75. Солоненко В. П. Уникальный инженерно-сейсмогеологический эксперимент в экономической зоне Байкало-Амурской железной дороги.— В кн.: Международная геол. конференция, XXVI сессия. Гидрогеология, инженерная геология и строительные материалы. М., 1980, с. 129—143 с.
76. Солоненко В. П. Инженерная сейсмогеология и сейсмо-геокриология Байкало-Амурской железной дороги.— Инженерная геология, 1979, № 6, с. 3—15.
77. Сорокина Г. К. Наледи на трассе БАМ в хр. Турана.— В кн.: Региональные геокриологические исследования в Восточной Азии. Якутск, 1983, с. 125—135.
78. Снесяцев В. И., Лещиков Ф. Н. Изменение мерзлотно-гидрогеологических условий на Харанорском угольном месторождении.— В кн.: Тез. докл. на X Всесоюзном совещании по подземным водам Востока СССР. Иркутск, 1982, ч. 2, с. 90.
79. Спиридонов Д. В. Инженерно-геологическая характеристика техногенных отложений района г. Назарово (западная часть КАТЭКа).— В кн.: Вопросы гидрогеологии, инженерной геологии и геокриологии. М., 1984, с. 49—62.
80. Тайсаев Т. Т. Эоловые процессы в Прибайкалье и Забайкалье и их геохимические следствия.— В кн.: Процессы формирования рельефа Сибири. Новосибирск, 1987, с. 91—94.
81. Титова З. А. Стационарные исследования эоловых процессов в Минусинской котловине.— В кн.: Географические проблемы использования межгорных котловин Алтае-Саянской горной области. Барнаул, 1986, с. 28—29.
82. Титова З. А., Любцева Е. М., Харахунова С. И. Интенсивность эоловых процессов в Койбальской степи Минусинской котловины.— География и природные ресурсы, 1985, № 1, с. 82—87.
83. Хаин В. Е. Региональная геотектоника. Внесальпийская Азия и Австралия. М., Недра, 1979.

84. *Хасанов А. П., Ширинкин В. В.* Вторичные процессы на оросительных системах в зоне Саянского ТПК.— В кн.: Гидрогеолого-мелиоративные исследования Восточной Сибири. Красноярск, 1983, с. 16—27.
85. *Хмелев В. А.* Некоторые вопросы рационального использования земельных ресурсов Горной Алтая.— В кн.: Проблемы использования и охраны природных ресурсов Сибири. Новосибирск, 1980, с. 13—19.
86. *Хоруца Г. И., Буланкин Н. Ф.* Технико-экономическая оценка конструктивных решений фундаментов промышленных зданий в районах Восточной Сибири.— В кн.: Перспективные типы и конструкции промышленных зданий. Красноярск, 1985, с. 92—101.
87. *Цыкин Р. А., Цыкина Ж. Л.* Карст восточной части Алтае-Саянской складчатой области и связанные с ним полезные ископаемые. Новосибирск, Наука, 1978.
88. *Шабунин Л. Л., Пиннекер Е. В.* Обводненность пройденной части Северомурфского топиеля (1976—1986 гг.).— В кн.: Земная кора и верхняя мантия. Иркутск, 1987, с. 141—146.
89. *Шац М. М.* Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны. Новосибирск, Наука, 1978.
90. *Ширинкин В. В.* Формирование температурного режима подземных вод в нарушенных условиях.— В кн.: Гидрогеолого-мелиоративные исследования в Сибири. Красноярск, 1980, с. 82—97.
91. *Ширинкин В. В.* Формирование химического состава подземных вод прибрежной зоны Красноярского водохранилища.— В кн.: гидрогеолого-мелиоративные исследования в Сибири, Красноярск, 1981, с. 50—60.
92. *Ширинкин В. В., Лазченко А. П.* Гидрогеолого-мелиоративные условия Барлыкской оросительной системы и меры борьбы с фильтрационными потерями.— В кн.: Гидрогеологические и инженерно-геологические процессы на мелиоративных системах степной зоны Сибири. Красноярск, 1978, с. 14—22.
93. *Шпаковский Ф. В.* Зейская плотина на р. Зее.— Геология и плотины. М., 1980, № 8, с. 64—78.
94. *Шполянская Н. А.* Вечная мерзлота Забайкалья. М., Наука, 1978.
95. *Шрепп Б. В., Квочин В. А.* Борьба с горными ударами на Таштагольском руднике.— В кн.: Прогноз и предотвращение горных ударов на рудных месторождениях (материалы 6-го координационного совещания, Кировск, 1984). Апатиты, 1987, с. 50—54.
96. *Шрепп Б. В., Квочин В. А.* Оценка тектонических полей напряжений при отработке железорудных месторождений Горной Шории и Хакассии.— В кн.: Взаимосвязь геологическо-тектонического строения, свойств, структурных особенностей пород и проявлений избыточной напряженности. Апатиты, 1985, с. 109—111.
97. *Щадов М. И.* Уголь и природа.— Энергия, 1984, № 12, с. 6—13.
98. *Ясько В. Г.* Подземные воды межгорных впадин Забайкалья. Новосибирск, Наука, 1982.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. АЛТАЕ-САЯНСКИЙ РЕГИОН	3
Введение (Г. А. Голодковская)	3
РАЗДЕЛ I. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА	7
Глава 1. История формирования инженерно-геологических условий	7
1.1. Докайнозойские этапы развития Алтае-Саянского региона и их влияние на современные инженерно-геологические условия (Г. А. Голодковская, Л. И. Розенберг)	8
1.2. Кайнозойские этапы развития Алтае-Саянской горной страны и их влияние на современные инженерно-геологические условия (Л. И. Розенберг)	11
Глава 2. Закономерности пространственных изменений современных инженерно-геологических условий региона	17
2.1. Докайнозойские геологические формации и закономерности их распространения (Г. А. Голодковская)	17
2.2. Стратиграфо-генетические комплексы кайнозоя (Л. И. Розенберг)	20
2.3. Основные закономерности строения рельефа (Л. И. Розенберг)	24
2.4. Основные закономерности строения мерзлотных условий Алтае-Саянского региона (Л. И. Розенберг)	27
2.5. Основные закономерности гидрогеологических условий (Л. И. Розенберг)	29
2.6. Основные закономерности развития современных геологических процессов (Л. И. Розенберг)	33
2.7. Общие региональные закономерности пространственных изменений инженерно-геологических условий (Г. А. Голодковская)	36
Глава 3. Инженерно-геологическое районирование (Г. А. Голодковская)	38
РАЗДЕЛ II. РЕГИОНАЛЬНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АЛТАЕ-САЯНСКОГО РЕГИОНА	42
Глава 4. Саяно-Сангиленский регион (Л. И. Розенберг)	42
Глава 5. Саяно-Алатауский регион (Л. И. Розенберг)	57
Глава 6. Западно-Саянский регион (Л. И. Розенберг)	64
Глава 7. Тувинский регион (Л. И. Розенберг)	70
Глава 8. Горно-Алтайский регион (Л. И. Розенберг)	79
Глава 9. Салаирский регион (Л. И. Розенберг)	96
Глава 10. Колывань-Томский регион (Л. И. Розенберг)	102
Глава 11. Кузнецкий регион (Л. И. Розенберг)	106
Глава 12. Минусинский регион (Н. И. Лебедева)	114
РАЗДЕЛ III. ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ И ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ	125
Глава 13. Опыт инженерно-хозяйственного освоения	126
13.1. Промышленное и гражданское строительство (И. Э. Орлова)	126

13.2. Разработка месторождений полезных ископаемых (И. Э. Орлова)	128
13.3. Гидротехническое строительство (Варга А. А.)	140
13.4. Водоохранилища (Н. И. Лебедева)	147
13.5. Линейное строительство (И. Э. Орлова)	150
13.6. Сельскохозяйственное освоение (О. А. Шарфеева)	155

Глава 14. Изменения геологической среды, проблемы ее рационального использования и охраны в связи с дальнейшим народнохозяйственным развитием региона 156

14.1. Изменение инженерно-геологических условий (Н. И. Лебедева)	156
14.2. Региональные тенденции изменения геологической среды и некоторые вопросы ее рационального использования (Г. А. Голодковская, Н. И. Лебедева)	180

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ЗАБАЙКАЛЬЕ 192

Введение (В. К. Шевченко) 192

РАЗДЕЛ IV. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ 195

Глава 15. История формирования инженерно-геологических условий (В. К. Шевченко) 196

Глава 16. Закономерности пространственных изменений современных инженерно-геологических условий 205

16.1. Основные закономерности пространственной приуроченности и строения горных пород (В. К. Шевченко)	205
16.2. Основные особенности строения рельефа (В. К. Шевченко)	212
16.3. Сейсмичность (В. К. Шевченко)	216
16.4. Геокриологические условия (В. К. Шевченко)	218
16.5. Основные особенности гидрогеологических условий (В. Е. Афанасенко)	221
16.6. Основные пространственные закономерности развития современных экзогенных геологических процессов (В. К. Шевченко)	225

Глава 17. Инженерно-геологическое районирование территории (В. К. Шевченко) 227

РАЗДЕЛ V. РЕГИОНАЛЬНОЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЗАБАЙКАЛЬЯ (В. К. Шевченко) 230

Глава 18. Байкальский регион 230
Глава 19. Байкало-Патомский регион 248
Глава 20. Селенгино-Витимский регион 255
Глава 21. Хэнтэй-Чикойский регион 265
Глава 22. Агинский и Шилкинско-Аргунский регионы 270
Глава 23. Джугджуро-Становой регион 283
Глава 24. Тукурингра-Джагдинский регион 290
Глава 25. Верхнеамурский регион 296
Глава 26. Амуро-Зейский регион 303
Глава 27. Хингано-Бурейнский регион 310

РАЗДЕЛ VI. ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ И ИЗМЕНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ . . . 319

Глава 28. Опыт инженерно-хозяйственного освоения территории по видам работ 319

28.1. Промышленное и гражданское строительство (Л. М. Демидюк) . . .	319
28.2. Горнодобывающая промышленность (М. В. Костромин, Ю. М. Овешников) . . .	326
28.3. Линейное строительство (А. А. Королев, П. Н. Луговой) . . .	337
28.4. Гидротехническое строительство (Н. Н. Леонов, Л. Б. Шейман) . . .	345
Глава 29. Прогноз региональных изменений геологической среды, проблемы ее рационального использования и охраны в связи с дальнейшим народнохозяйственным развитием региона (М. В. Костромин, Ю. М. Овешников, В. К. Шевченко, С. Г. Позлутко) . . .	352
29.1. Региональные тенденции изменения геологической среды в ходе хозяйственного освоения территории . . .	352
29.2. Основные проблемы рационального использования и охраны геологической среды . . .	361
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . .	368

1
2.657

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Голодковская Галина Андреевна
Розенберг Леонид Исаакович
Шевченко Владлен Константинович и др.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ СССР
Алтае-Саянский и Забайкальский регионы

Заведующий редакцией *Л. Н. Аважанская*
Редактор издательства *Л. А. Дубкова*
Переплет художника *Б. К. Силаева*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технические редакторы *Л. Г. Лаврентьева, Е. С. Сычева*
Корректор *Г. П. Вергун*

ИБ 8482

Сдано в набор 16.04.90. Подписано в печать 04.12.90. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага кн.-журн. Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 23,5.
Усл. кр.-отг. 24,0. Уч.-изд. л. 27,10. Тираж 630 экз. Заказ 309/2623—4.
Цена 5 р. 70 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ

