

**Общество с ограниченной ответственностью
«Барнаулстройизыскания»**

А.Я. ШВЕЦОВ

ЛЁССЫ АЛТАЯ

г. Барнаул – 2021 г.

Швецов А. Я. Лёссы Алтая. / Барнаул: Изд-во «Новый формат», 2021 г.
– 152 с.

ISBN

В монографии рассматриваются содержание термина «лёсс», сведения об изучении и происхождении лёссов. Обсуждается эолово-почвенная гипотеза генезиса этих грунтов, распространение лёссов на Алтае. Приводятся сведения об основных геоморфологических структурах Алтая: расположение, рельеф, ландшафты, почвы, геологическое строение и гидрогеологические условия. Рассматривается формирование лёссов в долинах рек Алтая с позиции эолово-почвенной гипотезы. Приводятся физико-механические свойства лёссов и их возраст. Отмечается воздействие опасных природных и антропогенных процессов на лёссовые массивы. Указывается решение проблем инженерно-геологических изысканий и строительства на лёссовых просадочных грунтах.

Монография адресована изыскателям, проектировщикам, строителям, научным работникам, преподавателям и студентам ВУЗов.

▼

ISBN

Швецов А. Я., 2021
ООО «Барнаулстройизыскания»

▼
▼

Содержание

	Стр.
Предисловие.....	5
1.Сведения об изучении лёссов.....	5
2.Содержание термина «лёсс».....	6
3.Предложение автора о содержании термина «лёсс».....	9
4.Происхождение лёссов.....	11
5. Эолово-почвенная гипотеза генезиса лёссов.....	14
5.1.Обоснование эолового накопления пылеватых осадков.....	15
5.2.Превращение пылеватых эоловых осадков в лёсс.....	18
5.3.Формирование агрегатной структуры лёссов.....	20
5.4.Формирование макропор и просадочных свойств лёссов.....	21
5.5.Изменение плотности грунтов и пористости с глубиной в разрезах лёссовых отложений.....	23
5.6.Сохранение просадочных свойств лёссов.....	23
6.Распространение лёссов на Алтае.....	24
7.Общие сведения об основных геоморфологических структурах Алтая: расположение, рельеф, ландшафты, почвы, геологическое строение и гидрогеологические условия.....	26
8.Формирование лёссов в долинах рек Алтая (с позиции эолово-почвенной гипотезы).....	39
9.Возраст лёссов.....	42
10.Физико-механические свойства лёссов.....	44
11.Почвы Алтая.....	53
12.Погребенные почвы, их свойства и генезис в свете эолово-почвенной гипотезы происхождения лёссов.....	57
13.Почвообразование в областях аккумуляции эолового материала, дефляции его и на территориях равного баланса этих процессов. Движение почвенного профиля вверх и вниз по вертикали. Возраст почв.....	61
13.1.Почвообразование в областях аккумуляции эолового материала. 61	
13.2. Почвообразование на территориях с нулевым балансом эоловых процессов.....	63
13.3.Почвообразование в области развития дефляции.....	65
14.Воздействие опасных природных и антропогенных процессов на лёссовые массивы.....	68
14.1.Опасные природные геологические и инженерно-геологические процессы. Антропогенные процессы.....	68
14.2.Оценка сложности природных условий Алтая.....	69
14.3. Категории опасности природных и антропогенных процессов.....	70
14.4. Просадочность лёссовых грунтов.....	71
14.5. Подтопление территорий.....	74
14.6. Оползнеобразование.....	82

14.7. Суффозия.....	94
14.8. Оврагообразование.....	97
14.9. Плоскостная эрозия.....	102
14.10. Морозное пучение грунтов.....	104
14.11. Землетрясения.....	105
14.12. Воздействие деятельности человека на опасные природные процессы.....	108
14.13. Основные тенденции и прогноз развития опасных природных и антропогенных процессов.....	113
15. Решение проблем инженерно-геологических изысканий на лёссовых просадочных грунтах.....	115
15.1. Разработка нового способа бурения, методов и устройств для отбора неуплотненных монолитов просадочных лёссов из скважин.....	116
15.2. Внедрение испытаний полевых опытных работ при изысканиях на лёссовых грунтах.....	120
15.3. Замена дорогостоящих и длительных испытаний железобетонных свай в искусственно замоченных лёссовых грунтах испытанием инвентарных свай в грунтах природной влажности (экспресс-метод).....	121
15.4. Совершенствование буровых установок для бурения лёссовых просадочных грунтов.....	122
15.5. Обобщение и анализ изыскательских работ на территориях с развитием лёссовых просадочных грунтов.....	123
16. Строительство на лёссовых просадочных грунтах.....	125
16.1. Прорезка просадочной лёссовой толщи сваями.....	125
16.2. Анализ испытания забивных свай в лёссовых просадочных грунтах.....	127
16.3. Анализ испытания буронабивных свай в лёссовых просадочных грунтах.....	131
16.4. Уплотнение грунтов основания зданий и сооружений.....	135
16.5. Физико-химические методы закрепления лёссовых пород.....	136
16.6. Конструктивные мероприятия.....	137
16.7. Водозащитные мероприятия.....	138
Эпилог.....	138
Литература.....	140
Фондовые и архивные материалы.....	147
Иллюстрации.....	148
Об авторе.....	149

Предисловие

Монография имеет научно-производственный профиль.

Лёссы – это рыхлые пылеватые породы. Они широко распространены в мире, образуя верхний, поверхностный слой пород (под почвой) в зоне инженерной деятельности человека.

Лёссовые грунты получили обширное развитие в России, в том числе и в Алтайском крае, занимая свыше 70% его площади. Значимость их в инженерных изысканиях, проектировании и строительстве зданий и сооружений больше, чем какого-либо другого типа грунтов. На них возведены почти все города края и свыше 700 сельских населенных пунктов.

Для лёссов характерна макропористость, и они обладают существенным отрицательным свойством: дают при замачивании дополнительную осадку (называемую просадкой).

Недоучет этих свойств при изысканиях, проектировании и строительстве может обусловить деформации зданий и сооружений. Так, в г. Барнауле из-за просадочных свойств лёссов многие здания и сооружения получили деформации, некоторые из них приведены в аварийное состояние, а одно здание было полностью разрушено.

Территории, сложенные лёссами, по условиям строительства относятся к условно неблагоприятным и со сложными природными условиями.

Просадочные грунты (лёссы) считаются специфическими грунтами по их составу, состоянию и риску возникновения опасных природных процессов.

Несмотря на серьезное изучение лёссов научными учреждениями, до сих пор нет единого мнения по многим важнейшим вопросам: о происхождении лёссов, об образовании макроструктур (обуславливающих просадку), о причинах высокого содержания в лёссах карбоната кальция, о формировании агрегативного строения лёссов и др.

В практике инженерных изысканий имелся ряд важных нерешенных проблем, в том числе отбор из скважин качественных неуплотненных монолитов, замена дорогостоящих, трудоемких и длительных видов опытных работ (к примеру, испытания железобетонных свай в искусственно замачиваемых грунтах) экспресс-методами полевых работ и др.

Под Алтаем в монографии подразумевается степная и лесостепная части Алтайского края.

Автор выражает глубокую благодарность ООО «Барнаулстройизыскания» и его директору Виктору Федоровичу Вайгандту за спонсорскую помощь в издании книги.

1. Сведения об изучении лёссов

Слово «лёсс» впервые было введено в мировую геологическую литературу немецким ученым К.Г. Леонардом в 1823 г.

В Русских геологических изданиях термин «лёсс» впервые появился в 1846 г. в работе Эйхвальда как «лэсь». Затем он приобрел форму «лесъ» (Барбот-де –Марни, 1867 г.) и, наконец, уже после Октябрьской революции – «лёсс».

Большой вклад в изучении лёссов Китая (голотип лёссов), их генезиса внес немецкий ученый Ф.Рихтгофен (1877 г.), позднее лессы исследовали ученые США Леверет, Чемберлин, Солсбери, Г.Т. Смит, Фразер. Лейгтон, Виллмен, В. Ложек (Чехия), Ю. Финк (Австрия) и др.[13].

Приоритет в исследовании лёссов принадлежит также русским ученым конца XIX в.- начала XX в.: академиком В.А. Обручеву, В.В. Докучаеву, Ф.Ю. Левинсону-Лессингу, И.В. Мушкетову, а также П.А. Кропоткину, А.П. Павлову, П.А. Тутковскому [13].

Значительные успехи в изучении лёссов достигнуты советскими учеными: академиками Е.М. Сергеевым, Г.А Мавляновым (Узбекистан), докторами наук В.П. Ананьевым, Ю.М. Абелевым, В.Т. Трофимовым, И.П. Герасимовым, А.К. Ларионовым, Ф.В. Котловым, В.В. Поповым, С. Д. Воронкевичем, М.А. Глазовской и др.[13]

Представляет интерес обобщающая работа по лёссам Н.И. Кригера «Лёсс, его свойства и связь с географической средой» (1965 г.) [11].

В 1982 г. в СССР был введен *ГОСТ 25100-82.Грунты. Классификация*. В нем лёсс определен как «лёссовый грунт».

В 1986 г. вышла из печати фундаментальная книга «Лёссовые породы СССР» в 2-х томах под редакцией Е.М. Сергеева. А.К. Ларионова и Н.Н. Комиссаровой [13]. Коллектив авторов представлен известными учеными: академиком АН СССР Е.М. Сергеевым, академиком Узбекской ССР Г.А. Мавляновым, академиком ВАСХНИЛ Л.Г. Балаевым, докторами геолого-минералогических наук В.П. Ананьевым, А.К. Ларионовым, В.Т. Трофимовым, Ф.В. Котловым, С.Д. Воронкевичем, Г.И. Чохонелидзе, доктором географических наук М.Н. Заславским, кандидатами геолого-минералогических наук А.В. Минервиным, Н.Н. Комиссаровой, И.Я. Богдановым, Я.Е. Шаевичем, В.С. Быковой, М.Т. Адиковым, Н.Е. Котельниковой, Х.Л. Рахматуллаевым, Л.Г. Мельниковой и Л.А. Церцвадзе.

В первом томе рассмотрены содержание терминов «лёссовые породы», «лёсс» и «лёссовидные породы», генезис лёссовых пород, их инженерно-геологические особенности и проблемы их рационального использования.

Второй том посвящен региональным особенностям лёссовых пород СССР.

Книга является своего рода энциклопедией лёссовых пород и представляет собой хорошее пособие для геологов, занимающихся их изучением.

2.Содержание термина «лёсс»

Термин «лёсс» широко использовался в русской, советской и в зарубежной геологической литературе. Но в содержание этого термина

исследователями вкладывался различный смысл, что вызывало споры в научной литературе, на конференциях, а нередко приводило к путанице, недоразумениям, когда к лёссам относили совершенно разные породы.

Конечно, в практике инженерно-геологических изысканий можно обойтись и без этого термина, применив понятия «суглинок» или «супесь» с описанием свойств этой породы. Но ввиду того, что термин «лёсс» постоянно использовался при изучении этих грунтов в течение двух веков, в том числе ведущими учеными В.А. Обручевым, Ф.Ю. Левинсоном-Лессингом, Н.Я. Денисовым и др., закрепился в литературе и стал историческим понятием, целесообразно, не нарушая традиций, оставить этот термин, четко определив его содержание.

Надо полагать, что содержание этого термина должно отвечать тому, что вкладывается в это понятие в мировой науке, и в первую очередь необходимо соотнести его с содержанием голотипа лёссов (Северный Китай). В то же время необходимо учесть, что этот термин является не только петрографическим, но и инженерно-геологическим.

Обзор зарубежных публикаций, при всех их противоречивостях, показывает, что под лёссом принято подразумевать однородную неслоистую высокопористую рыхлую породу желтоватого или желтовато-коричневого цвета, сложенную преимущественно пылеватыми частицами, макропористой текстуры, способную удерживать отвесные стенки, разбитую вертикальными трещинами, формирующими столбчатую отдельность (Г.Т. Смит (США) [47], В. Ложек (Чехия), Ю. Финк (Австрия), Г.А. Мавлянов (Узбекистан) [14], В.В. Попов (Украина) [37], А.С. Кесь (Северный Китай). Лёссы имеют покровное залегание.

В России еще в XIX в. (1895 г.) С.Н. Никитин предложил ряд признаков лёсса: пылеватость, однородность, макропористость, карбонатность, способность держать вертикальные стенки (так называемый «стандарт Никитина»).

Позднее другими исследователями предлагались свои наборы (от 6 до 14) признаков лёссов.

Один из крупнейших исследователей лёсса Н.И. Кригер трактовал лёсс как «алеврит (силт) светло-желтой (палевой) окраски с общей пористостью 40-55%, с видимыми невооруженным глазом канальцами, неслоистый, известковый, но не сцементированный до состояния полускальной породы, более или менее агрегированный, склонный обваливаться вертикальными глыбами, залегающий плащом (в том числе нередко на высших точках водоразделов), обычно мощностью не менее нескольких метров» [11].

Приведенные понятия «лёсса» имеют петрографический характер. В.В. Попов, Г.А. Мавлянов в число «лёссовых» признаков включили просадочность, т.е. инженерно-геологический признак [13,14, 37].

По введенному в 1982 г. *ГОСТ 25100-82 Грунты. Классификация* «лёссовый грунт» - это «грунт лёссовый – пылевато-глинистый грунт, содержащий по гранулометрическому составу более 50% пылеватых

частиц (размером 0,05 – 0,005 мм), легко- и среднерастворимые соли и карбонаты кальция; однородный, преимущественно макропористый; в маловлажном состоянии способен держать вертикальный откос; при замачивании маловлажный лёссовый грунт дает просадку, легко размокает и размывается, а при полном водонасыщении может переходить в плавунное состояние».

ГОСТ 25100-82 должен был положить конец разногласиям в определении содержания термина «лёсс». Но к сожалению, этот тип пород в ГОСТ назван не конкретно «лёссом», а «лёссовым грунтом». Это дало основание некоторым исследователям применять понятия: «лёссовая порода», «лёсс», «лёссовидная порода».

В монографии «Лёссовые породы СССР» так эти понятия и отражены. Причем, термин «лёссовые породы» объединяет два понятия «лёссы» и «лёссовидные породы» [13]. К лёссу отнесена «однородная, неслоистая, сильно пылеватая (содержание фракции 5-50 мкм более 50% по микроагрегатному составу), пористая (более 42%), часто имеющая макропоры, малогидрофильная, маловлажная (W_{mmc} меньше максимальной молекулярной влагоемкости) порода, проявляющая просадку при замачивании». Как видим, этот термин лёсса, в основном, отвечает понятию, изложенному в ГОСТ. Лёссовые породы, для которых характерны не все перечисленные выше основные признаки, отнесены в монографии к лёссовидным.

Известный ученый, доктор геолого-минералогических наук Виктор Титович Трофимов в 1992 г. предложил определение «лёссов» как грунтов, проявляющих (при замачивании) просадочные свойства при действии природного давления, а «лёссовидных пород» - как грунтов, проявляющих просадочные свойства только под действием дополнительных нагрузок [48]. Те и другие объединены им в «лёссовые породы».

Полагаю, что такое предложение нецелесообразно по следующим причинам [64, 65].

1. Грунты, дающие просадку (при замачивании) при действии природного давления, залегают без каких-либо закономерностей как по глубине, так и по площади: выделение их в горизонты и линзы затруднительно.

2. При документации выработок в поле отделить грунты просадочные при природном давлении от грунтов, дающих просадку при дополнительной нагрузке, совершенно невозможно (это определяется по результатам лабораторных работ), хотя выделить просадочные грунты – обычно решаемая задача, так как довольно точным полевым признаком просадочности является наличие макропористости. Невозможность однозначного выделения и картирования «лёссов» (по классификации В.Т. Трофимова) в полевых условиях заставляет отнестись с сомнением к его предложению классифицировать «лёсс» и «лёссовидные породы» по условиям их просадки.

3. Это предложение усиливает инженерно-геологический смысл термина «лёсс» в противовес общепетрографическому (геологическому), так как получается, что «лёссы» не просто просадочные грунты, а их наиболее ярко выраженный вид, таксономически на ранг ниже обыкновенных просадочных грунтов. Известно, что в петрографии критериями для классификации пород являются их происхождение, степень жесткости связей частиц, структурные и текстурные особенности, их гранулометрический и минералогический составы, а в предложении В.Т. Трофимова решающим фактором служит свойство грунта (а не сам грунт), зависящее от его текстурной особенности (макропористости). Это удаление от петрографических принципов разделения пород может привести к тому, что петрографы дадут свое толкование термина «лёсс», основанное на текстурно-структурных и других особенностях породы, и будут существовать два параллельных понятия «лёсс», что крайне нежелательно.

4. Содержание термина «лёсс» по В.Т. Трофимову весьма существенно сузит рамки распространения его в стране. В таких регионах, как Алтай, Новосибирское Приобье и др., он будет отмечаться в виде редких пятен только на планах масштаба 1:500 – 1:2000 и не будет картироваться на более мелкомасштабных планах и картах ввиду незначительности площадей развития этих «лёссов», что не соответствует традиционным взглядам (при всех их разноречивости) на распространении этих пород в России, отраженным в научной литературе об этих грунтах.

Термины «лёссовидные породы», «лёссоподобные породы» не имеют большого смысла и не следует их употреблять. Если это не «лёсс» а другая порода (пусть в чем-то и похожая на него), она должна иметь свое собственное название. Тем более недопустимо, если будут предлагаться подобные понятия без четкого выделения их по конкретным признакам.

3. Предложение автора о содержании термина «лёсс»

Содержание термина «лёссовый грунт» по *ГОСТ 25100-82*, как известно, включал 8 признаков, и в том числе просадочность. В целом, это определение отвечает понятию «лёсс», применяемому за рубежом. В то же время, с точки зрения автора, указанное в *ГОСТ 25100-82* содержание термина также требует поправок.

Во-первых, следует употреблять название «лёсс», а не «лёссовый грунт». Могут быть возражения, что между этими названиями нет никакой разницы, что это синонимы. Тем не менее, разница есть. Синонимами являются словосочетания «лёссовый грунт» и «лёссовая порода». Но эти термины могут рассматриваться как собирательные, например, для таких понятий как «лёсс» и «лёссовидные породы».

Поэтому в классификации грунтов должен фигурировать именно «лёсс», также как в ней приведен «песок» (а не «песчаный грунт»), «суглинок» (а не «суглинистый грунт») и т.д.

Во-вторых, следует подкорректировать содержание термина.

При преобладании пылеватых частиц, в лессе примерно в равных количествах присутствуют песчаные и глинистые частицы (хотя колебания, и довольно значительные бывают и в ту, и в другую сторону). Поэтому в определении необходимо или вставить слова «пылевато-песчано-глинистый», или лучше вовсе убрать из него слова «пылевато-глинистый».

Предлагаю также убрать слова «легко- и среднерастворимые соли», так как не все лёссы характеризуются наличием значительного количества солей. Так, по А.С. Кесь в типичных лёссах Северного Китая легкорастворимые соли почти отсутствуют (сотые доли процента), что обусловлено, по ее мнению, их выщелачиванием. В ничтожных количествах они имеются и в лёссах Алтая, что также связано с тем, что эти соли вымыты из грунтов.



Рис. 1. Склон долины р. Оби. В верхней части разреза лёссы.

Фото В. Четошникова

С учетом вышеизложенного, формулировка термина предлагается в следующем виде: **«лёсс – однородная рыхлая порода (грунт), содержащая по гранулометрическому составу более 50% пылеватых частиц; преимущественная макропористая; обычно с повышенным содержанием карбоната кальция; в маловлажном (природном) состоянии относительно прочная, способная держать вертикальные откосы, при замачивании легко теряющая прочность структурных связей между частицами и дает просадку от внешней нагрузки и (или)**

природного давления грунта; при полном водонасыщении может перейти в плавунное состояние» [65].

Как вариант можно добавить «желтовато-коричневого (палевого) цвета после слова «грунт».

Из перечисленных признаков лёсса основными безусловно являются преимущественно пылеватый состав, макропористость и резкое снижение прочности структурных связей при замачивании, обуславливающее просадочные свойства этого грунта.

Лёсс как таксономическая единица классификации грунтов должен отвечать типу грунтов, как это и было отражено в ГОСТе 25100-82.

Статья автора «О содержании термина «лёсс» была опубликована в журнале Российской академии наук (РАН) «ГЕОЭКОЛОГИЯ Инженерная геология, Гидрогеология, Геокриология» (№ 5, 1994 г.) [65].

Ввиду разногласий исследователей по содержанию термина «лёсс» этот вопрос был передан для доработки в комиссию РАН по четвертичным отложениям. Но в 1995 г. был введен в действие новый *ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация*, в котором термин «лёсс» уже отсутствовал. В обновленном *ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация* (с изменениями по состоянию на 2019 г.), действующем в настоящее время, понятие «лёсс» также отсутствует.

Создается такое впечатление, что термин не был введен в новый ГОСТ из-за того, что не были преодолены разногласия ученых и не был найден компромисс по этому вопросу.

Термин лёсс принят в мировой геологической литературе, он традиционно существует в геологической литературе нашей страны. И эти традиции нельзя утрачивать.

4. Происхождение лёссов

Почти два столетия исследователи всего мира занимаются проблемой генезиса лёссов, дискутируют в научной печати и на конференциях, привлекают к решению этого вопроса смежные отрасли науки (почвоведение, палеогеография, палеонтология) и новейшие достижения техники (электронные микроскопы, современные методы определения возраста пород и др.).

В настоящее время известно порядка 50 гипотез (и их вариаций) происхождения лёссовых пород [13]. Находятся все новые и новые доказательства в пользу той или иной гипотезы и новые доводы против них. Идут упорные поиски истины.

В процессе формирования лёсса выделяют 2 стадии:
-стадия накопления минерального осадка (седиментогенез),
-стадия преобразования осадков в просадочную горную породу.

Все гипотезы о генезисе лёссов объединяются в несколько групп: эоловые гипотезы, водные, почвенные (почвенно-элювиальные) [13].

Эоловую (субаэральную) гипотезу выдвинул Ф. Рихтгофен в 1877 г. при изучении лёссов Китая [13]. Согласно его взглядам первичный материал переносился ветром и откладывался в бессточных котловинах, где подвергался действию дождевых вод и удерживался степной растительностью, формируя горизонтально-слоистые образования (лёсс).

В.А. Обручев, развивая учение Ф. Рихтгофена, полагал, что приносимая пыль является не местной (энтопической пылью), а перенесенной издалека (экзотическая пыль). И формируются осадки не только в бессточных бассейнах, а на огромных площадях в виде сплошного лёссового покрова [13].

Американские ученые Леверет (1899 г.), Солсбери (1909 г.), Фразер (1935 г.), Виллмен (1950 г.) считали, что главное не перенос пыли на далекие расстояния, а образование ее за счет развеивания аллювиальных и флювиогляциальных отложений в близлежащих долинах [13].

По П.А. Тутковскому (1899 г.) европейский лёсс образовался при развеивании ледниковых отложений. Пыль разносилась далеко и при осаждении формировала лёсс в виде покрова [13].

Сторонниками эоловой гипотезы были многие известные ученые: И.В. Мушкетов, И.Д. Седлецкий, Н.И. Кригер, А.И. Москвитин и др. [11, 13, 48].

Эоловые гипотезы объясняли накопление пылеватого материала, но в большинстве своем не указывали, как он преобразовывался в лёсс. Геологи отмечали сходство китайского лёсса с монгольским, среднеазиатским и европейским лёссами.

Водные гипотезы объясняли формирование лёсса отложением осадков в водной среде под действием склоновых процессов и временных горных потоков (делювиальная и пролювиальная гипотезы), а также действием речных и флювиогляциальных процессов (аллювиальная и флювиогляциальная гипотезы).

Делювиальная (струевая) гипотеза была разработана П.Я. Армашевским в начале XX в. [13]. Суглинистые и супесчаные осадки сносились со склонов дождевыми потоками и талыми водами, формируя в подножье склонов шлейф и конусы выноса пылеватого материала. Сторонниками этой гипотезы были А.П. Павлов, С.С. Неуструев и др. [13].

Т.С. Кавеев и Н.И. Кригер полагали, что при эоловом отложении пылеватых осадков участвуют и делювиальные процессы [11].

Родоначальником пролювиальной гипотезы был А.П. Павлов. Он считал, что пылеватые лёссовидные отложения формируются временными водными потоками, сбегаящими из горных долин на равнину, образуя конусы выноса. Этой гипотезы придерживались академик Г.А. Мавлянов, В.И. Попов, Е.В. Шанцер и др. [13, 14, 37].

Многие исследователи придерживаются делювиально-пролювиальной гипотезы образования лёссов, полагая, что делювиальные и пролювиальные склоновые процессы во многом идут параллельно.

Аллювиальной гипотезы придерживались Брокмейер, Ю.А. Скворцов, И.Г. Глухов и др. [13]. Ю.А. Скворцов считал, что лёсс на водоразделах обязан врезанию долин и новейшей тектонической деятельности. По И.Г. Глухову водораздельный лёсс сформировался в результате действия различных процессов, в том числе делювиальных.

Сторонниками флювиогляциальной гипотезы были В.В. Докучаев, М.А. Глазовская, Н.И. Толстихин, К.Д. Глинка и др. [13].

В.В. Докучаев считал лёсс «глетчерным илом» и «фирновой грязью».

М.А. Глазовская отмечала, что лёсс – это эоловая пыль, переотложенная флювиогляциальными потоками [6].

Большинство водных гипотез, как и эоловые гипотезы, рассматривали лёссообразование как накопление пылеватого материала, по-существу, не объясняя, как он превращается в лёсс.

Аллювиальное происхождение лёссов противоречит принципу Н.Я. Денисова (1972 г.) о невозможности образования просадочных грунтов в водной среде.

Почвенные (почвенно-элювиальные) гипотезы. Согласно этим гипотезам пылеватый материал может накапливаться любым путем. Превращение его в лёсс обязано процессам почвообразования и выветривания. Сторонниками этих гипотез являются Н.А. Богословский, Н. Кудрявцев, Н.М. Сибирцев, Л.С. Берг, Б.Б. Плынов, И.П. Герасимов, К.И. Лукашев, П.И. Самодуров и др. [13].

По Н.А. Богословскому морены и др. породы приобретают лёссовидный облик и свойства под воздействием почвообразования в степных условиях. Н. Кудрявцев полагал, что лёсс – это элювий флювиогляциальных отложений.

Н.М. Сибирцев считал толщи лёсса почвенными образованиями (сероземами). Он выделил особый атмосферно-пылеватый тип почв (эолово-лёссовый).

Б.Б. Плынов развил идеи генезиса коры выветривания, выделив остаточный элювий на водоразделах и аккумулятивную кору выветривания на склонах и низинах. Эта аккумулятивная кора выветривания, обогащенная углекислым кальцием, по его мнению, и является лёссом.

Географ академик И.П. Герасимов полагал, что лёсс – это аккумулятивная кора выветривания, продукт сиаллитно-карбонатного элювиального процесса [5]. Процесс облессования заключался, в основном, в образовании агрегатов размером 0,01-0,05 мм. Облессованные продукты выветривания затем сортировались и переоткладывались, формируя лёссовидный элювий, делювий, аллювий, озерный лёссовидный нанос. Он считал, что для образования лёсса необходим сухой континентальный климат. В соответствии с географическим распространением он выделяет «теплые» и «холодные» лёссы.

Академик Л.С. Берг указывал, что лёсс формируется из разных пород: флювиогляциальных, делювиальных, аллювиальных, ледниковых, но только

не эоловых - в результате процессов выветривания и почвообразования в условиях сухого климата. По его мнению, превращение породы в лёсс обязано образованию агрегатов частиц [13].

В 20-х годах XX в. на страницах журнала «Природа» произошла жаркая дискуссия по генезису лёссов между будущими академиками Академии наук СССР В.А. Обручевым и Л.С. Бергом. Владимир Афанасьевич Обручев - один из крупнейших и авторитетных геологов мира, а Лев Семенович Берг по образованию ихтиолог. Уровень геологических знаний и подготовки у них отличался безмерно.

По мнению автора, идеи Л.С. Берга в отношении происхождения лёссов были несостоятельными. Любая порода не могла превратиться в лёсс. Также как и воздействие почвообразовательных процессов на материнскую породу не могло распространяться на глубину более 1-2 м, тогда как мощность лёссов достигает 10-15 м и больше. Взгляды В.А. Обручева на эоловый перенос пылеватого материала и отложение его в виде сплошного покрова являются бесспорными.

По К.И. Лукашеву формирование лёсса происходит в особых условиях геохимического типа литогенеза [13]. Лёссообразование представляет собой литогенетический процесс, охватывающий сингенез, диагенез, эпигенез и метагенез (деградацию лёсса), причем лёссообразование нельзя смешивать с почвообразованием.

П.И. Самодуров полагал, что лёссообразование не ограничивается окислением породы и ее агрегацией в результате свертывания коллоидов. Изменения первичного материала более глубокие.

Как видим, большинство почвенно-элювиальных гипотез не рассматривают способы накопления пылеватых осадков, а рассматривают условия превращения его в лёссовые породы.

5. Эолово-почвенная гипотезе генезиса лессов

На основании полевого изучения лёссов, результатов лабораторных определений физико-механических свойств их, обобщения, систематизации и анализа этих свойств лёссов и теоретических исследований А.Я. Швецовым и Г.В. Швецовой была выдвинута и разработана эолово-почвенная гипотеза происхождения лёссов [64]. При этом широко использовались материалы инженерных изысканий ООО «АлтайГИСИЗ» на территории Алтайского края.

На основе этой гипотезы автор подготовил и защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Эолово-почвенная гипотеза происхождения лёссов Алтая и их инженерно-геологические особенности» [91].

Научная новизна гипотезы: эта гипотеза выдвинута впервые. В капитальном труде «Лёссовые породы СССР» эолово-почвенная гипотеза даже не упоминается, хотя в этой монографии рассматриваются все известные другие гипотезы.

5.1. Обоснование эолового накопления пылеватых осадков

В геологическом строении Степного Алтая участвуют нижне-среднеплейстоценовые субаэральные отложения красnodубровской свиты мощностью 60-100 м и перекрывающие их верхнеплейстоценовые покровные лёссы мощностью 5-13 м. Покровные лёссы представлены суглинками и супесями палево-желтого цвета, от твердой до тугопластичной консистенции, макропористой текстуры и обладают просадочными свойствами.

Исследованиями А.А. Свиточа (1978 г.) и др. установлено, что в течение верхнеплейстоценовой и современных эпох Степной Алтай представлял собой сушу [45]. Климат был континентальный, господствующий ландшафт степной, в меньшей степени лесостепной. Накопление осадков происходило в субаэральном условиях при медленном поднятии территории.

Верхнеплейстоценовые лёссовые отложения занимают на Алтае возвышенные части рельефа, водораздельные пространства, поэтому нельзя объяснить их формирование в результате делювиальных, пролювиальных или коллювиальных процессов. Сухой континентальный климат, наличие континентальной фауны и флоры отвергает морской (лагунный) и озерный генезис лёссов.

Площадное развитие верхнеплейстоценовых осадков (они занимают огромные пространства в крае, 400x400 км), их явно покровный плащеобразный характер не позволяет считать лёссы аллювиальными образованиями.

Верхнеплейстоценовые просадочные грунты залегают на разновозрастных элементах рельефа и на разных абсолютных отметках, почти не меняя своей мощности.

Таким образом, отвергаются все возможные способы формирования первичных пылеватых минеральных осадков, за исключением эолового их образования, что хорошо согласуется с покровным залеганием лёссов. Эоловый способ переноса и отложения терригенного материала на склонах увалов в какой-то мере был осложнен делювиально-пролювиальными процессами.

Эоловые процессы имеют наибольшее значение и распространение из числа экзогенных процессов и направлены на нивелирование поверхности Земли, ее денудацию. Деятельность их характеризуется планетарным масштабом и оказывает сильное воздействие на почвы.

На территории России широкое, почти повсеместное распространение имеет слой терригенных пород, сформировавшихся в верхнеплейстоценовое время и венчающих разрез геологических отложений. Он залегает непосредственно под почвой в виде плащеобразного покрова на огромных водораздельных пространствах. Это свидетельствует о его преимущественно эоловом происхождении.

Основная часть страны является областью аккумуляции эоловых отложений (в годовом балансе выноса и накопления эоловых осадков). Некоторые южные регионы (в том числе Алтайский край) находятся в переходной зоне от областей дефляции к областям накопления эоловых отложений. Но все же их годовой баланс также смещен в сторону отложения эоловых частиц.

При преимущественном распространении территорий накопления эоловых осадков отдельные площади (горные участки и др.) являются зонами дефляции. Абсолютными областями дефляции являются территории с преобладанием (в годовом цикле) выдувания частиц над их аккумуляцией. Но так как процессы выноса частиц наблюдаются повсеместно, то относительной областью дефляции является буквально каждый участок суши.

Областями дефляции для Алтая служили, по-видимому, степные районы Кулунды, степи и полупустыни Казахстана и, в меньшей степени, пустыни и полупустыни Средней Азии.

Расстояние переноса частиц от нескольких километров до 2-3 тыс. км. На возможность дальнего переноса эоловой пыли (до 3-4 тыс. км) указывают академик В.А. Обручев (1911 г.), Б.А. Федорович (1957 г.), Г.Т. Смит и др. [13, 47, 49, 91]. В.А. Обручев считал, что в Сибирь эоловый материал поступает из Киргизской степи, под которой он подразумевал Казахстан.

Как известно, в северном полушарии Земли в средних широтах (40-60° с.ш.) преобладают планетарные западные и юго-западные ветры. Так, масса эолового материала по розе ветров в несколько этапов (а при продолжительных ветрах, сильных бурях за один этап) переносится из пустынь и полупустынь Средней Азии в Казахстан, из Казахстана этот материал доставляется на Алтай. Отсюда ветровыми потоками он транспортируется в Новосибирское Приобье, в Кузнецкую котловину и далее на северо-восток.

Таким образом, Алтай, являясь областью накопления осадков, в то же время представляет собой относительную область дефляции по отношению к Кузнецкой котловине и Новосибирскому Приобью.

Б.А. Федорович отмечал тесную связь между параболическими дюнами, ленточными песками Северного Казахстана, Кулунды и лёссовыми увалами Алтая, «...образование которых нельзя отрывать от процессов переивания песков» [49]. Сложенные лёссами гривы Алтая ориентированы в северном и северо-восточном направлении, «в точности соответствующим направлению господствующих ветров».

В Степном Алтае при равнинном рельефе создавались благоприятные условия для ветрового перемещения масс из южных и юго-западных более теплых территорий с повышенным давлением (Казахстан) в северные и северо-восточные более холодные области пониженного давления Западно-Сибирской низменности и Восточной Сибири.

Этот фактор был определяющим в течение всего верхнеплейстоценового времени. При этом превалировал эоловый перенос пыли на средние расстояния из Северного Казахстана и Кулунды далее на Алтай (50-1000 км). При сильных постоянных ветрах и бурях был возможен дальний перенос частиц пыли из Средней Азии.

Накопление экзотического эолового материала сопровождалось привнесением местной (энтопической) пыли. Переувлажнению подвергались почвы, а также незакрепленные пески Барнаульской, Касмалинской и др. древних долин стока.

При приближении к ним от водораздельных пространств, слагающие лёссовые толщи суглинки зачастую сменяются супесями, в разрезах появляются маломощные прослои песков, а в непосредственной близости к этим долинам в составе пород зачастую преобладают пылеватые пески (к примеру, район Власихинской промышленной площадки в Барнауле).

Процессы эолового переноса и отложения терригенного материала протекают и в современное время, на что указывают захоронения в покровных лёссовых толщах архитектурных памятников и частые пыльные бури, во время которых переносятся огромные массы минеральных частиц.

Так, по данным З. Кукала в марте-апреле 1960 г. на Северном Кавказе произошла буря, сдувшая почву на площади 4 млн. га [12]. Общий вес перемещенной пыли 960-1280 млн. т. Она была развеяна по всему Балканскому полуострову (расстояние переноса 2,0-2,5 тыс. км).

Пыльные бури явление не редкое. По материалам Г.Ф. Якубовича (!956 г.), в соседней с Алтаем Павлодарской области Северного Казахстана (являющейся предполагаемой областью дефляции, материал которой перемещается на Алтай) число пыльных бурь по ст. Михайловка в 1951 г. составило 56, в 1952 г. – 42 [91].

Сильные бури характерны и для Алтая. Так, 26 мая 1948 г. Л.Н. Грибанов наблюдал сильную пыльную бурю близ с. Михайловского (юго-западная окраина Алтайского края): «В течение 30 минут наступила полная «ночь»...Сидя в кабине автомобиля, я не видел перед собой даже радиатора» [7]. Скорость ветра достигала 15-20 м/с.

Большое количество пыльных бурь на Алтае отмечалось в 1950-1956 гг. В 1951 г. продолжительность пыльных бурь составила 31 день [91], В 1953 г., 18-19 августа наблюдалась длительная сильная пыльная буря (18,3 часа).

5.2.Превращение пылеватых эоловых осадков в лёсс.

Участие осажденных пылеватых осадков в процессах почвообразование. Превращение их в почвенные горизонты A_1 , затем B_1 и, наконец, в лёссы

Образование лёссов не происходило путем простого механического накопления эоловой пыли. Терригенные эоловые частицы попадали на почву. При непрерывном существовании растительного покрова они сингенетично

накапливались с органической массой (наземный опад). Поступающие эоловые частицы включались в процесс почвообразования – взаимодействия растений, животных и продуктов их распада с минеральными соединениями, водой и воздухом пор (64, 65, 91).

Формирующаяся при этом почва, вовлекаясь в цикл почвообразовательных процессов, обуславливала рост вверх **гумусового горизонта A_1** почвенного профиля [64, 91]. Одновременно нижняя погребаемая часть профиля почвы (гумусовый горизонт A, существовавший до накопления новых порций эолово-органогенного материала) ввиду роста почвенного профиля вверх постепенно выводилась из сферы активного почвообразования.



Рис. 2. Почвенный разрез чернозема выщелоченного.
Ниже почвы лёсс

При этом в значительной мере происходило разложение гумуса, а минеральная составляющая почвы получала еще большее превалирование, грунт приобретал более светлую окраску. И таким образом, этот горизонт постепенно (от нижних частей его к верхним) трансформировался в так называемый переходный **почвенный горизонт B_1** почвенного профиля.

Он испытывал большое влияние от почвообразовательных процессов, активно идущих в новом вышерасположенном горизонте A_1 . В новообразованном горизонте B_1 проходил заключительный этап почвообразовательных процессов и затем начались почворазрушительные процессы. Интенсивно протекали процессы выноса и аккумуляции веществ (в частности, в иллювиальном горизонте происходило накопление карбоната кальция).

При дальнейшем накоплении эоловых осадков и соответствующем росте почвенного профиля вверх (т.е. при дальнейшем увеличении мощности почвы над рассматриваемом горизонтом B_1) и продолжающемся развитии

процессов диагенеза (в том числе уплотнение грунта, разложение остаточного гумуса, разрушение первичных минералов и образование вторичных) новообразованный почвенный горизонт В₁ постепенно преобразовался в лёсс, лишенный признаков почвы (иногда сохраняющий ее реликты), с весьма небольшим содержанием гумуса (как правило, доли процента) или с полным его отсутствием.

Геохимические изменения пылеватых осадков в процессах почвообразования, способствующие превращению их в лёсс [64,91].

Почвообразование – сложный комплекс процессов, включающих в себя одновременно процессы: механической аккумуляции эолового материала; биологической аккумуляции и выделения веществ при биологическом круговороте; геохимические изменения при взаимодействии живых существ и минералов; поступление и вынос легко- и среднерастворимых солей.

Одним из основных процессов почвообразования является взаимодействие живых организмов и продуктов их гумификации с эоловым материалом. Почвообразование на Алтае в верхнем плейстоцене происходило, в основном, в степных и лесостепных условиях при существовании окислительного режима в почвах. Подкисление почвенных растворов осуществлялось органическими кислотами, выделяемыми организмами при жизни, а также освобождающимися при отмирании растений и животных.

Кислые почвенные растворы воздействовали на минеральные частицы, способствовали их разложению и разрушению, синтезу вторичных минералов и органоминеральных комплексов. При этом часть веществ выносилась почвенными растворами.

Опытные исследования, проведенные В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (1980 г.), показали, что по отношению к воздействию гумусовых кислот минералы подразделяются на легкоразлагаемые (нефелин, вермикулит, мусковит, биотит, монтмориллонит) и устойчивые (кварц, каолинит, микроклин, плагиоклаз) [36]. Таким образом, в начальные периоды почвообразования происходит увеличение относительного количества кварца, полевых шпатов и каолинита. При длительно развивающемся процессе почвообразования разложению подвергаются и полевые шпаты.

Черные гуминовые кислоты при взаимодействии с минералами обеспечивают вынос из продуктов разложения полуторных окислов и накопления кальция. Бурые гуминовые кислоты при разложении минералов способствуют выносу кремнезема и увеличению концентрации полуторных окислов, особенно Fe₂O₃. Фульвокислоты, разлагая минералы, вызывают вынос кремнезема, кальция и накопление полуторных окислов, особенно Al₂O₃. Мигрируя вниз, гумусовые кислоты взаимодействуют с освобождающимися полуторными окислами и образуют с ними подвижные комплексные соединения.

Освобождающиеся при выветривании и вынесенные в нижние горизонты почв, окислы железа дегидратируются и обуславливают красновато-коричневый цвет грунтов.

Течению геохимических процессов по разложению первичных минералов способствует обогащение почвенных растворов солями, поступающими с атмосферными водами. По данным М.А. Глазовской (1972 г.) в дождевых и талых водах в среднем растворено 30 мг/л минеральных веществ [6].

В степной зоне ежегодное поступление минеральных солей равно 60-100 кг/га, что составляет 2,3% от поступления эоловых терригенных частиц покровных лёссов.

Проникая в почву, растворы этих солей в значительной мере обуславливают растворение, коррозию минеральных зерен и обломков пород. Избыточная влага, не связанная с минералами, в виде конституционной, кристаллизационной, цеолитной, осмотической воды и не вошедшая в биологический круговорот, транспортируется ниже гумусового слоя, формируя соленосные (гипсовые и др.) генетические горизонты почвенного профиля.

Для Алтая источником солей является Кулундинский соленосный бассейн с его более 100 солеными и солоноватыми озерами, насыщающими атмосферу солями при испарении и последующей дефляции.

Синтез органических веществ и влияние их на превращение пылеватых осадков в лёсс [64, 91].

При частичном растворении эолового материала некоторая часть его поглощается из почвенных растворов живыми организмами, что способствует синтезу органических веществ. Растения усваивают калий, фосфор, серу, кремнезем и др. После отмирания растительных осадков эти элементы остаются в почве в составе гумуса (позднее они войдут в состав лёсса). Гумусовые вещества придают почве черновато-серую окраску. Гумус со временем минерализуется, превращаясь в углекислый газ, воду и минеральную зольную часть.

Поступление в почву зольных элементов (позднее они останутся в лёссе) значительно: по данным Л.С. Родина и Базилевича (1965 г.) в разнотравно-злаковой луговой степи Приобского плато Алтая при биомассе растений в 230 ц/га и опаде 130 ц/га возвращается в почву ежегодно 4,2 ц/га зольных элементов, в том числе 2,6 ц/га с зелеными частями растений и 1,6 ц/га с корневыми остатками [43].

При минерализации гумуса связанный с ним кальций освобождается в форме $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который вымывается из гумусового горизонта атмосферными водами (почвенными растворами) и осаждается в подгумусовом горизонте в виде CaCO_3 , формируя карбонатный горизонт почвенного профиля, впоследствии обусловит повышенную карбонатность лёсса.

Основываясь на золово-почвенной гипотезе образования лёссов, можно дать объяснение таким важным их особенностям, как агрегатное строение, повышенная карбонатность, макропористость, недоуплотненное состояние и просадочные свойства. Дискуссии по этим вопросам продолжаются и в настоящее время.

5.3. Формирование агрегатной структуры лёссов

Формирование агрегатной структуры лёссов связано с почвенными процессами [64, 91]. Она создавалась, в основном, когда грунт находился в стадии гумусового горизонта А. Корни и корневые волоски растений, а также деятельность животных, разделяли почвенный материал на отдельные комочки и микрокомочки.

При разложении отмерших органических остатков образовывалось гумусовое вещество (органические кислоты), которое при взаимодействии с золовым материалом связывалось основаниями, образующимися при разложении минералов.

Так возникали коллоидные органоминеральные соединения. Последние, коагулируя, выпадали на поверхности минеральных зерен, способствуя их склеиванию и формированию водоустойчивых агрегатов различного порядка [6].

Упрочнение структуры агрегатов происходило, когда грунт находился в стадии переходного горизонта В, посредством цементации частиц глинистым веществом, отлагающимися солями фильтрующихся атмосферных осадков, а также солями, образующимися при почвенных процессах (карбонатом кальция, гидроокислами железа, гипсом и др.).

Среди исследователей лёссов имеются разногласия по объяснению **повышенной карбонатности этих пород**, характерной для всех лёссовых провинций. Известно, что в почвенном профиле черноземов и каштановых почв (в степном Алтае почвы преимущественно черноземные, лишь в южной части края каштановые) под поверхностным гумусовым горизонтом А и горизонтом АВ формируется горизонт вторичной аккумуляции карбоната кальция ВСа. Согласно приведенной гипотезе, стадию подповерхностного горизонта ВСа прошел весь слой лёссовой толщи. Поэтому повышенное содержание карбоната кальция в лёссе отмечают не только под почвой, но и во всей толще лёсса [64, 91].

5.4. Формирование макропор и просадочных свойств лёсса

Переходя к рассмотрению просадочных свойств лёсса, их формированию, следует отметить, что в основном, они обусловлены первичным недоуплотнением грунта и наличием в нем макропор. Пористость лёссовых просадочных отложений Приобского плато колеблется от 40 до 56% [50, 64, 91]. Значения меньше 40% и больше 56% отмечаются редко. Наиболее характерная ее величина 44-49%.

Просадочность грунтов, как правило, связывается с наличием макропор. Обычно нижняя граница просадочной толщи совпадает с границей между макропористыми лёссами и грунтами без макропор. Наличие макропор – полевой признак просадочности грунтов. Количество макропор в лёссах различно: от 1-3 на 1 см² до 8-10 на 1 см², на отдельных участках до 15-20 пор на 1 см². Чаще же на 1 см² встречается 2-3 макропоры.

Форма их, как правило, цилиндрическая (трубчатая), вытянутая. Сечение округлое. Диаметр макропор от 0,1 до 3 мм, чаще 0,5-1,5 мм. Расположены они субвертикально. Длина их различна: от долей сантиметров до нескольких десятков сантиметров. Нередко эти каналцы имеют ответвления. Иногда встречаются изометричные макропоры.

Судя по трубчатой форме макропор, их субвертикальности, происхождение большинства из них связано с ростом и отмиранием корней растений. Корни пронизывают всю почву густой сетью. Количество корней велико.

Так, по данным М.А. Глазовской, за 1000-летний период существования почвы количество синтезирующегося и вновь разложившегося органического вещества (т.е. корней) в 1 м³ почвенной толщи составляет 500-600 кг, т.е. около 1/3 веса минеральной части [6]. О количестве корней и их влиянии на образование макропор говорит такой факт: у одного из типичных луговых растений, мятлика, длина корней, сосредоточенных в 1 дм³ верхнего горизонта почвы, составляет 553 м, а длина корней волосков в этом же объеме – 73 км [6].

Формирование макропор не заканчивается при выведении грунта из сферы активного почвообразования. По Е.А. Афанасьевой количество корней в единице объема на глубине 1,2 м лишь в 3 раза меньше, чем на глубине 0,1-0,2 м, а на глубинах от 1,2 м до 3,0 м количество их слабо изменяется и составляет десятую весовую часть корневой массы горизонта 0,1-0,2 м, т.е. в лёссе до глубины 3 м постоянно и активно продолжается процесс формирования макропор и в настоящее время [6].

Соответственно, и в нижележащих слоях точно так же на протяжении длительного времени после выведения их из сферы почвообразования еще продолжалось формирование макропор.

Можно считать, что процесс их образования на Алтае ориентировочно охватывает 7 тыс. лет (при возрасте всей 9,5 метровой толщи просадочных лёссов в 22,4 тыс. лет) [45]. Таким образом, макропоры по отношению к грунту являются сингенетическими, в меньшей мере эпигенетическими.

Помимо растений большое участие в формировании макропор принимают многочисленные представители животного мира: черви, личинки жуков, кроты и др. землерои. Полости животного происхождения составляют заметную часть порового пространства и, в основном, являются сингенетическими. По сведениям В.В. Докучаева на одной десятине отмечалось до 1,836 млн. личинок хлебных жуков [64, 91].

Не исключается образование определенного количества пор и при циклическом промерзании и оттаивании пород (формирование пор при промерзании грунтов в результате процессов пучения и образование стяжений льда).

Некоторая часть порового пространства грунта непосредственно обязана неплотному сложению эоловых частиц в почве из-за отсутствия внешней нагрузки на них, «дыханию» почвы при ее промерзании и оттаивании.

5.5.Изменение плотности грунтов и пористости с глубиной в разрезах лёссовых отложений

Выше было отмечено, что просадочность лёссов связана с недоуплотнением грунтов и наличием макропор. В разрезах лёссовых отложений Алтая плотность грунтов закономерно увеличивается с глубиной (за некоторым исключением), Соответственно, с глубиной уменьшается их пористость. Эта тенденция наблюдается, начиная с почвенных горизонтов [50, 64, 66, 91].

В монографии «Почвы Алтайского края» (1959 г.) указывается, что на Приобском плато плотность собственно гумусового горизонта черноземных почв (горизонт А мощностью 18-39 см) колеблется от 890 до 1118 кг/м³, пористость от 55 до 62% [91]. Плотность почвы нижележащего горизонта (иллювиальный горизонт В, интервал глубин от 18-39 см до 52-88 см) изменяется от 1170 до 1410 кг/м³, пористость от 49 до 58%. Плотность подстилающего их грунта (интервал глубин от 52-88 см до 100 см) колеблется от 1290 до 1450 кг/м³, пористость от 49 до 56%.

Как видно, плотность от верхнего горизонта почв к верхнему горизонту лёссов постепенно (закономерно) увеличивается. Плотность нижележащих лёссовых просадочных суглинков в интервале глубин от 1 до 10 м в целом по Приобскому плато изменяется от 1430 кг/м³ до 1740 кг/м³ [50]. Средняя плотность грунтов 1650 кг/м³, средняя плотность в сухом состоянии 1450 кг/м³, средняя пористость 46,4%.

Таким образом, в разрезе лёссовых просадочных грунтов с глубиной наблюдается увеличение плотности грунтов и уменьшение их пористости. С глубиной на каждый погонный метр плотность повышается в среднем на 0.31 кг/м³, а пористость уменьшается на 1,0%.

5.6.Сохранение просадочных свойств лёссов

Сохранению просадочных свойств лёссов (до глубины 8-13 м) способствовала благоприятная климатическая обстановка в верхнеплейстоценовую и современную эпохи: континентальные условия с относительно небольшим количеством осадков и значительным испарением, о чем свидетельствует характерный для этого периода типичный степной ландшафт [64, 91].

При этом формировались, в основном, черноземные и каштановые почвы с непромытым режимом, наблюдаемые на Алтае и в настоящее время. Как известно, просадочные лёссовые отложения имеют территориальную приуроченность именно к таким почвам.

Образующиеся покровные лёссы в течение всего этого длительного времени (22,4 тыс. лет) [45], в основном, имели низкую влажность, при которой не происходило разрушение структурных связей лёссов. Это в значительной мере способствовало сохранению макропористости (а значит и просадочных свойств лёссов) при накоплении новых поступлений эолового материала, погружении грунтов на большие глубины, т.е. при повышении давления от вышележащих осадков.

Но при этом грунты все же подвергались некоторому уплотнению от возрастающих нагрузок, и с глубиной постепенно уменьшалась пористость и снижалась относительная просадочность грунтов. На глубине 8-13 м, где вертикальное напряжение от собственного веса грунта достигает 0,16-0,20 МПа, грунты уже заметно уплотнены, приобрели низкую пористость (41-43%), а просадочные свойства ими утрачены [50, 66, 91].

Консервация макропористости и просадочных свойств грунтов была все же возможна в условиях, когда лёссы обладали повышенным содержанием легко- и среднерастворимых солей, фиксирующих, цементирующих стенки пустот (макропор). Такие просадочные грунты с более жесткими структурными связями могут встретиться и на больших глубинах (15-25 м), залегая среди непросадочных грунтов. Подобные грунты иногда отмечались при изысканиях на Приобском плато (к примеру, в районе сел Володарка и Шадрино).

Итак, согласно эолово-почвенной гипотезе покровные лёссы Алтая – это продукт, полученный в результате седиментации эоловых осадков на почву, вовлечения их в почвообразовательные процессы, развития и завершения почвообразовательных процессов при сингенетическом накопления эолового материала и органогенной массы, а также в результате дальнейших диагенетических преобразований почвы (почворазрушительных процессов) при выведении ее из сферы активного почвообразования из-за роста вверх почвенного профиля, обусловленного отложением новых порций эоловых частиц. После завершения почворазрушительных процессов получился лёсс.

Апробация гипотезы. Основные положения эолово-почвенной гипотезы генезиса лёссовых грунтов докладывались на Всесоюзной конференции в г. Барнауле (1990 г.), посвященной лёссовым просадочным грунтам, а также опубликованы в журнале Академии Наук России «ГЕОЭКОЛОГИЯ Инженерная геология, Гидрогеология, Геоэкология» (№ 4, 1992 г.) [63, 64].

6. Распространение лёссов на Алтае

Основными геоморфологическими структурами I порядка Алтайского края являются Западно-Сибирская низменность (ее юго-восточная часть) и Алтае-Саянская горная система, представленная системой горных хребтов Алтая и Салаирским кряжем. В пределах Западно-Сибирской низменности, степной и лесостепной территории Алтайского края, выделяются следующие геоморфологические структуры II порядка: Кулундинская равнина (низменность), Приобское плато, Бийско-Чумышская возвышенность (плато), Предалтайская и Предсалаирская предгорные равнины и межрегиональная структура – долина р. Оби [2, 50].



Рис. 3. Обнажение лёссов в обрыве долины Оби. Фото В. Четошникова

Лёссы на Алтае распространены широко, охватывая территории всех вышеприведенных геоморфологических структур II порядка. Залегают они плащеобразно, образуя покров плейстоценовых отложений, венчая их.

Покровное отложение лёссов отмечается на самых различных геоморфологических структурах II порядка. Подстилающие отложения могут иметь различный генезис, возраст и литолого-петрографический состав.

Лёссы занимают водораздельные пространства увалов, а также их склоны. При крутизне склонов до $10-12^{\circ}$ формируются обычные лёссы, для которых поступление пылеватых осадков обусловлено эоловыми процессами. Влияние делювиальных, пролювиальных и коллювиальных процессов незначительно. На более крутых склонах осадки имеют сложный генезис: в седиментации осадков принимают участие все вышеприведенные процессы.

На геоморфологических структурах лёссы занимают почти всю территорию. Исключение составляет Кулундинская низменность, где имеются значительные площади, где лёссы отсутствуют, а также Алтайская предгорная равнина, где на отдельных участках выступают коренные породы [50].

В долинах некоторых рек лёссы также отмечаются: в долине Оби на II III и IV надпойменных террасах, в долине Бии на IV террасе, в долине Барнаулки на III террасе, спорадически на II террасе, в долине Алея и др. рек [50]. В долинах рек лёссы имеют особенность: как правило, они представлены супесями, суглинками встречаются значительно реже. В составе толщ наблюдаются прослойки песков. Лёссы развиты на террасах не всех рек. На I надпойменных террасах они отсутствуют.

7. Общие сведения об основных геоморфологических структурах Алтая: распространение, рельеф, ландшафты, почвы, геологическое строение и гидрогеологические условия

Приобское плато занимает значительную часть Алтая, располагаясь в левобережье долины Оби. Восточная граница плато – долина р. Чарыша, на западе оно граничит с Кулундинской низменностью [2, 50].

Это слабоволнистая равнина, разделенная на отдельные увалы «долинами древнего стока». Рельеф полого-увалистый, холмисто-увалистый. Абсолютные отметки местности изменяются от 180-до 325 м.



Рис. 4. Приобское плато

Ландшафты Приобского плато вне распаханых площадей представлены злаково-разнотравной ковыльной степью, реже колочными лесами и кустарниками на обыкновенных и выщелоченных черноземных почвах, реже черноземах южных и каштановых почвах (в южной части плато) [2]. Как известно, черноземы одни из плодороднейших почв мира, что обусловлено высоким содержанием в них гумуса.

В восточной части плато – лесостепные ландшафты.

Луговые степи и остепненные луга перемежаются с лесными участками и степными колками. Леса, в основном, сосновые. Степные колки заняты, преимущественно, березами.

На Приобском плато находятся 6 субпараллельных долин рек: Бурлы, Кулунды, Касмалы, Барнаулки, Алея и Порозихи. Эти долины получили название «древние ложбины стока». Они прорезают плато с юго-запада на северо-восток, в соответствии с господствующим направлением ветров. Длина их от 100 до 300-400 км при ширине 7-25 км и глубине вреза в отложения кочковской и красnodубровской свит 50-100 м.

Ложбины выполнены аллювиальными средне-верхнеплейстоценовыми осадками касмалинской свиты (Q_{II-III} ks), представленных, в основном, песками [50].

Вдоль рек Барнаулки, Касмалы, Кулунды и Бурлы в пределах Приобского плато и Кулундинской равнины прослеживаются ленточные сосновые боры, приуроченные к древним долинам стока [2, 50].



Рис. 5. Березовый лес в степном блюдце (колке).

Всего насчитывается 5 ленточных сосновых боров: Барнаульский, Касмалинский, два Кулундинских и Бурлинский.

Геологическое строение. Определяющими инженерно-геологические условия плато являются геолого-генетические комплексы: средне-верхнеплиоценовых озерно-болотно-аллювиальных отложений кочковской свиты (N_2 ks), нижне-среднеплейстоценовых осадков красnodубровской свиты (Q_{I-II} krd) и верхнеплейстоценовых лёссов (saQ_{III}) [50].

Кочковская свита широко распространена в пределах Приобского плато, слагая основание всех крупных увалов. Отложения ее залегают на глинах и песках павлодарской свиты. Нижняя часть кочковской свиты сложена серыми полимиктовыми мелкими песками, а верхняя – бурыми и серыми глинами и тяжелыми суглинками. Глубина залегания кровли кочковской свиты изменяется от 1-2 м в долинах рек до 150 м на водораздельных пространствах. Мощность свиты 70-100 м.

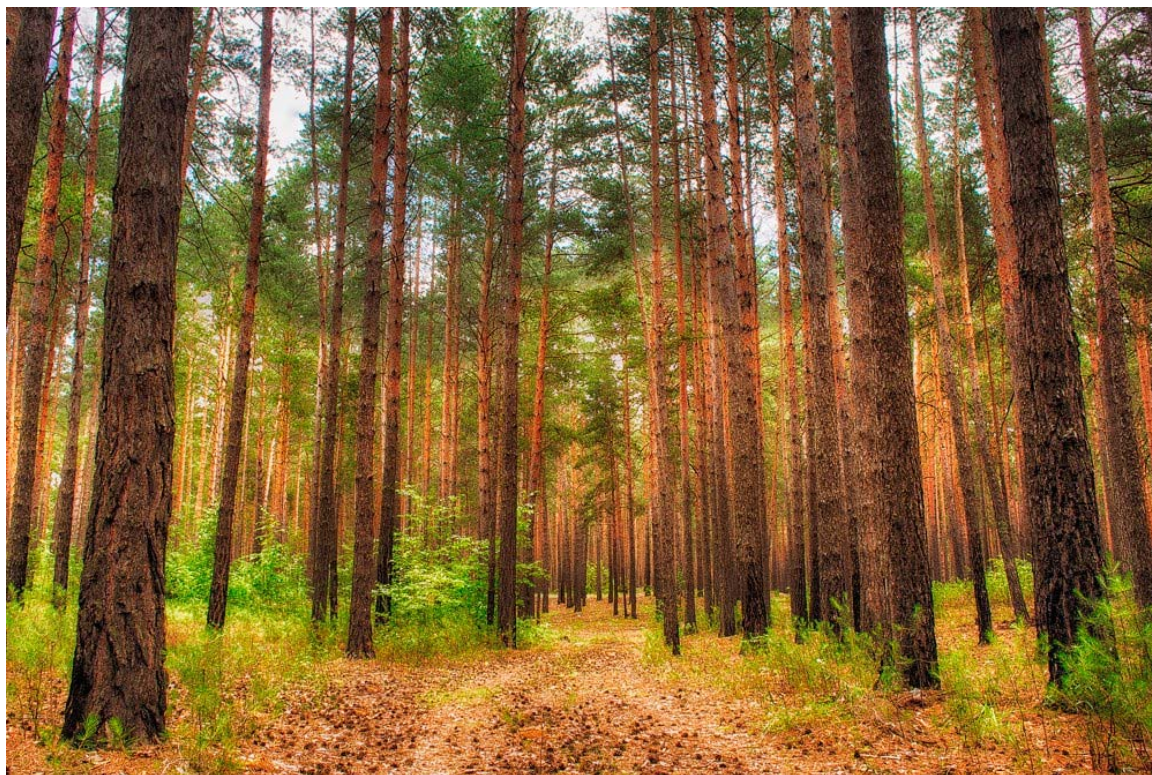


Рис. 6. Ленточный сосновый бор

Отложения красnodубровской свиты слагают увалы плато. В строении ее участвуют (снизу вверх): пески серые полимиктовые мелкие и средней крупности, суглинки желто-бурые плотные, супеси темно-серые, пески желто-серые мелкие и средней крупности с прослоями супесей и суглинков. Среди осадков свиты отмечается несколько прослоев погребенных почв. Мощность свиты 50-150 м.

Лёссы представлены суглинками и супесями буровато-серого и светло-желтого (палевого) цвета. С глубиной окраска становится более бурой. Консистенция твердая и полутвердая. В понижениях и «степных блюдцах» консистенция лёссов нередко тугопластичная. Мощность лёссов 8-13 м, чаще 10-12 м.

Гидрогеологические условия [50]. В пределах Приобского плато часто встречается верховодка. Глубина залегания ее от 0,5 до 3-6 м.

Грунтовые воды на водоразделах залегают на глубине 10-45 м, на склонах и понижениях от 2 до 10 м. Воды, преимущественно, гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные кальциево-магниевого.

Минерализация обычно до 1 мг/дм³, на отдельных участках немного превышает этот предел.

Бийско-Чумышская возвышенность - это возвышенная равнина (плато). Расположена она между IV надпойменной террасой Оби (Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равниной) и Предсалаирской равниной (между долинами Оби, Бии и Чумыша) [2, 50].

По простиранию она вытянута в северо-западном направлении. Рельеф холмисто-увалистый и полого-увалистый. Абсолютные отметки местности 200-300 м в северо-западной части плато и 350-400 м в юго-восточной части. Плато расчленено речной сетью, балками и оврагами.

Ландшафты - лесостепные (остепненные луга и луговые степи в сочетании с березовыми и осиново-березовыми лесами и колками). Почвы – черноземы выщелоченные, лугово-черноземные, серые и темно-серые лесные, местами лугово-болотные. Территория сильно распаханна.

Геологическое строение [50]. Палеозойский фундамент залегает на глубине 170-200 м. На нем лежат отложения платформенного чехла палеогеновой, неогеновой и плейстоценовой систем, представленные породами континентального генезиса.



Рис.7. Бийско-Чумышская возвышенность

Широкое развитие получили средне- верхнеплиоценовые озерно-болотно-аллювиальные отложения кочковской свиты, нижне-среднеплейстоценовые осадки краснодубровской свиты и верхнеплейстоценовые лёссы.

Нижняя часть кочковской свиты сложена серыми полимиктовыми мелкими песками мощностью 12-50 м, а верхняя – бурыми и серыми глинами и суглинками мощностью 20-50 м.

Отложения краснодубровской свиты представлены мощной толщей чередующихся пачек песков серых мелких и средней крупности (преимущественно, в нижней ее части), суглинков и супесей бурых и желтовато-серых. Количество таких пачек достигает 10-12. Среди осадков свиты отмечается прослой погребенных почв. Подошва свиты залегает на глубинах до 100-150 м. Мощность свиты 120-150 м.

Лёссы представлены суглинками, реже супесями буровато-серого и светло-желтого (палевого) цвета, макропористыми. Консистенция твердая и полутвердая, в понижениях тугопластичная. Мощность лёссов 5-10 м. чаще 9-10 м.

Плато прорезается долинами рек Лосиха, Большая Речка, Чемровка.

Гидрогеологические условия. Верховодка развита довольно широко. Встречается, преимущественно, в пониженных местах рельефа. Нередко образует заболоченность местности [50].

Грунтовые воды приурочены к толщам песков краснодубровской свиты на глубинах от 2 до 30 м.

Кулундинская низменность – это низменная плоско-вогнутая озерно-аллювиальная равнина, расположенная в западной части края, юго-западнее Приобского плато [2, 50]. Абсолютные отметки изменяются от 96 до 200 м.

Максимальную площадь низменности занимают плоские и слабоволнистые равнины с гривно-западинным рельефом, с многочисленными «степными блюдцами». При движении от центральной части низменности к периферии отмечаются две концентрически размещающиеся поверхности. На территории первой абсолютные отметки местности колеблются от 125 до 145 м, а в районе второй они повышаются до 150-160 м.

В южной части Кулунды распространены бугристо-грядовые равнины с абсолютными отметками 160-200 м.

В Кулунде много соленых озер (порядка 100). Из них наиболее крупные: Кулундинское, Кучук, Большое Топольное, Яровое. Малое Яровое, Бурлинское.

Ландшафты степные со степными борами. Значительная часть равнины распахана. Почвы в северо-восточной части Кулундинской низменности черноземы выщелоченные и обыкновенные, в юго-западной части – каштановые [2, 50].

В геологическом строении участвуют следующие геолого-генетические комплексы: верхнемиоценовые-среднеплиоценовые озерно-болотные отложения павлодарской свиты (N_{1-2pv}), средне-верхнеплиоценовые аллювиальные осадки кулундинской свиты (N_{2kl}), средне-верхнеплиоценовые озерно-болотные и аллювиальные отложения кочковской свиты (N_{2kc}),

средне-верхнеплейстоценовые озерно-аллювиальные отложения карасукской свиты (Q_{2-3} krs) [50]. Венчают разрез покровные лёссы.

Образования павлодарской свиты залегают на среднемиоценовых глинах таволжанской свиты ($(N_1)tv$). Нижнюю часть павлодарской свиты слагают пески мелкие и средней крупности мощностью 4-20 м, а верхнюю – глины, супеси и суглинки. Мощность осадков свиты 30-69 м.

Отложения кулундинской свиты представлены желтовато-серыми и серыми песками мелкими, средней крупности, крупными и гравелистыми. Мощность свиты 20-36 м.

Осадки павлодарской и кулундинской свит широко распространены в Кулундинской низменности.

Отложения кочковской свиты распространены в периферийных частях низменности: на севере, востоке и юге. Они представлены бурыми и темно-бурыми глинами и суглинками с прослоями песков. Мощность свиты 5-45 м.

Осадки карасукской свиты распространены в пределах озерной части Бурлинской долины и слагают озерные котловины озер Большое Топольное, Кулундинское и Кучукское. Они представлены в нижней части свиты песками, в верхней – тонкое переслаивание темно-серых супесей, суглинков, реже глин. Мощность свиты 6-50 м.



Рис. 8. Кулундинская низменность

Лёссы в Кулундинской низменности слагают покров, за исключением долины Бурлы и участков крупных озерных понижений. Они представлены желто-бурыми и палево-серыми пылеватыми макропористыми супесями и суглинками, с пятнами ожелезнения, с прослоями пылеватых и мелких песков.

Мощность лёссов непостоянная, изменяясь от 5 до 10 м. В замкнутых понижениях она уменьшается до 3 м, а в низких озерных террасах до 0,5 м.

Верхнеплейстоценовые-современные озерные и озеро-болотные образования слагают сверху озерные террасы и заполняют заболоченные понижения.

Значительные площади низменности с поверхности сложены песками мелкими и пылеватыми. В пределах их распространения развиты эоловые формы рельефа: бугры, гивы, гряды, дюны.

Гидрогеологические условия. В Кулундинской низменности наблюдается большое разнообразие глубин залегания и химизма грунтовых вод [50]. На повышенных площадях (периферийная часть низменности) глубина залегания грунтовых вод 10-14 м. В пределах плоских и слабоволнистых равнин с западным рельефом (отметки местности 130-160 м) глубина залегания их 3-5 м. Вблизи озер глубина уровня грунтовых вод понижается до 0,5-3,0 м.

Разгрузка грунтовых вод производится в озерах.

В районах с повышенным рельефом минерализация вод до 1 г/дм³, а воды по химическому составу гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевые. Воды с минерализацией до 2 г/дм³ и гидрокарбонатно-хлоридным магниевым-натриевым составом распространены южнее озера Бурлинского на глубине от 3 до 5 м. Воды с минерализацией до 5 г/дм³, имеющие хлоридно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый и сульфатно-гидрокарбонатный натриевый состав распространены около соленых озер при уровне грунтовых вод 1-5 м. Около соленых озер Малиновое, Бурсоль и др. отмечены воды с минерализацией 3-5 г/дм³, имеющие сульфатно-карбонатный натриевый состав.

Широко распространен водоносный горизонт кулундинской свиты, приуроченный к гравелистым пескам мощностью 5-20 м. Наибольшая мощность песков отмечается в центральной части низменности, минимальная – на ее периферии. Водоносный горизонт вскрывается на глубинах от 5 до 32 м.

Воды чаще гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 1 г/дм³. На отдельных участках около соленых озер минерализация вод кулундинского водоносного горизонта достигает 1-3 г/дм³, а состав становится сульфатно-гидрокарбонатным и хлоридно-гидрокарбонатным натриевым.

Предалтайская равнина (Алтайская предгорная равнина).

Западная часть ее расположена между Приобским плато и низкогорьем горной системы Алтай, а северная часть – между долиной Оби и низкогорьем Алтая. Длина ее 300 км [2, 50].

Рельеф полого-увалистый и местами холмистый. Абсолютные отметки местности изменяются от 200 до 400 м.

Ландшафты: разнотравно-ковыльная степь, остепненные луга и лесостепь.

Почвы – черноземы обыкновенные, местами черноземы выщелоченные.

Геологическое строение [50]. Палеозойский фундамент залегает на небольшой глубине. В отдельных местах он выступает на поверхность: в долинах рек Алея, Поперечной, Локтевки, Песчаной, а также в виде «останцов» на водоразделах близ сочленения равнины с низкогорьем Алтая.

Выше залегают нижне-среднеплейстоценовые суглинки, реже супеси и пески краснодубровской свиты, мощностью от 10-15 до 30 м с горизонтами погребенных почв. В породах свиты иногда отмечаются щебень и дресва коренных пород.



Рис. 9. Предалтайская равнина

Отложения краснодубровской свиты перекрыты верхнеплейстоценовыми лёссами. Они макропористые, окраска их светло-желтая, желто-бурая, консистенция от твердой до тугопластичной, с конкрециями карбонатов, местами отчетливо видна столбчатая отдельность.

Лёссы отличаются своей неоднородностью, наличием многочисленных включений, прослоев и линз супесей, глин, дресвы и щебня. Мощность лёссов 7-9 м в северо-восточной части равнины. К юго-западу она уменьшается до 2-5 м. Величина возможной просадки при бытовом давлении не превышает 3-4 см.

Грунтовые воды находятся на различной глубине, варьируя от 3-5 до 10-15 м. По составу воды, преимущественно, гидрокарбонатные кальциевые. Минерализация их менее 1 мг/дм³ [50].

Водоносный горизонт краснодубровской свиты также находится на разных глубинах от 5-10 до 15-20 м. По химизму воды чаще гидрокарбонатные кальциевые. Минерализация обычно до 1 мг/дм³,

Предсалаирская равнина расположена между Бийско-Чумышской возвышенностью (плато) и Салаирским кряжем [2, 50]. Длина равнины 200 км при ширине 20-30 км.

Рельеф холмисто-увалистый, расчлененный речной сетью. Глубина вреза 50-70 м. Абсолютные отметки местности 250-325 м.



Рис. 10. Предсалаирская равнина

Ландшафты – остепненные луга и лесостепь с березовыми рощами и перелесками. Почвы - черноземы выщелоченные и оподзоленные, в лесах серые и темно-серые лесные почвы. На дне долин и балок почвы лугово-черноземные, лугово-болотные и торфянисто-болотные [2].

Геологическое строение [50]. Палеозойский фундамент представлен песчаниками и сланцами. Выше расположена мезозойская кора выветривания коренных пород мощностью 30-70 м. Геологический разрез ее (сверху вниз): глины, суглинки, супеси, сильно выветрелые дресва и щебень. На ней залегают широко развитые нижне-среднеплейстоценовые отложения краснодубровской свиты мощностью 20-40 м, представленные суглинками и супесями с прослоями песков. Кора выветривания и породы краснодубровской свиты имеют покровный характер распространения.

Завершают геологический разрез лёссы, обладающие просадочными свойствами до глубины 8-11 м, местами до 13-15 м. Они представлены суглинками, реже супесями. Нижней границей лёссов нередко служит кровля

погребенной почвы. Лёссы также имеют покровное залегание. Цвет их светло-бурый, буровато-желтый, желтый и коричневатого-желтый.

Консистенция от твердой до тугопластичной. По всему слою лёссов наблюдаются макропоры, карбонатность, столбчатая отдельность.

Лёссы Предсалаирской равнины менее пористые, чем лёссы Предалтайской равнины. Но в то же время обладают большими просадочными свойствами, что объясняется их меньшей влажностью и более однородным составом. На отдельных участках отмечается второй тип просадочности. Суммарная величина возможной просадки при бытовом давлении достигает 8-10 см.

Грунтовые воды находятся на глубинах от 5 до 13 м. По составу воды, преимущественно, гидрокарбонатные кальциевые. Минерализация их менее 1 мг/дм³ [50].

Водоносный горизонт краснодубровской свиты находится на глубинах от 10 до 20 м. По химизму воды чаще гидрокарбонатные кальциевые. Минерализация обычно до 1 мг/дм³,

Долина р. Оби. Основной водной артерией региона является река Обь, образовавшаяся при слиянии Катунь и Бии [2, 3, 57, 91]. Длина Катунь – 688 км, Бии – 453 км. Главные притоки Оби в левобережье (сверху вниз по течению): Каменка, Песчаная, Ануй, Алей, Барнаулка, Касмала, Бурла,



Рис. 11. Долина Оби. На переднем плане река Обь, далее пойма и надпойменные террасы Иртыш (за пределами края). В правобережье основные притоки: Чемровка, Большая Речка, Петровка, Бобровка, Лосиха, Чумыш.

Река Обь является одной из крупнейших рек мира. Имеет площадь водосбора 2990 тыс. км² и общую длину с Катунью – 3640 км, а с Иртышом – 5410 км. Ширина долины реки 15-70 км.

Средняя ширина русла Оби в районе г. Барнаула составляет 600-700 м, изменяясь от 360 до 1500 м (с островом). Средний уклон водной поверхности - 7‰ или 7 см на 1 км длины реки.

Глубина реки 3-8 м, в периоды половодий до 10-12 м. Скорость течения воды 1,0-2,0 м/с, в период половодий 2,0-2,5 м/с (иногда до 3,0 м/с).

Гидрограф Оби характеризуется растянутым весенне-летним половодьем и низкой устойчивой осенне-зимней меженью.

Годовая амплитуда изменения уровня в среднем равна 553 см, максимальная - 769 см (1969 г.), минимальная – 424 см (1900 г.).

В высокие половодья пойма Оби затапливается слоем 2-3 м на большей ее территории. Продолжительность затопления поймы составляет 30-35 дней.

В низкие половодья, как в 1998 г., пойма р. Оби практически не затапливается. Вода заходит только в понижения, прорвы.

Самый большой приток Оби – р. Иртыш, длиной 4248 км (длинней Оби).

Долина Оби представлена руслом, низкой и высокой поймой и четырьмя надпойменными террасами. Ширина долины от слияния Катунь и Бии до устья Чарыша 48-70 км, у села Калистратихи – 50 км, у Барнаула – 28 км, у Камня-на-Оби – 35 км. До устья Чарыша пойма, преимущественно, левобережная шириной до 7 км, ширина правобережной поймы 1 км.

Левый берег Оби от устья Чарыша до устья р. Кучук крутой, обрывистый, интенсивно подмывается водами Оби. Здесь отсутствуют надпойменные террасы и слабо развита пойма. Тогда как на правом берегу эти структуры долины имеют большое распространение. Ширина поймы составляет порядка 5-10 км, а надпойменных террас 25-50 км. От устья Кучука до г. Камня-на-Оби развита левобережная пойма шириной 15-25 км.

Русло Оби имеет ширину 0,3-3,5 км (с островами) у слияния Бии и Катунь, и сложено, в основном, песками крупными, реже гравелистыми [50]. Ниже по течению Оби величина песчаных частиц уменьшается: у Барнаула пески мелкие, реже средней крупности, у г. Камня-на-Оби они мелкие, реже пылеватые. В песках отмечаются линзы глинистых грунтов.

Русло неустойчивое, перемещается по пойме, образуя косы, острова.

На поймах Оби наблюдаются аллювиальные луговые слаборазвитые малогумусные почвы и аллювиальные дерновые почвы, а на заболоченных пониженных участках пойм – болотные почвы.

На надпойменных террасах развиты почвы подзолистые, дерново-подзолистые, грунтово-глеевые, лугово-черноземные и луговые с признаками осолодения, а на залесенных площадях – серые и темно-серые

лесные почвы. По минеральной составляющей это обычно песчанистые почвы. Материнская порода - пески мелкие рыхлые.

Низкая и высокая поймы (Q_{IV}) сложены песками, в меньшей степени супесями и суглинками, приуроченными чаще к верхней части пойменных отложений [50, 57].

Отложения I надпойменной террасы (Q_{III}^1) датируются верхним плейстоценом. В составе их, в основном, пески, в верхней части разреза супеси и суглинки. Мощность осадков 5-15 м. На I надпойменной террасе лёссы отсутствуют [50, 57].

Верхнеплейстоценовые осадки II надпойменной террасы (Q_{III}^2) сложены песками с прослоями глинистых грунтов. Мощность отложений 10-25 м. Разрез венчается лёссами мощностью 2-5 м, представленных супесями с прослойками песков [50, 57]. Такие лёссы изучены в г. Камень-на-Оби и в Новоалтайске.

Средне-верхнеплейстоценовые образования III надпойменной террасы (Q_{II-III}^3) имеют песчаный состав [50, 57]. Мощность их 15-30 м. На них также залегают лёссы мощностью 4-7 м. Лёссы представлены супесями. В частности, они отмечены в г. Новоалтайске.

Пески на I-III надпойменных террасах подвержены интенсивной дефляции, перевеяны, образуя эоловые дюны и бугры.

Благодаря этому на молодых первых надпойменных террасах лёссы не сформировались, так как приносимый пылеватый материал терялся в массе песчаных частиц. Поэтому же лёссы имеют ограниченное распространение на вторых террасах и не полностью перекрывают аллювий третьих террас.

IV надпойменная терраса Оби многими авторами (В.С. Арефьев, В.С. Осьмушкин, С.И. Черноусов, А.Я. Швецов и др.) называется **Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равниной** [50]. Она располагается в правобережье Оби между III надпойменной террасой долины Оби и Обь-Чумышским плато (Бийско-Чумышской возвышенностью), протягиваясь от г. Бийска на юге до границы края на северо-западе [2,50, 57]. Ширина ее 18-24 км, в юго-восточной части до 32-35 км.

Рельеф равнины эрозионно-аккумулятивный, полого-увалистый. Поверхность ее имеет слабый уклон к долине Оби и расчленена долинами рек: Чемровка, Большая Речка, Петровка, Бобровка, Лосиха, Повалиха, сухих логов, открывающихся на юго-запад в сторону долины Оби. Долины рек шириной от 100 до 1500 м, глубина вреза 10-30 м.

Ландшафты лесостепные и лесные. Почвы дерново-подзолистые и черноземы выщелоченные.

В геологическом разрезе равнины принимают участие озерно-аллювиальные среднеплейстоценовые отложения монастырской и большереченской свит, перекрытые верхнеплейстоценовыми лёссами [50]. Над урезом воды в Оби они возвышаются на 60-80 м. Отложения монастырской и большереченской свит выполняют глубокий врез в толщину осадков краснодубровской и кочковской свит.

В геологическом разрезе монастырской свиты в Бийском районе в основании ее залегает песчано-гравийно-галечниковый материал, выше по разрезу пески, сменяемые глинистыми отложениями. Мощность пород свиты 15-55 м.

В основании разреза большереченской свиты в Бийском районе залегают гравелистые пески мощностью 15-20 м. Выше располагаются аллювиальные пачки, сложенные песками и супесями, перекрытыми сверху суглинками. Мощность отложений свиты от 60 до 100-120 м.

Лёссы залегают в виде покрова мощностью от 5 до 13 м и широко распространены на IV террасе [50, 57]. Они представлены палево-серыми и желтовато-серыми макропористыми суглинками и супесями с прослоями песков. Отложениям свойственна отчетливая столбчатая отдельность.

В лёссах иногда отмечается верховодка, приуроченная к прослоям песков или к супесям. Грунтовые воды отмечены на глубинах 3-10 м. Воды обычно пресные с минерализацией до 1г/дм³. Они гидрокарбонатные кальциевые. Иногда отмечаются солоноватые воды с преобладанием в анионном составе сульфатов. Грунтовые воды местами обладают слабой углекислотной агрессией по отношению к бетонам нормальной плотности.

Водоносные горизонты большереченской и монастырской свит распространены повсеместно. Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые (большереченский водоносный горизонт) и гидрокарбонатные кальциево-магниевого (монастырский водоносный горизонт).

Лёссы всех геоморфологических структур Алтая имеют характерные признаки типичных лёссов, представляя собой однородную неслоистую высокопористую рыхлую породу желтоватого или желтовато-коричневого (палевого) цвета, сложенную преимущественно пылеватыми частицами, макропористой текстуры, карбонатизированную, способную удерживать отвесные стенки, разбитую вертикальными трещинами, формирующими столбчатую отдельность.

В маловлажном состоянии эти лёссы способны держать вертикальный откос. При замачивании маловлажный лёссовый грунт дает просадку, легко размокает и размывается, а при полном водонасыщении может переходить в плавунное состояние.

Итак, лёссы широко распространены в степном Алтае. Они образуют почти сплошной покров на всех геоморфологических структурах.

Исключение составляют Кулундинская и Предалтайская равнины.

В Кулундинской равнине лёссы образуют сплошной покров в северной и восточной ее части, а в центральной, западной и юго-западной Кулунде лёссы встречаются спорадически, занимая лишь отдельные изолированные площади.

В Предалтайской равнине на участках «останцов» коренных пород лёссы также отсутствуют.

Лёссы отсутствуют в «долинах древнего стока» рек Касмалы, Кулунды и Бурлы. В долинах рек Алея, Барнаулки, Чарыша они отмечаются только на III террасе. Отсутствуют лёссы и в долинах мелких рек.

В горных областях Алтая, где получили развитие делювиально-пролювиально-коллювиальные процессы и в составе покровных отложений присутствует грубый терригенный материал, лёссов почти нет. Хотя эти породы и имеют многие черты лёссовых грунтов, в том числе нередко и просадочность (к примеру, на территории г. Змеиногорска). Но ввиду наличия в них дресвы и щебня отнести их к лёссам нельзя. Лёссы отмечаются лишь на тех ограниченных ровных участках, где в составе отложений отсутствуют дресва и щебень.

Состав лёссов: суглинки и супеси. В Кулунде развиты, в основном, супеси. В них отмечаются маломощные (1-5 см) прослойки песков.

При движении с юго-запада на северо-восток (по преобладающей розе ветров) супеси сменяются суглинками. Так, на Приобском плато и Бийско-Чумышской возвышенности чаще встречаются суглинки, но и супеси имеют развитие, особенно близ долин рек. Здесь в лёссах появляются прослойки песков. В Алтайской и Салаирской предгорных равнинах отмечаются, в основном, суглинки, в меньшей степени супеси.

8. Формирование лёссов в долинах рек Алтая (с позиции эолово-почвенной гипотезы).

Встречающиеся в литературе сведения о наличии в долинах рек просадочных грунтов аллювиального происхождения вызывают сомнения, они противоречат принципу Н.Я. Денисова (1972 г.) о невозможности образования просадочных грунтов в водной среде.

Грунты, упоминаемые в этих публикациях, по-видимому, также как вышеописанные лёссовые грунты долин рек Алтая, имеют эолово-почвенный генезис или полигенное эолово-делювиальное, эолово-пролювиальное происхождение.

На Алтае аллювиальные суглинисто-супесчаные осадки существенно отличаются от покровных лёссовых пород водораздельных пространств. Как правило, для них характерны более темные тона окраски, более высокие пределы пластичности, большая плотность сухого грунта, отсутствие макропористости, нередко наличие органического материала (вплоть до заторфованных грунтов). Просадочными свойствами они не обладают [26]. В то же время просадочные лёссы на террасах рек Алтая встречаются и не так уж редко.

В предыдущем разделе указывалось, что лёссы имеют широкое распространение на II-IV надпойменных террасах Оби [50]. На террасах других крупных рек также отмечаются лёссовые отложения.

На р. Бие в пределах IV надпойменной террасы лёссы изучены у г. Бийска. Мощность лёссовых образований 9-11 м.

На р. Барнаулке лёссы отмечены на III надпойменной террасе (г. Барнаул) [2]. Мощность их 8-10 м.

На II надпойменной террасе лёссы встречены в долине Чарыша у р.п. Краснощеково и в долине Алея у с. Новоалейское.

Наличие просадочных грунтов в долинах рек для некоторых исследователей является неопровержимым доводом в пользу аллювиального происхождения лёссов.

Изучение подобных образований на Алтае показывает, что эти грунты не являются аллювиальными [57, 91].

Среди генетических видов таких просадочных грунтов можно выделить покровные лёссовые образования эолово-почвенного генезиса и смешанные эолово-делювиальные, эолово-пролювиальные, эолово-делювиально-пролювиальные отложения.

Типичным примером покровных лёссовых грунтов эолово-почвенного генезиса в речной долине являются лёссы, сплошным чехлом покрывающие IV надпойменную террасу р. Оби (Обь-Чумышская озерно-аллювиальная равнина) [50]. На этой равнине они занимают площадь порядка 5 тыс. км². Здесь лёссы залегают на аллювиальных осадках монастырской и большереченской свит среднеплейстоценового возраста (пески со слоями супесей и суглинков).

Покровные грунты этой равнины имеют характерный лёссовый облик: цвет их палево-желтый, желтовато-серый, реже серый, текстура макропористая, имеются налеты и гнезда карбонатных солей, пятна ожелезнения, многочисленные червеходы и кротовины, в сухом состоянии грунты держат вертикальную стенку; состоят, в основном, из пылеватых частиц и обладают просадочными свойствами.

Эти просадочные грунты (лёссы) представлены супесями и суглинками. Число пластичности грунтов, в основном, укладывается в пределы 5-10. По существу, это грунты единого петрографического типа. Они имеют низкие значения плотности сухого грунта (1300-1500 кг/м³) и высокую пористость (42-56%).

Эти лёссы до глубины 5-13 м обладают просадочными свойствами. Относительная просадочность грунтов 0,01-0,03, но нередко и выше, иногда достигая значений 0,10-0,14.

Тип грунтовых условий по просадочности первый, но встречаются участки и со вторым типом.

По облику, составу, свойствам и возрасту описываемые грунты близки к покровным лёссовым просадочным отложениям водораздельных пространств Алтая (Приобского плато, Бийско-Чумышская возвышенность и др.) и относятся к единому геолого-генетическому комплексу осадков.

Никаких признаков аллювиального происхождения эти грунты не имеют [26]. По составу флоры и фауны это не водные образования. Формирование их происходило в результате эолового переноса частиц с

вовлечением их в почвенные процессы. Залегают они на аллювиальных грунтах.

Другой пример подобных образований наблюдается в г. Барнауле, где покровные лёссовые грунты перекрывают осадки красnodубровской свиты Приобского плато и пески сочленяющейся с ним третьей надпойменной террасы р. Барнаулки [3, 84, 91].

Покровные лёссы на плато близ террасы и на самой террасе по облику и свойствам одни и те же и отличаются от лёссов, залегающих на плато на удалении от долины, лишь повышенным содержанием песчаных частиц и являются обычно супесями. Эти особенности обусловлены влиянием дефляции песков надпойменных террас р. Барнаулки, т.е. повышением роли местного эолового переноса частиц.

Иной генетический тип просадочных грунтов на надпойменных террасах долин рек – присклоновые эолово-делювиальные (эолово-пролювиальные, эолово-делювиально-пролювиальные) отложения. Эолово-делювиальный шлейф грунтов, перекрывающий на террасах близ склона аллювиальные осадки – довольно распространенное явление в долинах рек в предгорьях Алтая [91].

Эти отложения сформировались в результате ветрового переноса пылеватых частиц, сопровождающемся активным участием сноса материала дождевыми и тальными водами с вовлечением их в почвообразовательные процессы.

Такие отложения прослежены в северной части г. Камня-на-Оби на второй надпойменной террасе р. Оби, в долине р. Чарыша у р.п. Краснощеково и в др. местах.

На надпойменной террасе в районе г. Камня-на-Оби лёссовые грунты представлены суглинками и супесями желтовато-палевого, светло-коричневого цвета, твердой и полутвердой консистенции, макропористой текстуры с включением небольшого количества дресвы (2-3%), с налетами и гнездами карбонатных солей. Грунты просадочные [91].

Возраст их верхнеплейстоценовый. Залегают они на аллювиальных грунтах второй надпойменной террасы р. Оби. Мощность образований 2-9 м.

По внешнему виду и свойствам лёссовые отложения на террасе почти не отличаются от покровных отложений Приобского плато (находящихся здесь же, выше по склону). Единственное существенное отличие – наличие на террасе в их составе небольшого количества обломочного материала, отсутствующего в покровных грунтах плато, но присутствующих в аналогичных отложениях на склоне плато.

Содержание пылеватых частиц в этих грунтах высокое и одинаковое на плато, склоне его и на террасе (в среднем по 77%). Также одинаково содержание и глинистых частиц: для супесей 11% на всех геоморфологических элементах, для суглинков 14% на террасе и склоне и 15% на плато.

Почти совпадают и средние значения плотности сухого грунта: для суглинков они равны 1500 кг/м^3 на плато и 1520 кг/м^3 на террасе и склоне, для супесей 1510 кг/м^3 и на плато, и на склоне, и на террасе.

Также близки величины пористости грунтов: для суглинков она равна 44% на плато и 41% на террасе, для супесей, соответственно, 43 и 41%.

Приблизительно одинаковы и величины просадочных свойств грунтов. Относительная просадочность изменяется в пределах 0,01-0,03, иногда достигая больших значений (до 0,097). Но мощность просадочной толщи на плато больше.

Тип грунтовых условий по просадочности на плато, его склоне и террасе первый.

Таким образом, можно сделать вывод, что лёссовые просадочные грунты на Приобском плато, его склоне и на террасе р. Оби у г. Камня-на-Оби представляют собой единый геолого-генетический комплекс субаэральных образований (эоловое отложение осадков плюс почвообразовательные и почворазрушительные процессы), что отразилось в близости их физико-механических свойств.

Лёссовые породы на пологих склонах описываемого генетического вида на Алтае, как правило, макропористые и обладают просадочными свойствами. Площадь распространения их обычно ограничивается присклоновой полосой в долинах рек.

На более крутых склонах долин делювиальные процессы получают большее развитие и в грунтах в значительных количествах присутствуют щебень и дресва. Это уже не лёссы.

В качестве примера можно отметить просадочные эолово-делювиальные суглинки в долине р. Алея у с. Новоалейское [91]. Здесь суглинки серовато-бурого цвета, твердой и полутвердой консистенции, макропористые, с налетом карбонатов, с мелкими гнездами гипса, с примесью дресвы. Пористость грунтов 41-49%, относительная просадочность 0,01-0,025. Тип грунтовых условий по просадочности первый. Точно такие же по внешнему виду и свойствам эолово-делювиальные суглинки прослеживаются и выше по склону вне долины р. Алея. В долине реки они залегают на аллювиальном гравийном грунте, на склоне на делювиальных дресвяных отложениях.

Итак, встречающиеся в долинах рек Алтая лёссовые просадочные грунты и просадочные лёссовидного облика суглинки и супеси с примесью обломочного материала по происхождению не являются аллювиальными образованиями. Генетически они связаны с эоловой седиментацией или с полигенным эолово-делювиальным, эолово-пролювиальным, эолово-делювиально-пролювиальным отложением осадков и вовлечением их в почвообразовательные и почворазрушительные процессы.

9. Возраст лёссов

По стратиграфической легенде для южной части Западно-Сибирской равнины возраст покровных субаэральных эоловых отложений датируется верхним плейстоценом.

Лёссы перекрывают более древние породы: верхнемиоценовые-нижне-среднеплиоценовые глины и пески павлодарской свиты, средне-верхнеплиоценовые глины, суглинки и пески кочковской свиты, нижне-среднеплейстоценовые суглинки, супеси и пески краснодубровской свиты, среднеплейстоценовые аллювиальные отложения IV надпойменной террасы Оби (пески, реже супеси, гравий монастырской и большереченской свит), средне-верхнеплейстоценовые пески, реже супеси и суглинки III надпойменной террасы Оби и верхнеплейстоценовые пески, в меньшей степени, супеси и суглинки II надпойменной террасы Оби.



Рис. 12. Склон Приобского плато. Обнажение лёссов под почвенным слоем. Фото В. Четошникова

V

На I надпойменной террасе Оби они отсутствуют.

Таким образом, лёссы моложе всех перечисленных образований, за исключением верхнеплейстоценового аллювия I надпойменной террасы, где они еще не успели сформироваться.

Абсолютный возраст лёссов определен на Алтае радиоуглеродным и термоллюминесцентным способами.

Так, в разрезе «Белово» (левый берег Оби, в 80км выше Барнаула) для покровных лёссов мощностью 9,5 м выполнено 2 радиоуглеродных и 10 термоллюминесцентных определений абсолютного возраста пород [45]. Разрез представлен отложениями краснодубровской свиты мощностью 88,5 м (без нижней пачки аллювиальных песков) и покровным лёссом мощностью 9,5 м.

Осадки краснодубровской свиты сформировались в период от 610 тыс. лет до 22,4 тыс. лет назад, т.е. за отрезок в 587,6 тыс. лет. Время формирования всей толщи покровных лёссов 22,4 тыс. лет. Это в то же время и возраст самой нижней части толщи лёссов.

Лёссы залегают под почвами. Возраст почв в черноземной зоне Европейской части России (Воронежская, Курская, Тамбовская области), определенный радиоуглеродным методом, колеблется от 600 до 3400 тыс. лет, средний возраст их 2 тыс. лет [5, 6].

Примерно такой же возраст имеют почвы Западной Европы.

Ориентировочно можно принять эту цифру в 2 тыс. лет как средний возраст почв на Алтае. В таком случае возраст лёссов, залегающих непосредственно под почвой, также будет равен 2 тыс. лет, а вся толща лёссов сформируется за отрезок времени в 20,4 тыс. лет.

Исходя из этого, скорость отложения осадков краснодубровской свиты составила 0,15 мм в год, а покровных лёссов - 0,46 мм в год. С учетом естественного уплотнения грунтов скорость осаждения эоловых осадков краснодубровской свиты составит 0,21 мм/год (коэффициент уплотнения грунтов этой свиты равен 1,37), а покровных лёссов 0,57 мм/год (коэффициент уплотнения их 1,25).

Скорость эоловой седиментации на Алтае сопоставима со скоростью отложения осадков в др. лёссовых провинциях. По материалам Международного симпозиума по лёссу, состоявшегося в 1971 г. в Будапеште, в Европейской части России она составила 0,1-0,8 мм/год, в Западной Европе 0,1-2,0 мм/год, семиаридных областях США 0,5-3,0 мм/год, в античной Трое и в Нью-Йорке 14 мм/год (по данным П. Поттера), в Афинах 1,2 мм/год, в Стамбуле 2,0 мм/год. [12].

Таким образом, скорости отложения осадков на Алтае не являются высокими в сравнении со скоростью накопления их в Западной Европе, Европейской части России и др. вышеназванных районах.

Возраст I надпойменной террасы Оби, на которой отсутствуют покровные лёссовые отложения, датируется в 11,5-15,0 тыс. лет [8].

10. Физико-механические свойства лёссов

Цвет лёссов. Лёссы Алтая имеют характерную, так называемую, «палевую» окраску: светло-желтый, желтовато-серый, коричневатожелтый, желтовато-бурый, светло-серый, коричневатосерый и серый цвет. В увлажненном состоянии цвет их становится более темным (светлорыжевато-коричневым и буровато-серым) [3, 50, 66, 91].

Текстура грунтов массивная, с ярко выраженной макропористостью. Лёссы разбиты системой трещин [3, 50, 66, 91]. В наибольшей степени трещиноватость развита в приповерхностном слое до глубины 3-4 м. Отчетливо выражены системы вертикальных трещин, обусловившие вертикально-столбчатую отдельность грунтов. Менее выражены системы наклонных трещин.

В лёссах часто встречаются конкреции карбонатов, по трещинам – налеты карбонатов и солей марганца, а также пятна ожелезнения.

В обнажениях лёссы держат вертикальную стенку, при действии водных потоков на склонах они легко подвергается размыву с образованием оврагов.

Макропористость является важным признаком просадочности грунтов. Макропоры развиты особенно интенсивно в грунте под почвенным слоем: от 3-5 до 8-10 (иногда до 20) пор на 1 см^2 , ниже их количество уменьшается от 1-2 до 5-6 на 1 см^2 . Поры, как правило, имеют трубчатую форму, в сечении - округлую.

Мощность толщи просадочных грунтов колеблется от 5 до 13 м, обычно она составляет 8-10 м.

Минеральный состав лёссов. В составе лёссов содержится около 100 минералов и их разновидностей [13].

По характеру взаимодействия с водой выделяют три группы минералов:

- водоустойчивые (инертные),
- активно взаимодействующие с водой,
- водорастворимые.

К водоустойчивым минералам относятся кварц, полевые шпаты, роговая обманка, пироксен, амфибол, гранат, дистен, эпидот, рутил, шпинель и другие.

Минералы, активно взаимодействующие с водой: окислы (гематит, гётит), гидроокислы (лепидокрокит, гидрогётит, гидрогематит), органическое вещество в виде гумуса, каолинит, монтмориллонит и другие.

Водорастворимые минералы: карбонаты (кальцит, доломит), сульфаты (гипс, ангидрит, тенардит, мирабилит), хлориды (галит) и другие.

Лёссы содержат органическое вещество в виде гумуса и неразложившихся растительных остатков (листьев и корней). Содержание гумуса обычно 0,2-0,4%. Растительных остатков примерно такое же.

Химический состав лёссов. В состав лёссов входят главные химические элементы горных пород: кремний, алюминий, железо, магний, кальций, натрий, калий, титан и около 30 микроэлементов. Содержание последних небольшое, 0,001-0,1 %. Усредненный валовый химический состав лёссов (в %): SiO_2 43-78, Al_2O_3 4-18, Fe_2O_3 1-10, CaO 3-16, MgO 1-4, Na_2O 1-3, K_2O 1-3, CO_2 0-2, SO_3 0-3, TiO_2 0,5-0,8, MgO 0,02-0,1.

Литологический состав. По величине частиц, слагающих грунты, структура лёссов псаммо-алеврито-пелитовая [3, 50, 66, 91].

Величина частиц лёссов колеблется в широких пределах: от сотых долей микрона до 1-2 мм.

Содержание песчаных фракций (0,05-2 мм) по ареометрическому анализу 15-25%, пылеватых частиц (0,002-0,05 мм) – 50-75%, глинистых (менее 0,002 мм) - такое же, что и песчаных 15-25% [50, 91].

Сравнение результатов ареометрического и микроагрегатного анализов показывает, что значительное количество простых частиц связано в агрегаты, особенно глинистые и пылеватые частицы.

Развитые на Алтае лёссы представлены суглинками и супесями. В отмененном *ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация* лёсс присутствовал как тип грунтов, суглинки и супеси также являлись типами грунтов.

В действующем *ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация (с поправками на 2019 г.)* понятие лёсс отсутствует, а суглинки и супеси являются разновидностями грунтов в составе подвида «глинистые грунты» вида «минеральные грунты» и типа – «осадочные грунты».

Лёсс, как таксономическая единица классификации пород, является более общим, объединяющим понятием по отношению к суглинкам и супесям. И если суглинки и супеси по ГОСТ являются разновидностями, то лёсс должен быть подвидом.

По ГОСТ 25100-2011 суглинки и супеси определяются по числу пластичности I_p : для супесей I_p изменяется от 1 до 7, для суглинков от 8 до 17. Для лёссов I_p изменяется от 3 до 15, обычно находится в пределах 6-12. Диапазон I_p небольшой и, по существу, лёссы Алтая являются единым видом грунтов, который искусственно разделен ГОСТ на две разновидности: суглинки и супеси [50, 91].

По числу пластичности лёссы Алтая представлены, преимущественно суглинками, в меньшей степени – супесями. Нередко на одной площади отмечаются и суглинки, и супеси. В разрезе в одной скважине может быть переслаивание супесей и суглинков. Зачастую, разница в числе пластичности их находится в пределах точности лабораторных определений ($I_p=1$).

Общей закономерностью является увеличение числа пластичности лёссов в направлении от юго-западных и западных частей края к северо-восточным и восточным [50, 66, 91].

Так, в Кулундинской равнине преобладают супеси. На территории центральной и восточной частей Приобского плато, и Обь-Чумышского плато (Бийско-Чумышской возвышенности) чаще развиты легкие суглинки с числом пластичности 8-10 (иногда 8-11). Далее на северо-восток и восток в пределах Предсалаирской и Предалтайской равнин, в основном, также развиты суглинки легкие и тяжелые, число пластичности их повышается до 10-15.

Причина подобной смены состава грунтов заключается в том, что Кулундинская равнина, сложенная с поверхности песками, представляет ближайшую для Алтая область дефляции. Повышенное количество псаммитового материала, оседающего близ очагов развеивания, обуславливает формирование супесей. По мере удаления от области дефляции крупность накапливающихся эоловых осадков уменьшается. А так как господствующими являются юго-западные и западные ветры, то и смена грансостава терригенных осадков происходит в направлении с юго-запада и запада на северо-восток и восток.

Эта общая закономерность нарушается наличием «древних долин стока» (Алейская, Барнаульская, Касмалинская. Кулундинские, Бурлинская), долины Оби и др. рек, сложенных песками, и являющихся местными очагами развеивания отложений. Близ них в составе лёссов повышается содержание псаммитовых частиц, и они представлены супесями с прослоями тонких (пылеватых) и мелких песков.

В предгорье Алтая среднее содержание пылеватых частиц 56%, песчаных 18%, глинистых 26%.

В Предсалаирской равнине песчаных частиц 18%, пылеватых 64%, глинистых 18%,

В долине Оби ввиду развеивания песков на II и III надпойменных террасах из лёссов развиты только супеси. На IV надпойменной террасе имеются и супеси, и суглинки, ввиду большей удаленности этой террасы от I надпойменной террасы, где интенсивно идут процессы развеивания песков.

Характерной особенностью лёссов Алтая является изменчивость их физико-механических свойств как по площади (по основным региональным геоморфологическим структурам), так и в разрезе (с глубиной).

Ввиду некоторой изменчивости физико-механических свойств лёссов по территории Алтая ниже в табл. 1 приводятся характерные значения их по регионам (геоморфологическим структурам II порядка) [50, 66, 91].

Таблица 1

Средние величины физико-механических свойств лёссов

№ № п/п	Показатели	Единица измерений	Приобское плато		Бийско-Чумышская возвышенность		Кулундинская низменность	
			суглинок	супесь	суглинок	супесь	суглинок	супесь
	1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Природная влажность	Доля единицы (д.е.)	0,14	0,11	0,15	0,12	0,17	0,09
2.	Предел текучести	д.е.	0,27	0,23	0,28	0,25	0,27	0,22
3.	Предел раскатывания	д.е.	0,17	0,17	0,19	0,19	0,18	0,16
4.	Число пластичности	%	10	6	9	6	9	6
5.	Показатель текучести (консистенция)	д.е.	-0,30	-1,0	-0,44	-1,16	-0,11	-1,16
6.	Плотность частиц грунта	кг/м ³	2700	2700	2710	2700	2700	2700
7.	Плотность грунта	кг/м ³	1650	1700	1650	1600	1680	1710
8.	Плотность сухого грунта (скелета грунта)	кг/м ³	1450	1530	1430	1430	1520	1550
9.	Коэффициент	д.е.	0,86	0,77	0,89	0,90	0,78	0,74

	пористости							
10.	Модуль деформации E _{0,1-0,3}	МПа	9	10	8	9	8	11
11.	Угол внутреннего трения	градус	23	24	24	22	25	24
12.	Удельное сцепление	кПа	24	19	23	20	24	22
13.	Относительная деформация просадочности	д. е.	0,01-0,10	0,01-0,11	0,01-0,08	0,01-0,06	0,01-0,04	0,01-0,03

Продолжение табл. 1

	Надпойменные террасы Оби				Предгорье Алтая	Предгорье Салаира
	II	III	IV (Обь-Чумышская озерно-аллювиальная равнина)			
	9	10	11		12	13
	супесь	супесь	суглинок	супесь	суглинок	суглинок
1.	0,12	0,11	0,13	0,11	0,18	0,18
2.	0,25	0,25	0,28	0,26	0,31	0,32
3.	0,20	0,20	0,19	0,20	0,18	0,19
4.	5	5	9	6	13	13
5.	-1,60	-1,80	-0,66	-1,50	0,0	-0,08
6.	2700	2690	2700	2700	2650	2720
7.	1670	1570	1570	1590	1610	1620
8.	1490	1420	1390	1430	1440	1420
9.	0,81	0,89	0,94	0,89	0,84	0,91
10.	8	7	9,5	11	5,3	5
11.	22	23	24	21	21	19
12.	18	16	21	17	30	28
13.	0,01-0,08	0,01-0,09	0,01-0,08	0,01-0,05	0,01-0,14	0,01-0,16

Примечания:

1. Значения модуля деформации, угла внутреннего трения и удельного сцепления приведены для грунтов природной влажности.
2. Значения модуля деформации даны по результатам лабораторных исследований; при испытании грунтов штампами модуль деформации выше в 2-3 раза.

Влажность лёссов W колеблется в значительных пределах от 0,08-0,20 долей единицы (8-20%) в Приобском плато, Бийско-Чумышской возвышенности, Кулундинской равнине и на IV надпойменной террасе р.Оби (Обь- Чумышской озерно-аллювиальной равнине) до 0,12-0,24 в предгорьях Алтая и Салаира (при анализе лёссов не приняты во внимание не характерные, редкие значения их параметров [3, 50,66, 91].

Чаще же природная влажность имеет значения 0,12-0,16 в степных районах и 0,15 -0,20 в предгорных районах. Повышение влажности

лѣссов в предгорьях объясняется более влажным климатическим режимом, большей залесенностью этих территорий и более тонким грансоставом грунтов.

С глубиной влажность лѣссов постепенно увеличивается. От поверхностного слоя до нижней границы сезонного колебания влажности (глубина 7-10 м) увеличение влажности составляет 0,02-0,07 долей единицы.



Рис. 13.Обнажение лѣссов в обрыве долины Оби. Фото В. Четошникова

К примеру, на Приобском плато осредненная влажность (по данным более 2 тыс. определений) на 1 м глубины равна 0,15, на 2 м – 0,10, на 3 м – 0,11, на 4 м – 0,12, на 5 м – 0,13, на 6 м – 0,14, на 7 м – 0,15, на 8-10 м – 0,16, на 11 и 12 м -0,17, на 13-15 м – 0,16.

Таким образом, до глубин 1,5-2,0 м выделяется зона суточных колебаний влажности. Здесь наблюдается резкое уменьшение влажности с 1 до 2 м. Амплитуда колебаний 0,05. В интервале глубин 2-7 м прослеживается зона сезонных колебаний влажности. Здесь отмечается равномерное увеличение влажности с 0,10 до 0,15. В интервале 7-15 м влажность практически постоянная – 0,16-0,17 («мертвая» зона).

Пределы текучести и раскатывания также варьируют в значительных пределах, особенно первый [50,66.91]. Это объясняется относительной неоднородностью грансостава лѣссов.

Предел текучести изменяется от 0,20 до 0,36 долей единиц. Наиболее частые значения его 0,22-0,28 в степной части края и 0,26-0,34 в предгорьях.

Предел раскатывания варьирует от 0,12 до 0,22, обычно же имеет значения 0,16-0,20.

Консистенция лёссов (показатель текучести I_L) твердая и полутвердая, реже – тугопластичная (в понижениях, «степных блюдцах», в березовых колках, в залесенной местности) [3, 50, 66, 91]. Тугопластичные лёссы довольно часто встречаются в предгорьях Алтая и Салаира.

Весной, после таяния снегов (май месяц) ввиду поступления большого количества влаги верхний горизонт лёссов (1-3 м, местами до 5-6 м) может приобрести тугопластичную консистенцию. По мере высыхания грунтов к концу мая или в начале июня консистенция их снова становится полутвердой или твердой. Это же явление может повториться осенью в период обильных долгих дождей, но зимой консистенция снова приходит в норму.

Иногда привнесение дополнительной влаги столь значительно, что лёссы становятся мягкопластичными, утрачивая просадочные свойства. Но после того, как грунты подсохнут и приобретут твердую, полутвердую или тугопластичную консистенцию, они снова становятся просадочными.

Грансостав лёссов: пылеватых частиц 50-85%, песчаных 8-32%, глинистых 7-30% [50,66, 91]. Чаще встречаются лёссы, содержащие 60-65% пылеватых частиц и по 15-20% песчаных и глинистых частиц. Как видим, при преобладающем содержании пылеватых частиц, количество псаммитового и пелитового материала примерно равное. Это общий случай.

Но колебания содержания в лёссах песчаных и глинистых частиц бывают значительными, и в целом, они носят закономерный характер [50, 66, 91]. В супесях содержание песчаных частиц более высокое, чем в суглинках, а глинистых частиц меньше, чем в суглинках.

Количество песчаного материала в лёссах максимально в Кулундинской равнине, уменьшаясь в пределах края в восточном и северо-восточном направлениях. В этих же направлениях увеличивается содержание пелитовых частиц, достигая максимума в предгорьях Алтая и Салаира.

Причина этого изложена выше: Кулунда является ближайшей областью дефляции, обогащая переносимый эоловый материал песчаными частицами, первыми выпадающими из атмосферы при снижении скорости воздушного потока до 5-6 м/с. При дальнейшем снижении скорости ветра до 3-4 м/с оседают пылеватые частицы, а при снижении его до 2-3 м/с и глинистые частицы.

Таким образом, на территориях, ближайших к области дефляции, выпадают преимущественно грубые частицы, а по удалении от нее возрастает удельный вес более тонких частиц.

Эта общая закономерность нарушается тем, что Алтай является областью накопления эоловых осадков, сносимых не только с ближайшей области дефляции (Кулунда), но и более отдаленных областей выдувания (Казахстан, а при длительных сильных ветрах – и Средняя Азия).

Но, тем не менее, указанный принцип выдерживается: лёссы Кулунды и прилегающих юго-западных площадей Приобского плато более обогащены

песком, чем предгорные территории. Направление господствующих ветров в крае определило направление изменения грансостава лёссов.

Общая закономерность нарушается и на площадях, прилегающих к долинам рек, в которых происходит дефляция песчаного материала, обогащающего лёссы песчаными частицами. Здесь их содержание повышенное.

Плотность алтайских лёссов также изменяется в широких пределах: от 1450 до 1900 кг/м³, чаще имеет значения 1550-1700 кг/м³ [50,66,91]. Значительные колебания плотности объясняются большой разницей грансостава и, особенно, влажности грунтов. Последняя, как сказано выше, изменяется не только по площади, но и по временам года, завися в значительной степени от поступающего в грунт количества талых вод и атмосферных осадков. Соответственно, и плотность лёссов изменяется не только по геоморфологическим структурам и глубине, но и по сезонам (в пределах зоны сезонного изменения влажности грунтов). С глубиной плотность грунтов увеличивается.

Более показательна плотность грунтов в сухом состоянии. Она также различна, но изменяется в меньших пределах: от 1250 до 1600 кг/м³. Обычные же значения 1400-1500 кг/м³ [50,66,91]. Повышенные значения плотности лёссов в сухом состоянии характерны для Кулундинской равнины, более низкие величины – для предгорьев Алтая и Салаира, а также для IV надпойменной террасы долины р. Оби (Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равнины). Для супесей и суглинков она примерно равна или для супесей несколько выше (на 30-80 кг/м³),

В разрезе лёссовых толщ плотность в сухом состоянии грунтов закономерно увеличивается с глубиной. Если для первых 2-3 м плотность в сухом состоянии обычно равна 1250-1450 кг/м³, то на глубине 10-12 м (на нижней границе лёссов) она, как правило, имеет значения 1500-1600 кг/м³.

В среднем, на 1 м погружения плотность грунтов в сухом состоянии увеличивается на 15-25 кг/м³, а в целом, лёссовая толща уплотняется на 150-250 кг/м³ (порядка 15% от плотности в сухом состоянии верхнего слоя),

Хотя и прослеживается общая закономерность уплотнения лёссов с глубиной, но она не выдерживается, естественно, в отдельных выработках по каждому интервалу, что связано с изменением в разрезе грансостава грунтов, их пористости, содержания цементирующих солей и др. факторов.

Пористость лёссов изменяется от 40 до 56% [50, 66, 91]. Чаще встречаются значения 43-49 %. Наименьшей плотностью обладают лёссы Кулундинской равнины (в среднем 43-45 %). Наибольшие значения ее характерны для лёссов северо-восточных частей края: в Бийско-Чумышской возвышенности (в среднем 47 %), IV надпойменной террасе долины Оби (47-49%), в предгорьях Алтая и Салаира (46-48%).

С глубиной пористость лёссов закономерно уменьшается.

Коэффициент пористости лёссов 0,70-1,10, чаще 0,80-0,92.

Модуль деформации при природной влажности изменяется от 3 до 18 МПа. В степной части края он чаще равен 8-11 МПа, а в предгорьях Алтая и Салаира он равен 5 МПа [50, 66, 91]. Супеси обладают несколько большим модулем деформации по сравнению с суглинками, на 1-2 МПа.

Угол внутреннего трения изменяется от 19° до 28° [50, 66, 91]. Нормативные значения его по геоморфологическим провинциям края примерно равны и составляют для суглинков $21-25^{\circ}$ (лишь для предгорий Салаира - 19°), а для супесей $19-23^{\circ}$. В целом для супесей по сравнению с суглинками, он ниже на $1-2^{\circ}$.

Удельное сцепление колеблется в широких пределах – от 15 до 33 кПа, чаще 18-28 кПа [50, 66, 91]. Нормативные значения его для суглинков степной части края равны 20-23 кПа, а для предгорных равнин Алтая и Салаира 27-30 кПа. Для супесей оно равно 16-22 кПа. В целом для суглинков оно выше на 3-8 кПа по сравнению с супесями.

Установлены количественные значения снижения прочностных и деформационных свойств лёссовых грунтов Алтая при их замачивании. Модуль деформации уменьшается в 3-4 раза: для суглинков от 3-15 МПа до 1-3 МПа, для супесей от 5-18 МПа до 1-6 МПа.

Угол внутреннего трения снижается на $3-8^{\circ}$: от $22-28^{\circ}$ до $17-24^{\circ}$.

Удельное сцепление уменьшается в 2-3 раза: от 17-40 кПа до 6-17 кПа.

При этом уменьшается пористость грунта на 1-3% (без влияния дополнительной нагрузки от сооружений) и повышается степень пучинистости (от практически непучинистых до сильнопучинистых и чрезмерно пучинистых).

Просадочность лёссов. В Алтайском крае на территориях, сложенных лёссами, наблюдается первый тип грунтовых условий по просадочности. Локально отмечается и второй тип [50, 66, 91].

Относительная просадочность (относительная деформация просадочности) E_{sl} колеблется от 0,01 до 0,15, чаще 0,01-0,03. В целом, более значительная просадочность характерна для суглинков по сравнению с супесями [50, 66, 91].

Преимущественное развитие на Алтае получили слабопросадочные лёссы при $E_{sl}=0,01-0,03$. Реже встречаются средне – и сильнопросадочные лёссы. Чрезвычайно просадочные лёссы отмечаются только в отдельных интервалах

Наименьшая просадочность лёссов характерна для Кулундинской равнины. Просадочность лёссов Приобского плато, II, III и IV надпойменных террас Оби и Бийско-Чумышской возвышенности заметно выше.

Наибольшая просадочность отмечается в предгорьях Алтая и Салаира.

Наибольшей величиной относительной деформации просадочности характеризуется подпочвенный слой лёссов: 0,02-0,06. С глубиной она уменьшается и на глубине 10-13 м становится менее 0,01. Падение величины относительной деформации просадочности на 1 погонный м по глубине, в среднем составляет 0,002-0,003.

Иногда по отдельным интервалам глубины отмечаются незакономерные пики повышения относительной деформации просадочности или исчезновение просадочных свойств лёссов, а ниже они снова появляются.

11. Почвы Алтая

Многими исследователями отмечается, что лёссы обычно формируются в степных и лесостепных зонах, где развиты преимущественно черноземные, реже каштановые почвы.

Так как лёссы образуются при течении почвообразовательных и почворазрушительных процессов, важно рассмотреть на каких же почвах и в каких условиях формируются алтайские лёссы.

Алтайский край характеризуется значительным разнообразием почвенного покрова, обусловленного большим многообразием ландшафтов, в том числе растительности и рельефа [2, 91].

В равнинной и предгорной степных частях края выделяют две почвенные зоны: черноземов и каштановых почв [2]. Обе зоны протягиваются с юго-востока на северо-запад.

Зона черноземов расположена севернее зоны каштановых почв. Она занимает Бийско-Чумышскую возвышенность, Приобское плато, Алтайскую предгорную равнину и северо-восточную часть Кулундинской равнины (низменности).

Зона каштановых почв приурочена к юго-западной части Кулундинской равнины.

Как известно, черноземы одни из плодороднейших почв мира, что обусловлено высоким содержанием в них гумуса. Алтайские черноземы в этом отношении имеют приоритет. Так черноземы Европейской части России в среднем содержат порядка 3-4 % гумуса, а черноземы Алтая 4-6 %.

В зоне черноземов выделяют три подзоны:

- черноземов оподзоленных и выщелоченных,
- черноземов обыкновенных и слабовыщелоченных,
- черноземов южных.

Подзоны сменяют друг друга в направлении с северо-востока на юго-запад.

Ниже приводится описание почв по «Атласу Алтайского края», т.1, 1978 г. [2].

В профиле черноземов оподзоленных и выщелоченных выражены следующие почвенные горизонты: A_1 –гумусовый, В – иллювиальный, B_k – карбонатно-иллювиальный и C_k – почвообразующей породы. Содержание гумуса 6-7%. Реакция среды слабокислотная, рН водный 6.2-6,8. Емкость поглощения в пахотном слое 38-46 мг-экв. Содержание подвижной P_2O_5 в пахотном слое 6-17 мг, K_2O 16-30 мг в 100 г почвы. В составе почвенного поглощающего комплекса преобладает Са; Н и Al очень мало. Механический состав суглинистый и супесчаный. В основном, они среднемощные (0,5 м).



Рис. 14. Чернозем обыкновенный

Среди выщелоченных и оподзоленных черноземов отмечаются также мощные (до 0,7 м) и высокогумусные (7-8,5%).

В профиле черноземов обыкновенных и слабовыщелоченных выделяются горизонты: $A_{п}$, A_1 , A_1B , B_k и C_k . Содержание гумуса 5,3-7,3%. Отмечаются и малогумусные черноземы. Реакция среды преимущественно слабощелочная, рН водный 7,0-7,5. Емкость поглощения в пахотном слое 33-44 мг-экв. Содержание подвижной P_2O_5 15-21 мг, K_2O 18-48 мг в 100 г почвы. В составе почвенного поглощающего комплекса Ca и Mg. Черноземы среднемошнные, мощные и маломощные. Механический состав суглинистый и супесчаный.

Подзона южных черноземов соседствует с зоной каштановых почв. В профиле южных черноземов выделяются горизонты: $A_{п}$, A_1 , A_1B_k (или B_k) и $V C_k$. Содержание гумуса в горизонте $A_{п}$ мало - 2,7-3,3%. Реакция среды слабощелочная, рН водный 7,5. Емкость поглощения в пахотном слое 22-28 мг-экв. Содержание P_2O_5 12-20 мг, K_2O 30 мг и более в 100 г почвы. В составе почвенного поглощающего комплекса Ca, Mg и следы Na. Южные черноземы малогумусные среднемошнные и маломощные. Механический состав супесчаный и песчаный.

Каштановые почвы подразделяются на темно-каштановые почвы и собственно каштановые почвы. Их профиль имеет следующие горизонты: $A_{п}$, A_1 , A_1B , B , B_k и C_k . Содержание гумуса в горизонте $A_{п}$ в темно-каштановых почвах 1,8 - 3,6%, в каштановых почвах 1,4 - 3,1%. Реакция среды преимущественно слабощелочная, рН водный 6,9-8,0. Емкость поглощения 11-23 мг-экв. Содержание P_2O_5 5-18 мг, K_2O 22-46 мг в 100 г почвы. В

составе почвенного поглощающего комплекса Ca, Mg и Na. Почвы малогумусные маломощные. Механический состав супесчаный и песчаный.

В лесных массивах и колках лесостепи, в ленточных борах и в предгорьях Алтая и Салаира получили развитие серые лесные почвы, темно-серые лесные почвы, дерново-слабоподзолистые почвы, дерново-подзолистые, грунтово-глеевые почвы.

Механический состав почв среднесуглинистый.

Серые лесные и темно-серые лесные почвы в профиле имеют горизонты: A₁, A₁A₂, A₂B, B, B_к и C_к. Содержание гумуса в горизонте A₁ в темно-серых лесных почвах 4,9 – 6,1%, в серых лесных почвах 3,7 – 3,9%. Реакция среды кислотная, рН водный 5,0-6,5. Емкость поглощения 13-36 мг-экв. Содержание P₂O₅ 4-20 мг, K₂O 17-36 мг в 100 г почвы. В составе почвенного поглощающего комплекса преобладает Ca; H и Al десятые доли мг-экв.



Рис. 15. Каштановые почвы. Ниже лёсс

В профиле дерново-слабоподзолистых почв ленточных сосновых боров выделяются почвенные горизонты: A₁, A₂ (A₂B), B и C_к. Они малогумусные: содержание гумуса в горизонте A₁ 1,0-1,2%. Реакция среды кислотная, рН водный 5,8-6,0. Емкость поглощения ничтожная. Содержание P₂O₅ 7-18 мг, K₂O 20-26 мг в 100 г почвы. В составе почвенного поглощающего комплекса преобладает Ca; H и Al десятые доли мг-экв. Механический состав почв песчаный.



Рис. 16. Серая лесная почва

В крае, особенно в его южной части, получили развитие солонцеватые почвы, солончаки и солонцы луговые и лугово-степные. оподзоленные почвы и др.



Рис. 17. Дерново-подзолистая почва

Возраст почв 2-2,5 тыс. лет [5, 6, 44, 45].

Они подвергаются ветровой эрозии (дефляции) и водной эрозии.

В горных районах развиты горные черноземы обыкновенные и южные, горные каштановые почвы, горные лугово-степные черноземовидные почвы, горно-лесные бурые и серые почвы.

Почвы Алтайского края являются благоприятными для развития растениеводства.

12. Погребенные почвы, их свойства и генезис в свете эолово-почвенной гипотезы происхождения лёссов

Среди лёссовых отложений Алтая, имеющих характерный палево-желтый цвет, нередко отмечаются слои и прослои других цветов: черного, коричневого, бурого, темно-серого и серого различных тонов и насыщенности.

В литературе и практике инженерных изысканий за этими породами закрепилось название «погребенные почвы». Иногда их называют «ископаемыми почвами» или «палеопочвами».

В степном Алтае они встречаются в нижне-среднеплейстоценовых суглинках и супесях красnodубровской свиты и в покровных верхнеплейстоценовых лёссах [50, 62, 91]. В разрезах отложений плейстоценовой системы, мощность которых на Алтае составляет 65-115 м, количество слоев погребенных почв непостоянно, варьируя от 2-3 до 13.

Протяженность слоев их от нескольких десятков метров до нескольких километров. Мощность слоев от 0,1 до 2,0 м, чаще 0,3-0,8 м. V

Наиболее ярко погребенные почвы проявлены в обнажениях на крутом левобережном склоне долины р. Оби в отложениях красnodубровской свиты и покровных лёссов. Зафиксированы они также в многочисленных скважинах на Приобском плато (в том числе на ключевом участке «г. Барнаул»), на Бийско-Чумышской возвышенности и др. регионах.

Погребенные почвы представлены оглееными суглинками, реже супесями, как правило, твердой консистенции, макропористыми (иногда наблюдается большая макропористость, до 10-15 пор на 1см²). Повсеместно наблюдаются налеты карбонатов, солей марганца и пятна ожелезнения.

Основной признак любых почв – наличие гумуса. Но содержание органических веществ в погребенных почвах Алтая обычно низкое, составляя доли процента, иногда до 1 % (в том числе, примерно в равных количествах гумус и неразложившиеся растительные остатки) или эти вещества вовсе отсутствуют. По содержанию органики погребенные почвы, как правило, не отличаются от вмещающих их лёссов, хотя отмечаются погребенные почвы и с более высоким значением органических веществ, чем в лёссовых отложениях [50, 62, 91].

Результаты исследования физико-механических свойств погребенных почв и вмещающих их лёссов (выше и ниже) на Приобском плато представлены в табл. 2 [50, 62].

Таблица 2

Физико-механические свойства погребенных почв и лёссов, перекрывающих и подстилающих эти почвы

Показатель	Лёссы,		Погребенные почвы	
	n	X _n	n	X _n
Природная влажность, доля единицы (д. е.)	98	0,14	108	0,18
Предел раскатывания, д. е.	98	0,18	108	0,19
Предел текучести, д. е.	98	0,27	108	0,30
Число пластичности, д. е.	98	0,11	108	0,11
Показатель текучести (консистенция)	98	-0,36	108	-0,09
Плотность минеральных частиц грунта, кг/м ³	96	2700	50	2700
Плотность грунта, , кг/м ³	93	1710	50	1680
Плотность сухого грунта (скелета грунта), , кг/м ³	93	1490	50	1430
Коэффициент пористости, д. е.	93	0,82	50	0,91
Модуль деформации, МПа E=0,1-0,3	42	9	34	8
Удельное сцепление. кПа	29	30	13	27
Угол внутреннего трения, град.	29	22	13	22

Примечание: n – количество определений, X_n – нормативное значение характеристик.

Как видно из табл. 2 природная влажность, предел раскатывания и предел текучести погребенных почв немного выше, чем у перекрывающих их лёссов. Число пластичности одинаковое 0,11 (суглинки). Плотность грунта и плотность сухого грунта почти одинаковая, разница минимальная, но у погребенных почв чуть меньше. Величина коэффициента пористости близка у обоих видов грунта, но у лёссов несколько меньше. Модули деформации отличаются незначительно. Угол внутреннего трения одинаков, значения удельного сцепления близки, но у лёссов оно несколько выше.

При исследовании погребенных почв в опорных лёссовых разрезах (ключевые участки «Володарка» и «Барнаул») установлено, что по грансоставу они также практически не отличаются от вмещающих лёссов: содержание песчаных частиц 10-20 %, пылеватых 60-70 %, глинистых 20-30 % [84-88, 91].

Коэффициент агрегативности погребенных почв или такой же, или несколько ниже, чем у вмещающих лёссов.



Рис. 18. В обнажении лёссов отмечается 3 слоя погребенных почв

Природная влажность погребенных почв, влажность на границе текучести и раскатывания или равна, или немного выше, чем у лёссов (на 0,02-0,05 д.е.), а плотность или равна или чуть меньше.

Число пластичности варьирует от 0,07 до 0,14, а пористость чаще выше, чем вмещающих лёссов, но имеются случаи и с обратной зависимостью.

Модуль деформации погребенных почв природной влажности равен или меньше, чем у лёссов, а в замоченном состоянии грунтов он одинаков.

По относительной деформации просадочности погребенные почвы не выделяются среди лёссов.

Таким образом, по основным петрографическим признакам (грансостав, текстурно-структурные особенности, содержание гумуса), по физико-механическим свойствам и просадочности погребенные почвы почти не отличаются от вмещающих их лёссов, за исключением цвета [62].

Погребенные почвы нельзя именовать почвой, так как содержание гумуса в них весьма мало (отвечает содержанию его в лёссах), а он является основным компонентом почв, определяющим их сущность. Поэтому нельзя именовать эти грунты даже погребенной или ископаемой почвой.

Мы наблюдаем лишь реликты (остаточные признаки) почв, представленные, как правило, только цветом. Причем, уверенно говорить, что этот цвет отражает цвет существовавшей ранее почвы, нельзя.

С формальной точки зрения этот грунт нельзя называть почвой из-за того, что в нем не протекают почвообразовательные процессы, а также из-за того, что он не обладает плодородием [62].

Термин «погребенные почвы» укоренился, так как среди ряда исследователей (А.В. Евсеев, А.А. Свиточ и др.) существовало мнение, что в те периоды, когда отлагался эоловый материал формировались осадочные отложения [45]. А в те кратковременные периоды (перерывы), когда эоловые

частицы не поступали, формировались почвы, которые затем перекрывались новыми порциями зола, и ныне являются погребенными.

По их мнению, погребенные почвы отражали перерывы в осадконакоплении и хотя лишены многих свойств почв, отражают их первоначальное существование, в отличие от вмещающих лёссов, которые, по их мнению, никогда не были почвами.

Представление, что почвы не формировались при эоловом отложении частиц, является неверным. Почвы существовали, развивались на поверхности суши Земли непрерывно и почти повсеместно, начиная с того момента (ордовик - силур), когда на земном шаре появилась растительность [62]. Они развивались во все времена, в том числе и в верхнеплейстоценовое время, и в современное время, а не только в те ограниченные кратковременные отрезки времени, когда формировались локально развитые «погребенные почвы».

Согласно эолово-почвенной гипотезе покровные лёссы Алтая формировались при седиментации эоловых осадков на почву, вовлечении их в почвообразовательные процессы, развитии и завершении почвообразовательных процессов и при дальнейших диагенетических преобразований почвы (почворазрушительных процессов) [62, 91].

Таким образом, каждый отрезок разрезов лёссов ранее прошел стадию пребывания в состоянии почвы.

Так называемые, погребенные почвы – это грунты с сохранившимися остаточными признаками почв [62].

При некоторых условиях почворазрушительные процессы в горизонте В могут не дойти до конца: задерживается окончательный распад гумуса и в какой-то мере сохраняется цвет [62].

Причиной консервации признаков почв могла явиться своеобразная экологическая обстановка, существовавшая в период захоронения этих грунтов, задержавшая распад гумуса и в какой-то мере сохранившая цвет.

Можно предположить, что это возможно в среде, близкой к восстановительной. Восстановительная обстановка или близкая к ней могла существовать в местных замкнутых понижениях рельефа, к примеру, в так называемых «степных блюдцах», рис. 5. Эти бессточные котловины широко развиты в степном Алтае [62].

Если в дальнейшем среда изменится (станет окислительной), то почворазрушительные процессы пойдут до конца в вышележающих частях горизонта В (при последующем накоплении эолового материала и дальнейшем движении почвенного профиля вверх). В таком случае получится, что над слоем с законсервированными реликтивными признаками почв будет формироваться обычная материнская порода, а рассматриваемый слой окажется погребенным.

На Алтае погребенные почвы не образуют значительно протяженные горизонты (на десятки и сотни километров) [62, 91]. Известно, что и в других регионах они развиты локально. Это, в основном, аazonальные образования и

можно предположить, что формировались они в указанных депрессиях.

Поэтому использование их в целях стратиграфической корреляции должно быть осторожным, так как может привести к ошибкам.

Итак, «погребенные почвы» - это грунты, сформировавшиеся, как и лёссы, в результате эолового накопления осадков, вовлечения их в почвообразовательные процессы и последующего разложения почв, но в какой-то мере сохранившие отдельные признаки почв.

Именовывать их почвами нецелесообразно. Это лёссы с реликтовыми признаками почв.

13. Почвообразование в областях аккумуляции эолового материала, дефляции его и на территориях равного баланса этих процессов. Движение почвенного профиля по вертикали. Возраст почв

На каждом участке земной поверхности попеременно протекают дефляция и аккумуляция эолового материала.

Как известно, при скорости ветра 3,5-6 м/с поднимаются и переносятся глинистые и пылеватые частицы. При скорости его более 6 м/с перемещаются песчаные частицы размером до 1 мм. При скорости ветра более 15 м/с наблюдаются песчано-пыльные бури с переносом частиц до 2 мм, сопровождающиеся сильной дефляцией верхнего слоя почв.

При уменьшении скорости ветра до 5-6 м/с на этом же участке, где при сильном ветре выдувались частицы почвы, начинает осаждаться песчаный материал, а при дальнейшем снижении скорости ветра до 2-3 м/с из воздуха оседают алевритовые и пелитовые частицы.

Суммарная годовая составляющая двух этих противоположных процессов (дефляция и аккумуляция эоловых осадков) определяет направленность эоловых процессов на каждом конкретном участке (на определенной территории): или здесь происходит преимущественно отложение эолового материала (повышение рельефа), или преимущественно выдув частиц (понижение рельефа) [67, 91].

Как указывалось выше, эоловые процессы имеют наибольшее значение и распространение из числа экзогенных процессов. Деятельность их характеризуется планетарным масштабом и оказывает сильное воздействие на почвы.

При преимущественном распространении территорий накопления эоловых осадков, отдельные регионы являются зонами дефляции. Имеются территории и равного баланса этих процессов.

13.1. Почвообразование в областях аккумуляции эолового материала

Поступление эоловых осадков на поверхность почвы и вовлечение их вместе с опадом в почвообразовательные процессы обуславливает рост почвенного профиля вверх. С последующим накоплением новой порции эолового материала ранее поступившие частицы погребаются, проходят все стадии развития почвы (горизонт А) и на определенном этапе, находясь уже на глубине 0,3-0,6 м, выводятся из сферы активного почвообразования [67, 91].

По мере последующего роста вверх почвенного профиля погребенный рассматриваемый слой, находясь уже в стадии почвенного горизонта В, начинает испытывать почворазрушительные процессы: гумус разлагается, минеральная составляющая увеличивается, грунт осветляется. Дальнейшее развитие диагенеза превращает этот грунт в материнскую породу С, лишенную гумуса (лѣссы). Этим завершается круговорот почвенных процессов при движении по вертикали почвенного профиля.

Таким образом, возраст нижней части почвенного профиля на границе с материнской породой отражает временный интервал совершения кругооборота почвообразовательных-почворазрушительных процессов: от попадания эоловых частиц на почву до превращения их в материнскую породу, пройдя все стадии почвенных процессов и поочередно пройдя состояние всех почвенных горизонтов.

Продолжительность этого кругооборота различна, т.к. зависит от многих факторов: от скорости отложения эоловых осадков и размера их частиц, среднегодовой температуры местности и температуры весенне-летне-осеннего периода, от растительной зоны, количества атмосферных осадков и др. Но определяющим фактором является скорость накопления осадков. Она, в свою очередь, зависит от многих причин, основным из которых являются расстояние от зоны дефляции до рассматриваемой территории, скорость, направление ветров и их частота.

Скорость перемещения почвенного профиля вверх соответствует скорости повышения рельефа, т.е. скорости отложения эоловых осадков. Скорость накопления эолового материала в Европейской части России 0,1-0,8 мм/год, на Алтае 0,1-0,5 мм/год [12].

Возраст почвообразовательных процессов, возраст горизонта А и в целом почв прямо связан со скоростью отложения эоловых осадков.

Для формирования горизонта А мощностью 0,5 м при скорости отложения эоловых частиц в 0,5 мм/год достаточно 1000 лет, при скорости в 0,2 мм/год – 2500 лет. Реальный возраст этого горизонта в черноземной зоне Европейской части России (Воронежская, Курская, Тамбовская области), определенный радиоуглеродным методом, колеблется от 660 до 3400 лет [5].

Примерно такой же возраст имеет горизонт А почв Западной Европы. Большой разброс в возрасте горизонта А и в целом почв в разных регионах объясняется неодинаковой скоростью аккумуляции эоловых отложений.

Итак, возраст почвообразовательных процессов соответствует возрасту нижних частей горизонта А, и он не отвечает возрасту почв, т.е. возрасту

образца из нижних частей горизонта В, отобранному непосредственно над кровлей материнской породы.

Породу, подстилающую почву, можно назвать материнской только условно. В почвоведении под материнской породой понимается порода, по которой развивается и образуется почва. В данном случае все наоборот: из почвы образуется материнская порода. Получается, что материнской субстанцией является почва.

Эоловые процессы в значительной мере обуславливают характер почвообразовательных процессов. На ход этих процессов и их интенсивности решающее значение оказывает такой фактор как наличие или отсутствие в составе накапливающегося эолового материала легкорастворимых солей и их относительное количество. Чем больше будет этих солей, тем интенсивнее будут идти процессы разложения первичных минералов, образование вторичных минералов и органоминеральных комплексов, растворение и перемещение веществ в почве, поглощение растениями минеральных соединений, образование органического вещества. То есть, этот фактор оказывает влияние и на плодородные свойства почвы.

Интенсивность химических процессов в почве и интервал глубины их распространения зависит в немалой мере от степени дисперсности эолового материала. При одинаковых климатических условиях наиболее предпочтителен для почвообразования накапливающийся пылеватый материал по сравнению с песчаным и глинистым.

Не случайно минеральная составляющая эталонов плодородия богатых гумусом черноземных почв представлена алевритом. Пространственно черноземы планеты приурочены к областям развития лёссов (образовавшихся из черноземных почв, существовавших в прошлом), которые на 50-70 % состоят из пылеватых частиц. Эти почвы характеризует и большая мощность (большой интервал глубин развития почвенных процессов) по сравнению с почвами песчанистыми и глинистыми.

Существенное влияние на интенсивность почвообразование оказывают такие факторы как минералогический состав частиц поступающего эолового материала, степени разложения минералов, относительное количество устойчивых и легкоразлагаемых минералов, степень изрезанности, корродированности зерен.

Наличие и достаточность в составе эоловых накоплений необходимых для синтеза растительной массы химических элементов (кальций, натрий, калий, сера, фосфор, силиций, алюминий, железо, магний) и микроэлементов способствует формированию плодородных свойств почвы.

Итак, химический, минералогический и гранулометрический состав аккумулирующего эолового материала является одним из важнейших факторов почвообразования, влияющим также на глубину развития почвообразовательных процессов и на плодородие почв.

13.2. Почвообразование на территориях

с нулевым балансом эоловых процессов

На территориях с равным эоловым отложением и сносом материалов отметки земной поверхности не изменяются со временем (пока существует нулевой баланс этих процессов). Естественно, что в этих условиях почвенный профиль не перемещается по вертикали ни вверх, ни вниз, оставаясь стабильно на месте.

Возраст почв на таких участках (т.е. возраст образца из нижней части горизонта В над кровлей материнской породы С) зависит от режима эоловых процессов в период образования этих почв [67, 91].

Возможны 3 варианта возраста этих почв.

1. Почвы образовались в период аккумуляции эоловых отложений, а затем эоловый режим сменился, наступил нулевой баланс этих процессов.

Возраст таких почв будет равен отрезку времени, в течение которого сформировалась почва до наступления нулевого баланса эоловых процессов (1-3 тыс. лет в зависимости от скорости накопления эоловых частиц) плюс время существования равного баланса «отложения - дефляции» эолового материала.

Этот промежуток времени исчисляется на различных территориях по-разному: от нескольких сотен лет до нескольких тысяч, а возможно и десятков тысяч лет. То есть, теоретически возраст таких почв может исчисляться десятками тысяч лет. Но отмечаемая в верхнеплейстоценовое и современное время частая инверсия природных процессов вряд ли позволит сказать о существовании равного баланса эоловых явлений в отдельных областях на протяжении десятков тысяч лет.

Тем не менее, почвы этих территорий по возрасту должны быть старше почв, развивающихся в областях накопления эоловых осадков.

2. Почвы образовались в период существования нулевого баланса на рассматриваемой территории.

Их возраст равен времени существования равного баланса выдувания – отложения эоловых частиц, протяженность которого (как отмечалось выше) на разных территориях различна.

3. Почвы образовались в период, когда территория являлась областью дефляции.

При нулевом балансе эоловых процессов возраст этих почв будет определяться временем их существования, когда территория была областью дефляции, плюс время продолжительности равновесного состояния «аккумуляции – выдувания» частиц.

В целом, на территориях с нулевым балансом эоловых процессов минеральная составляющая часть почв более разложена, чем в почвах областей аккумуляции ввиду большего возраста первых почв.

На таких территориях почвообразовательные процессы протекают в обоих почвенных горизонтах А и В. При неизменности природно-климатических условий интервал глубин этих процессов будет постоянным.

Почвообразовательные процессы со временем не будут распространяться вниз и не будут захватывать новые горизонты материнской породы.

Развитие этих процессов во времени выразится в большей проработке минеральной составляющей почв и увеличении мощности горизонта А за счет сокращения мощности горизонта В.

13.3. Почвообразование в области развития дефляции

Почвенные процессы, проходящие в областях дефляции, в значительно мере отличаются от почвенных процессов, протекающих в областях накопления эоловых частиц. Если при аккумуляции эоловых отложений почвенный горизонт В – это горизонт, в котором происходит разрушение почвы, то при дефляции – это горизонт созидания почвы [67, 91].

По мере развития дефляции верхний горизонт А сносится ветром. При этом залегающий ниже горизонт В, обогащаясь гумусом, превращается в вновьявленный горизонт А. Одновременно верхние слои материнской породы, обогащаясь гумусом за счет органики отмирающих корней растений, проникающих в породу, и за счет вымывания органоминеральных соединений, поступающими с атмосферными водами и почвенными растворами, постепенно становятся новым горизонтом В.

Так, почвенный профиль движется вниз по вертикали по мере развития процессов дефляции.

Если скорость выдувания частиц небольшая (порядка 0,5-1,0 мм/год), то почвенный профиль будет перемещаться вниз с той же скоростью, что и эрозия почв. При этом с течением времени интервал глубины почвенных процессов (он отвечает мощности почв) будет примерно одинаков, если будут сохраняться без изменения природно-климатические условия.

При интенсивной эрозии (более 1 мм/год) скорость воссоздания почв может не поспевать за скоростью ее сноса. Интервал глубины почвообразовательных процессов при этом будет уменьшаться и со временем почва может полностью исчезнуть, что и наблюдается в песчаных пустынях областей дефляции.

При небольшой мощности рыхлых отложений под почвой (за счет их при дефляции формируется почва) порядка 0,5-1,0 м почвы могут исчезнуть и при малой скорости выдувания частиц, если процесс дефляции достаточно продолжителен. В этом случае почва, развиваясь по материнской породе, заменит ее всю и дойдет до коренных пород. Дальнейшее течение процесса дефляции снесет почву полностью и обнажит коренные породы. Примером этого являются каменные пустыни типа Гоби.

Возраст почв прямо связан со скоростью движения вниз почвенного профиля. В данном случае возраст почв – это интервал времени от начала вовлечения материнской породы в процесс почвообразования (т.е. начала перехода ее в почвенный горизонт В) и до момента, когда пройдя все стадии почвообразования (превратившись сначала в почву горизонта В, а затем в

почву горизонта А), она эрозией будет выведена на дневную поверхность.

Соответственно, наиболее древним углеродом, отвечающим возрасту почвы, будет углерод органики верхней приповерхностной части почвы (как это ни парадоксально), который прошел все стадии почвообразования: снизу от материнской породы до приповерхностного слоя почвы. Естественно, что процессы вымывания гумуса в некоторой мере нарушат правильность картины.

Таким образом, чтобы узнать возраст почвы на территориях, подверженных дефляции, необходимо определить возраст образца из приповерхностного слоя почвы, в отличие от областей аккумуляции эоловых осадков, где возраст почвы определяется по образцам, отобраным непосредственно над материнской породой.

Необходимо уточнить, что имеются в виду почвы, образовавшиеся в области дефляции. В случае, когда почвы сформировались в условиях накопления осадков или равного баланса эоловых процессов, а затем режим территории сменился на ветровой вынос частиц, то возраст этих почв определяется по нижнему слою почв, сформировавшихся в иных, не дефляционных условиях.

Но когда эрозией будут уничтожены почвы, сформировавшиеся не в дефляционных условиях, то возраст оставшейся части почв (образовавшихся в условиях выноса частиц) будет определяться по углероду их приповерхностного слоя почв.

Интервал глубин процесса почвообразования почти не изменяется со временем (с течением процесса дефляции) при постоянстве природно-климатических условий, и возраст почв прямо связан с движением почвенного профиля вниз. Поэтому можно предположить, что возраст почв мощностью 0,5 м при скорости дефляции 0,5 мм/год составит 1000 лет, а при скорости 0,1 мм/год – 5 тыс. лет.

Выводы:

1. Эоловые процессы являются одним из основных факторов почвообразования, обуславливая степень дисперсности минеральной составляющей почв, петрографический, минералогический и химический состав, степень насыщенности почв легкорастворимыми солями, интенсивность почвенных химических процессов и плодородия почв.

2. В областях аккумуляции эолового материала почвенный профиль растет вверх по вертикали синхронно с накоплением новых порций эоловых частиц. Почвообразование происходит только в горизонте А, а горизонт В является слоем, в котором происходят почворазрушительные процессы.

Подстилающая почву материнская порода – это бывшая почва, в

которой прошли до конца почвозрушительные процессы. В почве наиболее старшим по возрасту является нижний слой горизонта В.

3. На территориях с нулевым балансом эоловых процессов почвенный профиль стабильно остается на месте (на одном уровне), не перемещаясь по вертикали. Почвообразовательные процессы протекают в обоих почвенных горизонтах с тенденцией со временем увеличения мощности горизонта А за счет горизонта В. Почвообразование со временем не распространяется на новые слои материнской породы, не захватывает их.

4. В областях дефляции почвенный профиль перемещается вниз по вертикали. Почвообразовательные процессы протекают в обоих горизонтах и со временем захватывают все новые слои материнской породы по мере уничтожения дефляцией верхних слоев почвы.

При очень интенсивном выдувании частиц почва может быть вовсе уничтожена, если почвообразовательные процессы не будут успевать за дефляцией.

Наиболее старший по возрасту слой почвы – ее верхний слой, хотя минеральная составляющая этого слоя по возрасту моложе минеральной составляющей почвы нижних слоев. В данном случае почва моложе породы, по которой она развилась.



Рис. 19. Оползневой склон Приобского плато. На переднем плане овраг. Вверху обнажения лёссы

V

14. Воздействие опасных природных и антропогенных процессов на лёссовые массивы

14.1. Природные геологические и инженерно-геологические процессы. Антропогенные процессы

Лёссы образуют верхний, поверхностный слой пород в зоне инженерной деятельности человека.

Территории, сложенные лёссами, по условиям строительства относятся к условно неблагоприятным.

Согласно п. 3.36 СП 47.13330.2016. *Инженерные изыскания для строительства* они относятся к территориям со сложными природными условиями, а согласно п. 6.2.2.3 просадочные грунты (лёссы) считаются специфическими грунтами по их составу, состоянию и риску возникновения опасных природных процессов.

Геологические, инженерно-геологические, сейсмические и другие природные процессы, оказывающие вредное или разрушительное воздействие на живые организмы, народнохозяйственные объекты и среду обитания, называются опасными природными процессами (ОПП).

На территориях Алтая, занятых лёссами, получили широкое развитие следующие виды ОПП в соответствии с прил.Б СП 115.13330.2016.

Геофизика опасных природных воздействий (актуализированная редакция СНиП 22-01-95 статус на 2020 г.) и п.1 СП 116.13330.2012 *Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 22-02-2003.)*:

- просадочность лёссовых пород (на территориях со 2 типом грунтовых условий по просадочности),
- подтопление территорий,
- оползнеобразование,
- суффозия,
- эрозия овражная,
- эрозия плоскостная,
- морозное пучение грунтов,
- землетрясения.

Помимо опасных **природных** процессов на лёссы воздействуют и **антропогенные процессы, обязанные деятельности человека** [27, 50-52, 82]:

- просадка лёссов при строительстве зданий и сооружений,
- подтопление территорий, сложенных лёссами, при утечках из водосодержащих и водонесущих коммуникаций,
- овражная эрозия под воздействием неблагоприятной деятельности человека,
- плоскостная эрозия под воздействием неблагоприятной деятельности человека,

- оползнеобразование (антропогенные оползни),
- морозное пучение грунтов при антропогенном замачивании их.

Зачастую опасные природные процессы сопровождаются антропогенными. Природные и антропогенные процессы часто оказываются сходными по их внешнему проявлению. В одних случаях более интенсивными являются природные процессы, в других – антропогенные.

Опасные природные и антропогенные процессы получили широкое развитие в лёссовых массивах, ареал их распространения значителен.

Решение многих важных вопросов строительства и экономики тесно связаны с проявлением опасных процессов [13].

14.2. Оценка сложности природных условий территории Алтая

✓ Природные условия являются факторами опасности природных ✓ процессов. Они определяют показатели и параметры, характеризующие возможность возникновения ОПП и интенсивность их проявления.

Ниже приводится оценка сложности природных условий территории Алтая.

Рельеф расчлененный, характеризуется наличием более трех геоморфологических элементов одного генезиса. *По рельефу и геоморфологическим характеристикам природные условия можно отнести к средней сложности [2, 50].*

Геологическое строение характеризуется относительно выдержанными по мощности покровными отложениями (местами невыдержанными по мощности), субгоризонтальным залеганием слоев, наличием 3-6 слоев с однородными физическими свойствами, отсутствием до глубины 100 м разрывных тектонических нарушений [2, 8, 50]. В целом, *геологические и тектонические условия можно оценить как средние по сложности.*

Гидрогеологические условия в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой характеризуются наличием 6 горизонтов подземных вод, относительно выдержанных по простиранию и мощности, с близким химическим составом подземных вод, местами с неоднородным химическим составом [2, 50]. *Гидрогеологические условия оцениваются как средние по сложности.* ✓ ✓

Сейсмическая интенсивность территории 6 -8 баллов по шкале MSK-64 в зависимости от степени ответственности сооружений [32, 74, 76].

Опасные природные процессы охватывают порядка 80% территории Алтая, имеют 8 видов ОПП, нередко они накладываются друг на друга, обуславливая взаимное развитие. [10, 27, 32, 50, 82].

Категория оценки сложности природных условий территории по степени развития ОПП определяется как «сложные условия».

14.3. Категории опасности природных и антропогенных процессов

Категории опасности ОПП определены по *табл. 5.1. СП 115.13330.2016*.

Категория опасности землетрясений (*сейсмическая интенсивность 6-8 баллов в зависимости от степени ответственности объектов*) - *опасные и весьма опасные процессы.*

Категории опасности оползней:

-по площадной пораженности территории (11-30%) – *весьма опасные,*
-по площади разового проявления на одном участке (0,01-0,5 км²) – *опасные,*

-по максимальному объему оползня (100-1000 тыс м³) – *весьма опасные,*

-по максимальной глубине захвата пород оползнем (20-30 м) – *весьма опасные,*

-по скорости смещения (1-2 м/с) – *весьма опасные,*

-по повторяемости (0,05-0,1) – *опасные.*

В целом, оползнеобразование оценивается как весьма опасный процесс.

Категории опасности суффозионных процессов:

-по площадной пораженности территории (2%) - *умеренно опасные,*
-по площади проявления на одном участке (менее 1 тыс. км²) – *умеренно опасные,*

-по объему подверженных деформациям горных пород (менее 1 тыс м³) – *умеренно опасные,*

-по продолжительности проявления процесса (более 30 сут.) – *умеренно опасные,*

-по скорости развития процесса (0,1-10 см/сут.) – *опасные,*

В целом, суффозионные процессы оцениваются как умеренно опасные.

Категории опасности просадочности грунтов:

-по площади пораженности территории (80%) - *весьма опасный процесс,*

-по мощности просадочной толщи (8-13 м) – *умеренно опасный процесс,*

-по продолжительности проявления процесса (более 100 сут.) – *умеренно опасный процесс,*

-по скорости развития процесса (менее 0,1 см/сут.) – *умеренно опасный процесс.*

В целом, просадочность оценивается как опасный процесс.

Категории опасности пучения грунтов:

-по потенциальной площадной пораженности территории (70%) – *опасный процесс*,

-по площади проявления на одном участке((0,01-10 тыс. км²) – *опасный процесс*,

-по скорости развития (5-10 см/год) – *опасный процесс*.

В целом, морозное пучение оценивается как опасный процесс.

Категории опасности подтопления:

- по площадной пораженности территории (50-75%) – *опасный процесс*,
-по продолжительности формирования водоносного горизонта (более 5 лет) – *умеренно опасный процесс*,

- по скорости подъема уровня подземных вод (менее 0,5 м/год) - *умеренно опасный процесс*.

В целом, подтопление согласно СП 115.13330.2016 оценивается как опасный процесс, но по значимости и масштабам последствий этот процесс можно отнести к весьма опасному.

Категории опасности эрозии овражной:

-по площадной пораженности территории (порядка 10%) – *умеренно опасные процессы*,

-по площади одиночного оврага (менее 0,05-10 км²)- *умеренно опасные, опасные и весьма опасные процессы*,

-по скорости развития эрозии (овражной 1-5 м/год, плоскостной 2-5 м³/га в год) – *умеренно опасные процессы*.

В целом, эрозию овражную можно отнести к опасным процессам.

Итак, опасные природные и антропогенные процессы на территории Алтая проявляются в значительных масштабах, по степени опасности они относятся, в основном, к категории опасных и весьма опасных процессов. Они воздействуют на массивы лёссов, обуславливая изменение (снижение) их физико-механических свойств, деградацию, а иногда и их разрушение (при оползнеобразовании, овражной эрозии и др.).

14.4. Просадочность лёссовых грунтов

Лёссовые просадочные грунты почти сплошным чехлом покрывают поверхность Степного Алтая. При замачивании этих грунтов происходит их просадка [50, 52, 57, 66, 91].

Относительная просадочность лёссов при нагрузке 0,3 МПа изменяется в широких пределах от 0,01 до 0,15. Наиболее часто встречающиеся значения этой величины 0,01-0,03. Отмечается четкая закономерность уменьшения относительной просадочности с глубиной. Так на глубине 1-3 м она довольно значительна (равна, как правило, 0,02-0,06), но ниже она постепенно снижается, составляя на глубине 10-13 м меньше 0,01.

Относительная просадочность обычно превышает значение 0,01 и при нагрузке 0,2 МПа, но мощность толщи, обладающая просадочными свойствами при этой нагрузке, сокращается на 2-4 м, составляя 5-6 м. При

нагрузке 0,1 МПа мощность просадочной толщи незначительна, обычно в пределах 3-4 м.

Просадка лессовых грунтов при их замачивании проявляется, в основном, под воздействием внешней нагрузки. Просадка грунтов от собственного веса невелика, обычно 2-3 см и, как правило, не превышает 5 см. То есть, на территории Алтая превалирует I тип грунтовых условий по просадочности. II тип грунтовых условий по просадочности (для него характерна просадка грунтов от собственного веса более 5 см) отмечается лишь на отдельных ограниченных площадях. Размеры участков II типа небольшие 50 x 100 м, 100 x 200 м и т.п.

Просадка лёссов хорошо изучена на ключевом участке «Барнаул» [3, 66, 84, 91]. Здесь II тип грунтовых условий по просадочности отмечен на территории заводов близ бровки Приобского плато (АО «Алтайгеомаш», ОАО «Барнаултранмаш», АО «Барнаульский станкостроительный завод» и V др.) и в ряде микрорайонов южнее Павловского тракта (№№ 2001, 2003, 2004 и др.).

Начальное просадочное давление лёссов Алтая, характеризуясь минимумом на первых 2-3 метрах (0,04 - 0.10 МПа), постепенно возрастает с глубиной. В интервале глубин 5-6 м её значения составляют 0,10 - 0.20 МПа, а на глубине 8-10 м увеличивается до 0.25-0.30 МПа.

Грунты, находящиеся на глубине свыше 10 м, как правило, имеют начальное просадочное давление свыше 0,30 МПа (т.е. становятся непросадочными), за исключением отдельных участков, где этот рубеж в 0,30 МПа отмечается на глубине 11-13 м. В целом, начальное просадочное давление превышает вертикальное напряжение от собственного веса грунтов, что подтверждает I тип грунтовых условий по просадочности (за редким исключением).

Начальная просадочная влажность на глубинах 1-6 м варьирует в пределах 0,15-0.20. На больших глубинах её значения повышаются до 0,20-0,25.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений Алтая наглядно показал, что недоучет особенностей просадочных свойств грунтов приводит к развитию недопустимых деформаций и обуславливает аварийное состояние зданий и сооружений [3, 56, 59, 84, 91]. Основная причина этого - утечки вод и неравномерное замачивание грунтов основания, что вызывает неравномерную осадку (просадку) грунтов и неравномерную осадку фундаментов, напряжения в конструкциях зданий и их деформации. Таких зданий значительное количество в г. Барнауле. Имеются они и в Бийске, Рубцовске, Алейске и в др. городах и селах Алтая.

Деформации проявляются в виде трещин в стенах и фундаментах зданий, оседания колонн, полов, перегородок, цокольных частей здания со взламыванием асфальтовых отмостков, кренов тяжелого оборудования (стоящего на отдельных фундаментах), отслаивания и разрушения

внутренней и наружной штукатурки, разлома труб инженерных коммуникаций, иногда вплоть до обрушения отдельных элементов зданий (оконных перемычек, лестничных маршей и др.).

В качестве примеров значительных деформаций можно привести дома на ключевом участке «**Барнаул**» [3, 84, 91]. Так здание по ул. Э. Алексеевой было пронизано массой трещин, от волосяных до 2-3 см шириной. Создалась опасность для проживания в нем жильцов, которые были выселены для проведения специальных мероприятий. В аварийное состояние пришли также жилые дома по ул. Водопроводной, Новороссийской, Малахова, здание пожарной охраны по ул. Г. Титова и многие другие.

Развитие процессов деформации обуславливается характером, объемом и продолжительностью замачивания грунтов. При одноразовом, но достаточно полном замачивании грунтов основания, процесс деформации зданий не имеет длительного характера.

При локальном, повторяющемся замачивании нередко эти процессы прослеживаются на протяжении ряда лет. Так, на ключевом участке «**Барнаул**» дом № 8 по ул. Новороссийской, построенный в 1968 г., из-за утечек вод из коммуникаций, стал аварийным в 1969 г. (появление многочисленных открытых трещин в наружных и внутренних стенах). В дальнейшем деформации развивались в течение более 30 лет.

Деформации зданий на Алтае, как правило, наблюдаются через несколько лет после завершения строительства. Нередко срок нормальной эксплуатации растягивается до 15-20 лет. Но отмечены случаи, когда деформации наступали сразу после введения зданий в эксплуатацию или даже в процессе строительства.

Так, при возведении 2-х этажного дома № 23 в квартале 1082 (ключевой участок «**Барнаул**») в 1975 г., в стенах его появились трещины. Причина - неравномерное уплотнение грунтов, их неравномерная просадка при замачивании лессов оснований фундаментов ливневыми водами (не был обеспечен сток воды).

После возведения в 1971 г. коробки 5-этажного панельного дома (строительство не было закончено) № 41 в квартале 1074 (ключевой участок «**Барнаул**»), образовались сквозные трещины от 1-го до 5-го этажа. Причина - уплотнение грунтов произведено не по всему котловану, а только в его центральной части.

Просадки грунтов могут привести не только к деформациям зданий, но и к их разрушению. Так, 5 ноября 1985 г. совершенно разрушилось здание цеха электрофильтров ТЭЦ-3 ключевого участка «**Барнаул**», где еще в мае 1985 г. крен колонн из-за просадки лессов превысил допустимое значение по СНиП. Плиты перекрытия соскользнули и цех превратился в развалины, как после мощной бомбежки.

О серьезности и масштабности этого явления говорит то, что на ключевом участке «**Барнаул**» порядка 300 зданий имеют деформации из-за просадки грунтов.

Самая большая просадка лёссовых грунтов произошла на ПАО «Алтай-Кокс» в г. Заринске [56, 59]. Наблюдения за осадками V объектов завода проводились в предпусковой (строительный) и эксплуатационный периоды в 1979-1986 гг., что дало возможность изучить просадку грунтов в эти этапы.

Территория завода сложена просадочными лёссовыми суглинками мощностью 11,5 м, подстилаемыми непросадочными суглинками мощностью 5 м и пылеватыми песками. Грунтовые воды залегали на глубине 18-21 м. В результате утечек вод при производственных процессах лёссовые грунты под фундаментами рядом стоящих коксовой батареи № 1 и угольной башни оказались замоченными. До строительства грунты имели твердую и полутвердую консистенцию, после замачивания – тугопластичную, мягкопластичную и текучепластичную.

Осадки на коксовой батарее № 1 и угольной башни начались еще в процессе строительства под воздействием нагрузок от сооружений (которые превысили допустимые значения для лёссов) и продолжались в период эксплуатации до конца наблюдений на объекте (1986 г.).

Осадка по коксовой батарее в период строительства составила 52-94 мм, в среднем 73 мм (1981 г.). Средняя скорость осадки в сутки – 0,10 мм. Это период естественного уплотнения грунтов под дополнительной нагрузкой от сооружения, осложняющийся начавшейся просадкой под северо-западной частью коксовой батареи на стыке ее с угольной башней ввиду некоторого замачивания грунтов поверхностными водами.

Угольная башня имеет меньшие размеры, но оседала значительно, в 3-4 раза быстрее – 0,41 мм в сутки. Это объясняется большими удельными нагрузками ее на основание фундаментов. Отдельные части угольной башни оседали неравномерно: большие осадки наблюдались в юго-восточной и северо-западной ее частях.

В начальный период эксплуатации (1981-1982 гг.) в условиях интенсивного замачивания грунтов водами, теряющимися при производственных циклах, отмечалось возрастание осадок: до 0,13 мм/сутки на коксовой батарее и 0,55 мм/сутки на угольной башне. Следует отметить, что после загрузки угольной башни углем произошло резкое увеличение ее осадки (как срыв), вследствие значительного увеличения общей нагрузки на фундамент и просадки грунтов основания.

Это период активно идущего процесса просадки. К концу 1982 г. скорости осадок снизились до 0,07-0,15 мм/сутки. Процесс просадки, в основном, прошел, но полностью не закончился. Сооружения не стабилизировались. В дальнейший период эксплуатации (1983-1986 гг.) в условиях продолжающегося интенсивного замачивания грунтов отмечались небольшие скорости осадки сооружений (0,02-0,07 мм/сутки). Осадки оснований фундаментов обоих сооружений происходила неравномерно из-за неравномерности замачивания грунтов под фундаментами. Неравномерность

осадок сооружений обусловила отчетливо выраженный крен зданий навстречу друг другу.

К концу этапа толща лёссовых грунтов была промочена полностью до глубины залегания уровня грунтовых вод (18-21 м). Это период вяло текущей завершающейся просадки грунтов, в условиях их ползучести (релаксации) при чрезмерных нагрузках на грунт.

Осадки коксовой батареи за период наблюдений 1979-1986 гг. составили 123-292 мм (по различным точкам сооружения), а по угольной башне 326-492 мм.

Ввиду неоднородности замачивания грунтов осадка различных частей сооружений оказалась неодинаковой, что обусловило появлений деформаций: появились трещины в стенах, неоднократно рвались коммуникации, соединяющие эти сооружения. Это поставило перед эксплуатационной службой ряд серьезных проблем.

Суммарные осадки обоих сооружений превысили допустимые значения по СНиП, Это вызвано ошибками при проектировании, когда были допущены нагрузки на основание фундаментов, превышающие несущую способность грунтов.

Проявление просадки грунтов приводит к деградации лёссов: их уплотнения, ухудшения физико-механических свойств, и они практически уже не могут называться лёссами.

14.5. Подтопление территорий

Территории считаются подтопленными при глубине уровня грунтовых вод менее 2 м.

Процессы подтопления происходят во всех городах России. Особенно интенсивно они развиваются в городах, расположенных в лесостепной и степной зонах, где территории сложены покровными лёссовыми просадочными макропористыми грунтами.

В Алтайском крае процессы подтопления интенсивно проявились в городах Барнаул, Бийск, Рубцовск, Алейск, Славгород, Горняк, во многих поселках и селах Поспелиха, Шипуново, Тальменка, пос. Михайловский и др., на ряде крупных промышленных площадках (Алтайский коксохимический завод в г. Заринске и др.) [3, 18, 21, 31, 34, 51, 52, 56, 59, 82, 84, 91].

Подтопление территорий в городах, поселках городского типа, крупных селах (районных центрах) наблюдается как развивающийся процесс и осуществляется по 2-м схемам:

1. Подъем уровня грунтовых вод (УГВ).
2. Повышение влажности грунтов и формирование нового подвешенного водоносного горизонта в верхней части покровных лёссов в пределах застроенной территории.

Основная причина повышения влажности лёссовых грунтов - утечки вод из инженерных коммуникаций и водосодержащих объектов, а также

уменьшение испарения влаги из грунтов благодаря застройке и асфальтированию площадей; неправильная планировка территорий, в результате чего затруднен сток талых и дождевых вод; барражный эффект от фундаментов зданий и др.

Утечки вод могут иметь значительные масштабы. Так по данным Харьковского УкрГИИНТИЗа водонесущие коммуникации теряют порядка 10% вод после 3 лет их эксплуатации и до 40% вод после 15-20 лет их использования. Исследования треста АлтайГИСИЗ по городу Рубцовску в 80-х годах прошлого столетия подтвердили, что утечки вод составляют 40% от объема пропускаемой воды.

Наибольшее развитие эти процессы получают на территориях промышленных зон и отдельных предприятий, потребляющих большое количество воды.

Процессы подтопления удобно рассмотреть на наиболее изученном ключевом участке «**Барнаул**» [3, 84, 91].

Здесь верхняя часть разреза представлена просадочными лёссами, подстилаемыми непросадочными суглинками и супесями краснодубровской свиты.

В середине прошлого столетия грунтовые воды находились на глубине 25-50 м.

Подтоплению подвергнуты территории Северной, Южной (Центральной) промышленных зон и Власихинская промплощадка.

Северная промзона застраивалась, начиная с 1941 г. и до XXI в. На всех заводах сейчас существуют зоны грунтов повышенной влажности и замоченных грунтов, приуроченных к производственным корпусам и трассам инженерных коммуникаций. Размер их в поперечнике от 20 до 300 м. Глубина замачивания от нескольких метров до 15-20 м, изредка достигая больших глубин. Эти зоны обычно имеют куполовидную форму. На отдельных предприятиях они слились, образуя единое поле замоченных грунтов (ТЭЦ-1, АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод»). Замоченные грунты отмечаются или с поверхности, или с некоторой глубины (5-10 м).

Природная влажность лессовых грунтов обычно составляет 0,12-0,17 долей единицы. При замачивании она повышается до 0,16-0,27. Вместо твердой и полутвердой консистенции грунты становятся тугопластичными, мягкопластичными, текучепластичными и местами приобретают текучую консистенцию.

На территориях отдельных предприятий ключевого участка «**Барнаул**» (ООО «Алтайский шинный комбинат», ОАО «Химволокно», ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, АО «Алтайгеомаш» и ОАО «Барнаульский завод технического углерода») отмечены подземные воды типа «верховодки» техногенного происхождения.

Увлажнение грунтов Северной промзоны Барнаула формируется на протяжении 30-70 лет, но некоторые из этих участков появились сравнительно недавно (10-30 лет).

Скорость формирования зон замоченных грунтов зависит от объема инфильтрующихся вод.

На заводе технического углерода у котельной образовался купол замоченных грунтов за 2 года (с 1973 по 1975 гг.). Вершина его находилась на глубине 6 м, купол прослежен до глубины 30 м. Ширина его поверху 20 м, внизу 60 м. Грунты приобрели консистенцию от туго - до текучепластичной. Влажность грунтов повысилась от 0,12-0,18 до 0,19-0,28.

Нарушение баланса влаги в пределах активной зоны, увеличение степени водонасыщенности лессов существенно сказывается на изменении физико-механических свойств грунтов и устойчивости сооружений.

С увеличением влажности, ослабляются структурные связи грунтов, поэтому ухудшаются деформационные и прочностные свойства грунтов: угол внутреннего трения уменьшается на $3-8^{\circ}$, от $22-27^{\circ}$ до $15-20^{\circ}$; удельное сцепление снижается в 2-3 раза, от 24-30 кПа до 5-15 кПа, модуль деформации понижается от 8-15 МПа до 1-6 МПа.

Как результат этого, при неравномерном замачивании происходит неравномерная просадка грунтов под фундаментом, что обуславливает напряжения в конструкциях и деформации сооружений.

Замачивание грунтов определяет и то, что лёссы, являясь практически непучинистыми грунтами при природной влажности, становятся сильнопучинистыми при водонасыщении. Процессы пучения наблюдались на ряде объектов.

Формирующиеся воды «верховодки» нередко обладают агрессивными свойствами к бетонам, разлагая последние. Так, подобные воды техногенного происхождения, обладающие агрессивными свойствами к бетонам и металлическим конструкциям, были зафиксированы на площадках насосной станции и очистных сооружений шинного завода, на ОАО «Химволокно».

Здания с деформациями имеются практически на всех заводах Северной промзоны: ООО «Алтайский шинный комбинат», ОАО «Химволокно», ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, АО «Алтайгеомаш», ОАО «Барнаульский завод технического углерода», ОАО «Барнаултранмаш», АО «Барнаульский станкостроительный завод», ООО «Алтайский моторный завод» и других.

Так, на АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» к 1978 г. на всех наружных стенах 4-х этажного главного корпуса появилась масса трещин: от волосяных до 2-5 см шириной. Западная стена у перекрытия отошла от здания на 30 см. Создалась опасность её обрушения. Встал вопрос о полной замене западной и северной стен (они не несущие). Внутренние колонны осели, некоторые из них оказались перекошенными.

Зоны замоченных грунтов имеются также и на предприятиях Власихинской промзоны. Почти сплошные поля замоченных грунтов

наблюдаются на ТЭЦ-3 и ОАО «Барнаульский пивоваренный завод». На ТЭЦ-3 грунты промочены до глубины 30 м, и здесь зона замоченных грунтов сомкнулась с водоносным горизонтом подземных вод.

Зоны замоченных грунтов формируются не только на территориях промышленных объектов, но и на многих участках жилой застройки. Процессы подтопления активно развиваются на пос. Южном, где под многими зданиями зафиксированы замоченные грунты.

Примером замачивания грунтов на отдельном участке может служить зона водонасыщенных грунтов, сформировавшаяся на площадке 9-ти этажного жилого здания по ул. Юрина, 208, где в течение ряда лет в техподполье стояла вода из-за утечки из водопроводящих коммуникаций. Столб воды достигал высоты 0,5 м. Замоченные грунты были отмечены на расстоянии 80 м от дома.

В старой части города процессы подтопления развиваются в иных инженерно-геологических условиях.

На площади I надпойменной террасы, слагающие её пески мелкие (реже пылеватые) лежат на глинах и суглинках кочковской свиты, являющихся водоупором.

Сформировавшийся в песках водоносный горизонт питается за счет атмосферных осадков и подземных вод, перетекающих из водоносных комплексов II и III надпойменных террас и водоносных горизонтов красnodубровской свиты Приобского плато.

Определенную роль в его питании играют воды, теряющиеся из инженерных коммуникаций на I террасе. В последние десятилетия, в связи со строительством в старой части города многоэтажных домов, возросло водопотребление, а значит и утечки вод. В связи с этим стал подниматься уровень грунтовых вод на I террасе. Этому способствовал также ряд причин: барражный эффект от фундаментов зданий, особенно свайных, уменьшение испаряемости влаги из грунтов ввиду увеличившихся заасфальтированных площадей, засорения систем ливневой канализации, конденсации влаги под зданиями и сооружениями и др.

В результате, за последние десятилетия уровень грунтовых вод поднялся на 1-2 м.

В настоящее время почти вся территория I террасы оказалась подтопленной. Глубина залегания грунтовых вод на большей её части составляет 0,1-2,0 м. Местами грунтовые воды выходят на поверхность, обуславливая заболачиваемость участков.

В результате подтопляются подвалы и фундаменты зданий, инженерные коммуникации, замачиваются стены (из-за капиллярного поднятия воды).

Затопление подвалов приводит к порче хранящихся в них имущества и продуктов, делает невозможным их использование по функциональному назначению.

Замачивание инженерных коммуникаций значительно осложняет их эксплуатацию и ремонт.

В частности, в 80-х годах XX в. стали затапливаться подвалы зданий горисполкома (ныне администрация города) и краевого архива (ныне Знаменской церкви), построенные в прошлом веке и ранее не затопляющиеся. Подтоплены фундаменты и подвалы поликлиники по ул. Пушкина, краеведческого музея по ул. Ползунова, типографии по ул. Короленко и др.

На надпойменных II-й и III-й террасах уровень грунтовых вод залегает относительно глубоко и меньше влияет на инженерные сооружения (за исключением прибрежной полосы II террасы). Но здесь, в связи с подземными водами, возникает другая проблема: влияние «верховодки» на строительство и эксплуатацию сооружений.

В составе песков II-ой и III-ей надпойменных террас часто встречаются прослойки и линзы супесей и суглинков мощностью от 0,5 до 3-4 м, не имеющие сплошного распространения. Над ними формируется «верховодка», залегающая на глубине от 2 до 6 м.

Подтопление территорий обуславливает ухудшение физико-механических свойств грунтов (резко снижаются прочностные характеристики), повышает их пучинистость. В результате ряд зданий получили деформации (трещины в фундаментах и стенах), к примеру, здание краевой поликлиники по ул. Пушкина.

Изыскания, проведенные на одних и тех же участках в разные годы, до 1985 г. не показали сколько-нибудь существенного повышения уровня «верховодки».

Но в последние 25-30 лет в связи с многоэтажной застройкой площади этих террас и возросшим объемом утечки вод, время существования «верховодки» начинает увеличиваться, водообильность её возрастает. Она может обусловить затопление подвалов и подземных коммуникаций.

Так, в микрорайоне № 17 уже затапливаются техподполья в доме № 63. При проектировании и строительстве сооружений необходимо учитывать наличие «верховодки».

Застройка новых микрорайонов в северо-западной части города, неупорядочивание поверхностного стока, заиливание русла р. Пивоварки обусловили повышение уровня грунтовых вод в долине этой речки и в районе, прилегающему к ней. В результате оказались подтопленными фундаменты свыше 200 частных домов, вода затопила подвалы. Грунты приобрели пучинистые свойства, ряд домов получил деформации. Встал вопрос о сносе отдельных домов и переселении семей в новые здания.

В целом, процессы подтопления на ключевом участке «**Барнаул**» получили значительное развитие. Общая площадь подтопленных и подтопляемых земель составляет 2100 га. Материальный ущерб значителен.

Скорость повышения уровня грунтовых вод.

При объеме потребляемых вод в г. Барнауле порядка 100-120 млн. м³ утечки из водонесущих труб (для них, в основном, нормативный срок эксплуатации превышен) могут составить 20-40 млн. м³. При суммарной площади застроенной территории и осваиваемых участков в 150 км² теряющаяся при утечках вода составит слой толщиной в 0,13-0,27 м. При пористости лессовых грунтов 42-50% эта вода может обводнить слой грунта мощностью 0,25-0,5 м. Иными словами она может повысить за год уровень грунтовых вод на 0,25-0,5 м.

С поправкой на испарение теряющихся из труб вод и стока части грунтовых вод в Обь и Барнаулку эту цифру можно принять равной 0,15-0,3 м.



Рис. 20. Склон Приобского плато. В верхней части обнажения лёсссы.
Фото В. Четошникова

При общем подъеме УГВ на территории города скорость подъема его различна во времени, на разных геоморфологических элементах, для разных грунтов.

Приобское плато. На плато находится большая часть города. На застроенной части Приобского плато скорость подъема УГВ можно рассмотреть на примере участка по ул. Панфиловцев. В 1990 г. при изысканиях под подземный переход на пересечении Павловского тракта и ул. Панфиловцев УГВ не был вскрыт скважинами глубиной 15 м. По данным на соседних участках он был равен 18 м. В 2012 г. при изысканиях под жилой

дом по ул. Панфиловцев, 41 УГВ был установлен на глубине 8,0 м. За 22 года он поднялся на 10 м. Скорость подъема составила 0,45 м.

На незастроенной осваиваемой территории Приобского плато в квартале 2011 в 1992 г. УГВ не был вскрыт скважиной глубиной 21 м от поверхности. Ориентировочно (судя по материалам изысканий на соседних участках) УГВ был на глубине 22-24 м. В 2016 г. при изысканиях под жилой дом №3 в квартале 2010 по ул. Взлетной, 115 УГВ был отмечен на глубине 13,6 м. Участки находятся недалеко друг от друга, в одинаковых инженерно-геологических условиях, поэтому можно сравнивать их гидрогеологические условия. За 24 года УГВ поднялся на 8,4 м. Скорость поднятия 0,34 м в год.

Подъем УГВ на территории застраиваемых микрорайонов южнее Павловского тракта, в основном, обязан стоку грунтовых вод из зон ранее застроенных территорий, где УГВ повышенный (8-10 м).

В пос. Южном, также расположенном на Приобском плато, грунтовые воды до начала XX в. скважинами глубиной 10-15 м не были вскрыты, за исключением территории 7 микрорайона (юго-западная часть поселка), где грунтовые воды в 1977 г. отмечены на глубинах 4,7-11 м.

В XXI в. уровень грунтовых вод в юго-западной и центральной частях поселка начал подниматься и достиг 2,3 м по проезду Кубанскому, 2в и 2,7-3,7 м по ул. Мусоргского, 34а.

Повышение УГВ на Приобском плато на территории застраиваемых микрорайонов (2010, 2011 и др.) и в пос. Южном серьезно затруднило строительство объектов.

Первая надпойменная терраса р. Барнаулки. Режимные наблюдения Оползневой станции за уровнем грунтовых вод по скв. 393 на ул. Короленко за период 1976-1990 гг. показали, что он неуклонно поднимался с глубины 3,93 м до глубины 2,94 м. То есть за 14 лет уровень грунтовых вод поднялся на 1 м. Скорость поднятия УГВ 0,07 м в год.

Вторая надпойменная терраса р. Барнаулки. В микрорайоне 17 УГВ в 1978 г. находился на глубинах 8,6-14,8 м, в 2016 г. примерно на этих же глубинах.

Третья надпойменная терраса р. Барнаулки. В районе ул. Димитрова в 1992 г. УГВ до 15 м не вскрыт, в 2016 г. он установлен на глубине 26 м.

На территории г.Бийска подтоплены жилая застройка и промышленные предприятия, расположенные на I надпойменной террасе р. Бии. Уровень грунтовых вод находится на глубине 2-4 м.

В г. Рубцовске еще в 70-х годах прошлого столетия грунтовые воды находились на глубине 5-7 м, а в 20 веке фиксируются на глубине 2-4 м, затрудняя строительство и эксплуатацию зданий и сооружений.

В Алейске и Славгороде в 70-х и 80-х годах прошлого века уровень грунтовых вод находился на глубине 6-9 м, а ныне на глубине 4-6 м.

В селах Пospelиха и Шипуново за последние 30-40 лет уровень грунтовых вод поднялся на 3-6 м, обусловив проблемы строителям.

В с. Тальменке подтоплены большие площади: грунтовые воды находятся на глубине 2-4 м, что затрудняет строительство и эксплуатацию зданий и сооружений.

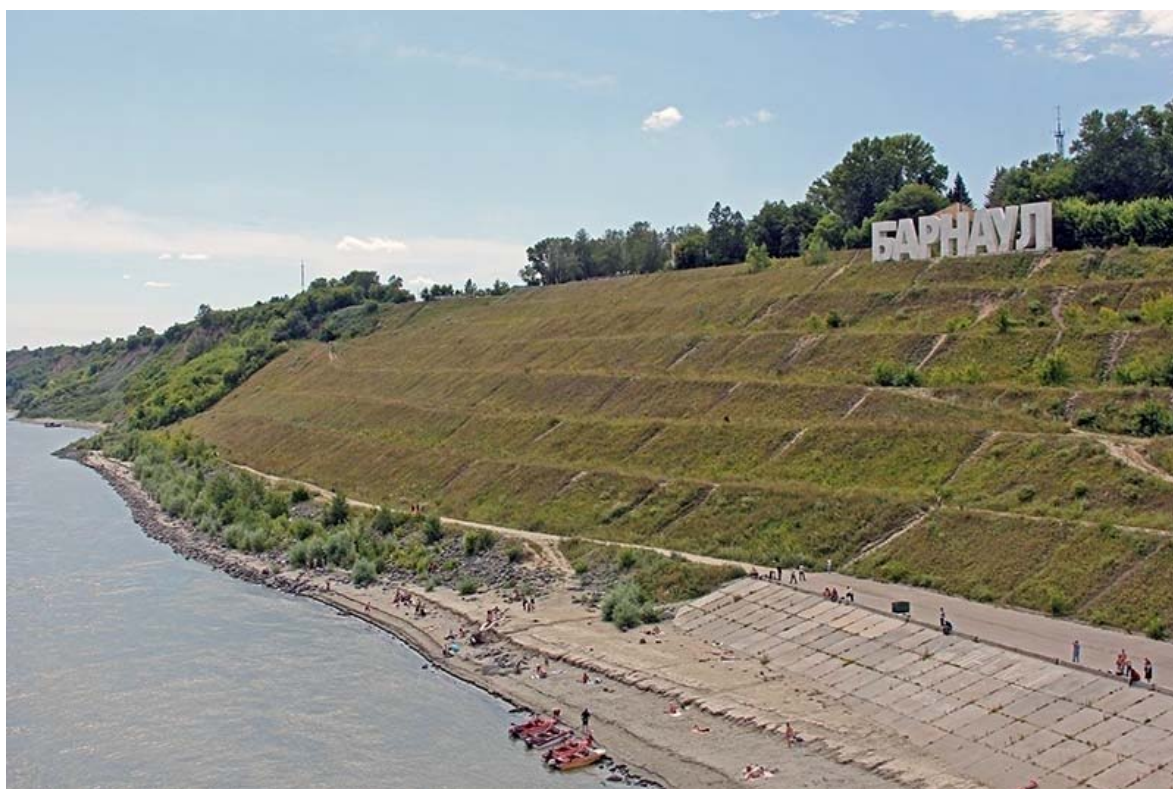


Рис. 21. Террасированный склон Приобского плато у нагорного парка г. Барнаула. Верхняя часть склона сложена лёссами V

Автором изучен процесс подтопления на Алтае и намечены стадии его:

1. Повышение влажности грунтов под отдельными зданиями.
2. Образование куполовидных зон замоченных грунтов под отдельными зданиями.
3. Смыкание куполовидных зон и формирование пластообразной зоны замоченных грунтов под группой зданий в микрорайоне или группой промышленных сооружений.
4. Расширение зоны замоченных грунтов, захватывающей ряд микрорайонов или весь комплекс заводов промышленных узлов (к примеру Северная промышленная зона Барнаула),
5. Повышение уровня грунтовых вод территорий.
6. Смыкание зоны искусственно замоченных грунтов с грунтовыми водами.

Подтопление лёссовых массивов приводит к деградации лёссов: они в некоторой степени уплотняются, физико-механические свойства их резко ухудшаются (модуль деформации их снижается до 1-6 МПа, уменьшаются величины удельного сцепления и угла внутреннего трения), утрачиваются просадочные свойства. Эти грунты уже нельзя отнести к лёссам.

14.6. Оползнеобразование

Общие сведения

Оползнеобразование получило значительное развитие на Алтае [1, 3, 30, 31, 34, 51, 70, 71, 77, 84]. Оползни часто встречаются на крутых обрывистых берегах крупных и средних рек: Оби, Бии, Чарыша, Алея и др. Но нередко они отмечаются и на берегах мелких рек, и в бортах оврагов, если высота склонов превышает 8-10 м, а крутизна их более 30°.

Наибольшее развитие оползни получили на склонах долины Оби.

Река Обь в верхнем течении (в пределах Алтайского края) от р.ц. Усть-Пристань до с. Киприно имеет высокий и крутой левобережный склон долины. Высота склонов значительная 50-115 м. Крутизна их от 25-30° до 70-80°, в верхней части склонов стенки почти вертикальные. Породы, слагающие склон, в таких условиях являются неустойчивыми. Время от времени они разрушаются и сходят вниз по склону. Активное проявление оползневых процессов отмечается в районах сел: Володарка, Бураново, Бельмесево, Шадрино и во многих других местах. Практически почти весь склон на отмеченном участке является оползневым.

Большое развитие оползни получили и в пределах границ Барнаула на протяжении 20 км от пос. Ерестной до района Туриной горы, а в пределах городского округа Барнаул оползневой район прослеживается до Научного городка. Общая длина его составляет 32 км. Этот участок условно назван Барнаульским Приобьем. В отношении оползней он является наиболее изученным на Алтае и поэтому он выделен в **ключевой оползневой участок «Барнаул»**. Описание оползней на ключевом участке приводится ниже.

Изучением оползней у г. Барнаула занимается ООО «Барнаульская оползневая станция», созданная в 1974 г. За время её существования зафиксировано свыше 400 оползней и оползнепроявлений. Ежегодно отмечается сход от одного до 5-10 оползней.

Оползневой станцией установлена опасная оползневая зона, включающая Обской склон и приобровочную полосу Приобского плато шириной 200-300 м. Статус оползневой зоны узаконен решением администрации г. Барнаула от 09.04.1973 и от 09.06.1993.

В геоморфологическом отношении Обской склон представляет собой уступ Приобского плато к долине р. Оби. Отметки поймы Оби 131-135 м. Отметки бровки плато 180-240 м. Высота уступа 45-110 м. (50 - 115 м над

меженным урезом воды). Пойма в левобережье Оби имеется не повсеместно, а лишь на участках пос. Ерестной и севернее железнодорожных мостов. Русло Оби непосредственно примыкает к оползневому склону на 2-х участках: от 1 речного водозабора до устья Барнаулки и от Барнаульской нефтебазы до железнодорожных мостов.

Обской оползневой склон довольно крутой, 25-80°. Местами склон становится почти отвесным, особенно в верхней его части. Наибольшая крутизна его отмечается от первого речного водозабора до речного вокзала и от Барнаульской нефтебазы до железнодорожной выемки, т.е. на тех участках, где отсутствует пойма и воды Оби подмывают склон.



Рис. 22. Оползень сдвига на склоне долины р. Оби в садоводстве Обь г. Барнаула. В верхней части обнажения под почвенным слоем лёссы

Приобское плато прорезается долиной р. Барнаулки северо-восточного простирания. Ширина её 5-6 км.

Левый склон долины Барнаулки относительно пологий, здесь прослеживаются три надпойменные террасы реки. Правый склон довольно крутой (20-50°) и здесь также отмечается оползнеобразование, но не такое интенсивное, как на Обском склоне.

В геологическом строении в пределах склона Приобского плато участвуют (сверху вниз):

- верхнеплейстоценовые покровные просадочные лессовые суглинки и супеси мощностью 8 - 13 м,

-нижне-среднеплейстоценовые суглинки (реже супеси) и пески краснодубровской свиты мощностью 20 - 72 м,

-средне-верхнеплиоценовые суглинки и глины кочковской свиты, вскрывающиеся в основании склона.

Обской склон в пределах I - III надпойменных террас р. Барнаулки сложен песками мелкими, с прослоями суглинков и супесей.

Степень пораженности Обского склона оползнями

Интенсивность пораженности Обского склона оползнями неодинакова. Очень сильной пораженностью оползнями характеризуются участки, где отсутствует пойма: от ЛОУ «Санаторий «Барнаульский» до нового автомобильного моста через р. Обь (на этом участке почти весь Обской склон поражен оползневыми цирками) и от бывшей ООО «Барнаульская овчинно-меховая фабрика» до старого железнодорожного моста через р. Обь.

Для них коэффициент пораженности K_p (K_p равен отношению площади, занимаемой оползневыми цирками, к общей площади участка) варьирует от 0,5 до 1,0.

Сильная пораженность склона оползнями (K_p 0,25-0,5) наблюдается на участках от устья Барнаулки до бывшей ООО «Барнаульская овчинно-меховая фабрика» и от ТЭЦ-2 до ОАО «Барнаульский завод технического углерода», включая оба эти предприятия.

Средняя пораженность (K_p 0,15-0,35) характерна для участков от железнодорожной выемки до ТЭЦ-2 и от ОАО «Барнаульский завод технического углерода» до АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» включительно.

Сильная пораженность склона оползнями (K_p 0,2-0,6) отмечается на участке от АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» до Научного городка.

Слабо поражен оползнями (K_p меньше 0,1) правый склон долины р. Барнаулки от устья её до западной границы города.

Барнаульское Приобье по степени интенсивности оползнеобразования поделено на 4 района. Пятый район расположен по р. Барнаулке.

I район прослеживается от пос. Ерестной до нового моста через Обь. Протяженность его 4 км. Коэффициент пораженности склона оползнями K_p 0,5-1,0, коэффициент устойчивости склона K_u 0,4-0,7, крутизна склонов 45-75°, превышение Приобского плато над меженным уровнем Оби 50-60 м, генезис оползней – эрозионная деятельность р. Оби, в меньшей степени овражная деятельность, суффозия и антропогенные факторы.

II район расположен от устья Барнаулки до железнодорожной выемки. Протяженность его 5 км. Коэффициент пораженности склона оползнями K_p 0,25-0,5, коэффициент устойчивости склона K_u 0,6-1,4, крутизна склонов 5-55° и более, превышение Приобского плато над меженным уровнем Оби от 10 м на I надпойменной террасе до 50-60 м на III террасе, генезис оползней

– суффозионные процессы, в меньшей степени эрозионные (овражная деятельность) и антропогенные факторы.

III район прослеживается от железнодорожной выемки до АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод». Протяженность его 5 км. Коэффициент пораженности склона оползнями K_p 0,15-0,35, местами до 0,5, коэффициент устойчивости склона K_u 0,4-1,4, крутизна склонов от $25-40^\circ$ и до $80-85^\circ$, превышение Приобского плато над меженным уровнем Оби 60-95 м, генезис оползней – суффозионные процессы, эрозионные (овражная деятельность), антропогенные и полигенные факторы.



Рис. 23. Оползневой цирк на склоне Приобского плато. В верхней части обнажения лёссы

IV район расположен от АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» до Научного городка. Протяженность его 12 км. Коэффициент пораженности склона оползнями K_p 0,2-0,6, коэффициент устойчивости склона K_u 0,6-2,0, крутизна склонов от $25-40^\circ$ и до $80-85^\circ$, превышение Приобского плато над меженным уровнем Оби 100-110 м, генезис оползней – суффозионные процессы, эрозионные процессы (овражная деятельность).

В долине р. Барнаулки отмечен ряд мелких оползней, в том числе антропогенный оползень, деформировавший лестницу в нагорный парк, и оползень по ул. Аванесова, вызванный землетрясением, случившимся 27.09.2003.

Факторы оползнеобразования на Алтае

Повышенная крутизна склона - основной фактор развития оползневых процессов [70, 71, 77]. Коэффициент устойчивости Обского склона различен, изменяясь от 0,4 до 2,8. Но на большей части склона, там, где крутизна его превышает 30° - 35° , коэффициент устойчивости меньше 1,0, т.е. склон является неустойчивым.

Другими факторами, стимулирующими процессы оползнеобразования, являются:

- благоприятное для развития оползней геологическое строение - наличие в основании склона грунтов, легко подвергающихся механическому суффозионному выносу (пески и супеси), в результате чего формируются ниши, и в целом ослабляется этот слой грунтов. Залегающие выше грунтовые массы в результате теряют опору и получают неустойчивое положение;

- залегающие под песками суглинки и глины кочковской свиты обладают большой плотностью, низким коэффициентом фильтрации и являются водупором, над которым в песках формируется водоносный горизонт, обуславливающий суффозионный вынос частиц песка из грунтов и играющий роль «смазки» при сходе оползней, облегчая их скольжение;

- наличие у подножья склона рыхлых делювиально-коллювиально-пролювиально-деляпсивных отложений мощностью от 1-3 до 5-10 м, с одной стороны, играющих роль контрбанкета (и сдерживающих сход оползней), а с другой стороны, обуславливающих затруднение выхода (выклинивания) подземных вод на поверхность склона, повышающих обводненность грунтов и способствующих оползнеобразованию;

- резкое ослабление структурных связей лессовидных суглинков и супесей покровных отложений и красnodубровской свиты, слагающих Обской склон, при их замачивании. При природной влажности это прочные грунты, способные держать вертикальную стенку, но в водонасыщенном состоянии их прочностные характеристики резко снижаются, и они даже могут перейти в плавунное состояние; при этом сдвигающие усилия (вес грунтов) могут превысить удерживающие силы сопротивления и грунтовая масса сползет;

- размывающая деятельность реки Оби, производящая подмыв и обрушение берегов, сносящая оползшие массы грунта (играющие роль контрбанкета), обуславливающая повышенную крутизну склона и препятствующая его стабилизации;

- развитие процессов овражной эрозии, расчленяющих и ослабляющих склон и обеспечивающих сход отдельных его частей,

- северная, северо-восточная и восточная экспозиции Обского склона, что при превалирующих юго-западных и западных ветрах является благоприятным фактором для накопления зимой снежных масс (надув их), образующих весной обильные талые воды, насыщающие грунты склона, что способствует повышению сдвигающих усилий (вес грунтов) и снижению их

структурной прочности (снижая удерживающие силы сопротивления); один из пиков схода оползней приходится на конец весны;

-неравномерность выпадения годовых атмосферных жидких осадков, наличие периодов обильного выпадения дождей или сильных ливней, обуславливающих эрозию склона, насыщающих его грунты и способствующих оползнеобразованию;

-антропогенное (в основном, техногенное) воздействие на склон.

Данный фактор приобретает всё большее значение, ввиду усиливающейся производственной нагрузки на склон и прибрежную полосу.

Значимость всех этих причин возникновения оползнеобразования неодинакова для различных участков Обского склона, хотя везде решающим фактором является большая крутизна склона.

Так, на ключевом участке «**Барнаул**» от 1 речного водозабора до устья Барнаулки важным фактором является размывающая деятельность Оби. Роль суффозионных процессов и других факторов ограничена.

На участке от устья Барнаулки до бывшей ООО «Барнаульская овчинно-меховая фабрика» склон защищен от размывающего действия Оби песчаной косой (остров «Отдыха») и отделен от основного русла реки заливом «Ковш». В пределах этой части склона эрозионная деятельность Оби практически не проявляется. Наблюдающиеся здесь оползневые деформации, в основном, обязаны суффозионному выносу песков в основании склона на линии разгрузки грунтовых вод (несколько выше глин кочковской свиты).

На участке от бывшей ООО «Барнаульская овчинно-меховая фабрика» до железнодорожной выемки основными причинами являются размывающая деятельность р. Оби, а также оврагообразование.

На следующем участке, от железнодорожной выемки до АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод», важным фактором является суффозионная деятельность а также оврагообразование.

На этом участке большое значение приобретает также техногенный фактор, которому обязано схождение ряда оползней, в т.ч. оползнь у ООО «Барнаульский деревообрабатывающий завод» (ДОЗ) в 1973 г.

Генетико-морфологические особенности оползней Алтая [71]. V

По морфологии оползневые территории относятся к области линейного распространения оползней.

Деформирующимися горизонтами являются покровные лессовые суглинки и супеси, а также пески, супеси и суглинки краснодубровской свиты, поверхностью скольжения - плотные глины и суглинки кочковской свиты в основании склона.

По возрасту отмечаются как современные оползни, так и «древние». Подавляющее большинство зарегистрированных и описанных оползней - современные. Следы ранее сошедших «древних» оползней зафиксированы в виде оползневых террас, цирков и ложбин.

По стадиям развития наблюдаются готовящиеся, движущиеся и закончившиеся оползни. Период подготовки оползня различен: от 2-5 до 5-10 лет (к примеру, на ключевом участке «Заводские оползни») и более лет.

Самый крупный готовящийся оползень на ключевом участке «**Барнаул**» отмечается на пустыре ул. Поселковой, где на протяжении 140 м прослеживается формирующаяся трещина отрыва и опускание поверхности с образованием ступени высотой 0,2 – 1,2 м. Трещина отрыва находится в 40-55 м от бровки плато. Такая ширина призмы обрушения является наибольшей за весь период наблюдений Оползневой станцией. Эта трещина отрыва известна с 1974 г., т.е. данный оползень готовится 46 лет.

Но наиболее значительный готовящийся оползень на Оби зафиксирован в 1998 г. у райцентра Усть-Чарышская Пристань. Ширина его по фронту 300 м, глубина захвата плато (ширина призмы обрушения) 30-50 м. Высота оползневого уступа 0,5-2,0 м. Ширина оползневой трещины 2-25 см, глубина ее 17 м. Расчеты, проведенные автором, показали, что оползень не сможет сойти.

Движение оползней обычно происходит в течение периода от нескольких десятков секунд до нескольких суток, иногда до нескольких месяцев и даже лет. Так, движение оползня у АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» объемом в 46 тыс.м³ протекало в течение 3-х суток и завершилось катастрофическим срывом, произошедшим в течение одной минуты. В то же время известны оползни, движение которых осуществлялось в течение очень длительного времени, даже ряда лет. Примером может служить оползень у насосной станции ООО «Алтайский шинный комбинат» г. Барнаула. Первые признаки движения его были отмечены в 1980 году. Затем, в течение 3-х лет, наблюдалось медленное и прерывистое движения оползня с постепенным увеличением его параметров. Ширина оползня по фронту с апреля по декабрь 1981 г. возросла от 50 до 110 м, стенка отрыва от 2,2 м до 6 м. Первые деформации насосной станции от движущегося оползня были замечены еще в феврале 1981 г. (трещина шириной до 3 мм в кирпичных стенах и фундаментах). Решающая подвижка произошла 17 июня 1983 г., когда сорвалась масса грунта объемом 20 тыс. м³ и причинила большой ущерб.

Таким образом, движение оползней осуществляется в 2 фазы.

Первая фаза, длящаяся от нескольких часов до нескольких месяцев (и даже лет), характеризуется весьма медленным смещением грунтовых масс. Обычная скорость 1-5 см в минуту, но она может быть значительно меньше, до 2-3 м в год.

Признаками начавшегося движения сползающих масс является появление белой взвеси с песком в родниках и колодцах. В родниках начинают бить фонтанчики. Начинают трещать кусты и заборы. Появляется видимое простым глазом медленное движение почвы, продолжающееся около 1-3 суток.

Завершающая фаза движения оползня, его срыв, происходит в течение от нескольких десятков секунд до нескольких минут и сопровождается гулом или резким звуковым ударом. Скорость катастрофического срыва грунтовых масс, обычно, 1-2 м/с (до 5 м/с).

Очень часто отмечается движение оползней только в одну вторую фазу быстрого срыва без заметного проявления фазы медленного движения грунтов. Особенно это характерно для очень крутых склонов, с сильным воздействием оползневых факторов.

Завершившийся оползень играет роль контрбанкета. Но со временем он разрушается. Тело его размывается водами Оби (если склон контактирует с руслом), выклинивающимися грунтовыми водами (формирующими ручьи), ливневыми и талыми водами. Языки небольших оползней размываются Обью за 1 год, крупных - за несколько лет. Так, гребень языка самого крупного оползня, сошедшего в 1914 году, простоял 8 лет.

По размерам оползни самые разнообразные. Ширина по фронту от 20-30 м до 100-200 м. Глубина захвата плато (ширина призмы обрушения) от первых метров до 10-15 м (иногда и более). Высота вертикальной трещины отрыва от 5-7 м до 15-20 м. Объем сходящих масс грунта от 0,2 - 3 тыс. м³ до 100-300 тыс. м³. Один из самых значительных оползней случился 31 мая 1999 г. на ключевом участке «**Барнаул**» на ул. Поселковой. Ширина его по фронту составила 190 м. Объем порядка 200 тыс.м³.

По положению поверхности смещения оползни, в основном, исеквентные, поверхность смещения у них пересекает слои разного состава: покровные верхнеплейстоценовые суглинки и супеси, нижне-среднеплейстоценовые суглинки, супеси и пески краснодубровской свиты, глины и суглинки кочковской свиты.

Но имеются и асеквентные оползни, у которых скольжение проходит по однородной толще. Это отмечается на участках, где разрез представлен только суглинками.

По механизму оползневого процесса выделяются оползни сдвига, течения и выплывания. Преобладают оползни сдвига, при которых происходит сдвиг грунтового массива с блоковым смещением тела оползня, в основном, по вогнутой поверхности.

Оползни течения характеризуются смещением грунтового массива в виде вязкого или вязко-пластичного течения (оползни-потоки, смывы, оплывины). Примером может служить оползень, сошедший у ОАО «Алтайкожа. Барнаульский кожевенный завод». Возникновение таких оползней связано с обводнением пород. Они чаще происходят при смещении делювиальных образований.

Оползни выплывания характеризуются смещением материала в виде вытекания песчаных водонасыщенных грунтов с вовлечением в движение пород, залегающих над ними (оползни гидродинамического выноса, суффозионные оползни). В качестве примера можно назвать оползень № 55 у Барнаульской нефтебазы.

По генетическому признаку можно выделить следующие типы оползней (классификация Оползневой станции применительно к местным особенностям инженерно-геологических условий Обского склона):

- эрозионные, вызванные подрезкой (размывом) склонов в результате развития речной или овражной эрозии,
- суффозионные, обусловленные механическому выносу частиц подземными водами,
- антропогенные, образующиеся из-за изменений природных условий в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека,
- полигенные, вызванные совместным действием различных факторов оползнеобразования.



Рис. 24. Оползень на склоне долины Оби. В верхней части обнажения под почвенным слоем лёссы

▼

Эрозионные оползни образуются при подмыве берега течением вод или волнами, повреждением льдинами, при этом возрастает крутизна склона и потеря упора в основании, а также происходит увлажнение грунтов подошвы склона с падением прочности пород. Образуются они также в оврагах, в результате боковой и донной эрозии постоянными и временными водотоками. При эрозионных оползнях происходит смещение откалывающихся от массива блоков пород по ослабленной (часто увлажненной) криволинейной или круглоцилиндрической поверхности скольжения с одновременным их запрокидыванием вглубь склона.

Суффозионные оползни образуются в результате вымывания и механического выноса частиц грунта из водонасыщенных песков в местах выходов подземных вод на склон. Разрушение структуры песчаных пород происходит при создании в них гидравлических градиентов, превышающих критические. Выплывание песчаных пород на склон или к его подошве сопровождается сколом, оседанием и дальнейшим смещением вниз по

склону блоков вышележащих пород. Форма поверхности скольжения отсутствует или совпадает с кровлей водоупорного горизонта (глины кочковской свиты).

Антропогенные оползни образуются при искусственном повышении уровня грунтовых вод, увлажнении и обводнении пород, сопровождающихся снижением их прочности. Повышение влажности грунтов и их обводнение обуславливается фильтрацией вод из водосодержащих промышленных систем (резервуары и т.п.) и подземных водонесущих сетей, подпруживанием поверхностного и подземного стока, а также нерегулируемым орошением (огороды на склонах).

Другими причинами антропогенных оползней является подрезка склонов, их перегрузка при возведении сооружений близ бровки плато, отсыпка насыпных грунтов в верхней части склона с последующим их водонасыщением и др. случаи, связанные с деятельностью человека. Такие оползни характеризуются быстрым пластическим течением сильно увлажненных или разжиженных пород.

Полигенные оползни образуются при воздействии нескольких факторов оползнеобразования. К примеру, эрозионно-суффозионные оползни и антропогенно-суффозионные оползни.

Средняя скорость разрушения склона Приобского плато оползнями составляет 0,2-0,5 м в год.

В то же время следует отметить, что в последние полвека скорость разрушения склона возросла из-за усиления антропогенного фактора.

На отдельных участках склона скорость разрушения значительно превышает указанную среднюю величину. Так, на участке «Заводских оползней» ключевого участка «**Барнаул**» рост оползневых цирков достигал 2-5 м в год.

Знаменательные по масштабам и последствиям оползни Барнаульского Приобья [3, 71, 84]

Самый крупный оползень. Из известных в истории Барнаула оползней самый значительный произошел 22 февраля 1914 г. в 10 часов утра. Он получил название «Обвал Туриной горы». Ширина оползня по фронту составила свыше 100 сажен (213 м). Язык его перегородил р. Обь до середины, взломав лед на протяжении 500 сажен. Сформировавшийся гребень в реке высотой 15 м простоял 8 лет и впоследствии был размыт. Ориентировочный объем его 700 тыс. м³.

Оползень, вызвавший наибольшее количество жертв, случился 25 июня 1995 г. в 5 часов утра на склоне долины Оби в районе АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод». Здесь сошел относительно небольшой оползень (протяженность по фронту 50 м, длина оползневого тела 180 м, объем 46 тыс. м³), но он разрушил 4 жилых дома, дачу, баню и унес жизни 9 человек.

Оползни, послужившие причинами других смертельных случаев:

-в 1988 г. по ул. Кавалерийской, 5-а в результате прорыва водопроводного коллектора произошло водонасыщение массива грунтов на правом склоне оврага и обрушение их на недостроенные гаражи (антропогенный оползень), в результате погибло 6 человек (рис. 25);



Рис. 25. Разрушенный антропогенным оползнем 3-х этажный гараж по ул.Кавалерийской, 5а. 1988 г.

-оползень у ОАО «Алтайкожа. Барнаульский кожевенный завод» 21 апреля 1973 г. привел к разрушению 2-х домов с человеческими жертвами (2 чел.);
-антропогенный оползень (спływ древесных отходов, перемешанных с грунтом) на участке ДОЗа 6 мая 1973 г. также разрушил 2 жилых дома и унес жизни 2-х человек.

Среди других наиболее крупных оползней можно отметить следующие:
-оползень, сошедший летом 1985 г. на ул. Тачалова и Кузбассовской объемом 300 тыс. м³; городская территория уменьшилась на несколько сотен м², язык оползня завалил часть русла Оби;
-оползень, случившийся 31 мая 1999 г. на участке ул. Поселковой, ширина его по фронту составила 190 м, объем порядка 200 тыс. м³;
-оползень, сорвавшийся 7 марта 1997 г. близ ОАО «Барнаульский завод технического углерода» объемом 170 тыс. м³ и др.

Ущерб от схода оползней

Ущерб, приносимый оползневыми процессами, значителен [3, 71, 84]. В первую очередь, это человеческие жертвы: за последние 46 лет погибло 19 человек. Значительны и ежегодные материальные потери. За этот же период разрушены около 20 жилых домов, насосная станция ООО «Алтайский шинный комбинат», водоводы, золопроводы, ливневые и канализационные коллекторы, уничтожен ряд садовых участков (вместе с садовыми домиками), сокращена территория АО «Мельница», нагорного парка и др.

Администрация Барнаула, во избежание жертв, была вынуждена переселить из опасной зоны около 10 тыс. жителей из сносимых домов по ул. Поселковой, Кузбассовской, Тачалова и др.:

Однако, еще несколько тыс. человек проживает в опасной зоне. В опасной зоне находится также около 30 крупных и средних промышленных предприятий и ЛОУ «Санаторий «Барнаульский».

Противооползневые мероприятия

Проведение противооползневых работ в Барнаульском Приобье является актуальным вопросом, но решение его затягивается на десятилетия из-за нехватки финансовых средств.

В 1974 г. «Гипрокоммунпроектом» (г. Москва) было составлено ТЭО мероприятий по противооползневым и берегоукрепительным работам на Обском склоне у г. Барнаула.

В 1971 - 1983 г.г. «АлтайТИСИЗом» и «Гипрокоммунпроектом» проведены изыскания и последним составлены технические проекты берегоукрепительных и противооползневых работ на 9 конкретных участках общей протяженностью 6,1 км.

Следует отметить также разработку «Инжзащитой» (г. Москва) «Схемы инженерной защиты г. Барнаула от опасных геологических и гидрологических процессов» (1994 г.), в которой отражены противооползневые мероприятия (в основном, террасирование склонов) и берегоукрепительные работы [94].

В 80-х и 90-х годах XX в., а также в 2000 – 2005, 2015-2017 г.г. были выполнены берегоукрепительные и противооползневые мероприятия на 8 участках общей протяженностью 2,3 км (выше нового Обского автомобильного моста, у ООО «Барнаульский деревообрабатывающий

завод» (ДОЗ), речного вокзала, АО «Мельница» и др.). Этими работами, где полностью, а где частично, были решены определенные задачи, но основная часть Обского склона осталась не укрепленной.

Процессы оползнеобразования по категории опасности согласно табл. 5.1 СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий (Актуализированная редакция СНиП 22-01-95) относятся к «весьма опасным». Проблема укрепления Обского склона является очень важной и может быть решена только при условии государственной поддержки финансирования работ по федеральной программе.

Воздействие оползнеобразования на массивы лёссов значительно: лёссы при сходе оползней разрушаются и превращаются в бесструктурную глинисто-пылевато-песчаную массу, которая в подножье склона долины размывается и уносится водами реки, а также и ручьями, стекающими со склона.

14.7 Суффозия

Суффозионные процессы, особенно механическая суффозия, получили развитие на Алтае [3, 31, 34, 50, 60, 84].

Этому способствовали такие факторы, как наличие крутых склонов долин рек (особенно Оби и Бии), оврагов, искусственных дренажей, заметный уклон уровня грунтовых вод в сторону рек, значительные сезонные колебания его, облегченная инфильтрация атмосферных осадков, наличие легкоразмываемых грунтов (песков, супесей, суглинков), теряющих структурные связи при их обводнении или увлажнении.

В результате выноса частиц грунта грунтовыми водами, в песчаном слое образуются разнообразные полости: ниши, западины, воронки, пещеры и др. При этом вышележащие породы теряют устойчивость и обрушаются, образуя суффозионные цирки. Подобные суффозионные процессы протекают на левобережье Оби, обуславливая развитие оползневых явлений суффозионного происхождения.

Суффозионные процессы проявляются не только в песках, но и в суглинках и супесях красnodубровской свиты и в лёссах. Суффозионные процессы в лёссах обязаны тому, что при замачивании этих пород структурные связи их легко разрушаются из-за резкого падения величин удельного сцепления грунтов при их водонасыщении (снижаются в 2-4 раза).

Благоприятным условием для развития суффозионных процессов, выноса материала и формирования псевдокарстовых форм в лёссах является наличие в них трещин, пустот, крупных пор. Эти полости поглощают и концентрируют воды поверхностного стока. Проходя по пустотам, они производят энергичный размыв пород, вынос частиц грунта, что приводит к образованию воронок, западин, ходов и т.п., проседанию и обрушению вышележащих грунтов.

Формирующиеся разнообразные полости «глиняного карста» имеют формы как близкие к изометричным, так и линейного характера. Размеры полостей различны: от долей кубометра до 80 м³.

Псевдокарстовые образования широко развиты вдоль всего левобережного борта долины р. Оби. Они ослабляют склон, способствуя развитию оползневых процессов и оврагообразованию. Протяженность провальных воронок, нор, западин колеблется от 0,3 до 7,5 м, глубина - от 0,5 до 3 м. На отдельных участках система провальных воронок образует цепочку, которая предопределяет зону сдвижения боковых оползней.

Суффозионные процессы протекают на Приобском плато, Бийско-Чумышской возвышенности, Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равнине, Предалтайской и Предсалаирской равнинах.

Наиболее интенсивно процессы механического выноса частиц из грунтов протекают в левобережье р. Оби на крутых склонах ее долины от с. Усть-Чарышская Пристань до с. Киприно, где в нижней части склона наблюдается выклинивание подземных вод, приуроченных к слою песков красnodубровской свиты, залегающих в основании этой свиты на контакте с подстилающими их глинами и суглнками кочковской свиты.

Наиболее полно суффозионные процессы изучены на ключевом участке «Барнаул» [3, 31, 34, 50, 60, 84]. Ниже приводится их описание.



Рис. 26. Суффозионная воронка у водовода АО «Барнаулский меланжевый комбинат» на Обском склоне

На склоне долины Оби выше устья р. Барнаулки преобладают деформации эрозионного типа, обусловленные размывом берега Обью. Здесь суффозионные процессы проявлены слабее, чем в других районах, но их влияние на подготовку новых сдвиговых смещений блоков массивов грунтов заметно (участок ЛОУ «Санаторий «Барнаулский» и др.).

Особенностью Обского склона на территории от устья Барнаулки до ул. Димитрова является то, что он сложен здесь песками надпойменных террас Барнаулки и характеризуется обилием мелких (размером до 15-20 м) современных суффозионных цирков. Интенсивному суффозионному выносу частиц из слоя песков в полосе выклинивания подземных вод способствует также резкое падение паводковых уровней воды и, так называемая «отдача поймы», сопровождающаяся выносом песка и образованием оползневых деформаций.

Суффозионные процессы также интенсивно развиваются и ниже по течению Оби, от бывшей ООО «Овчинно-меховая фабрика» до Барнаульской нефтебазы, обуславливая образование суффозионных оползней. Типичным суффозионным оползнем является оползень на участке Барнаульской нефтебазы. Широко развиты эти процессы также на участке от железнодорожной выемки до завода технического углерода, к примеру, оползень на участке ТЭЦ-2.

Полости «глиняного карста» отмечены на участке пустыря по ул. Поселковая, юго-восточнее домов по ул. Береговая, 1; ул. Гуляева, 59 и др.

За период 1974 - 2018 гг. наблюдениями ООО «Барнаульская оползневая станция» на пустыре ул. Поселковой было отмечено увеличение размеров и глубины подобной системы воронок, их постепенное слияние, обрушение сводов и арок. По мнению специалистов ООО «Барнаульская оползневая станция», такая унаследованность направления развития серии суффозионных провальных воронок, трещин, прогибаний в рельефе свидетельствует о медленной подготовке к смещению крупного оползневого блока с ориентировочным объемом грунта около 2 млн. м³.

Естественные процессы суффозионного выноса осложняются воздействием антропогенных факторов. Возделывание огородов облегчает инфильтрацию атмосферных осадков в грунт. Утечка вод из многочисленных подземных коммуникаций на склонах и присклоновых участках усиливает вынос частиц грунта, образуются полости, ослабляются склоны, формируются суффозионные цирки. Данные процессы нередко приводят к оползневому срывам грунтовыми масс. Особенно интенсивно выносятся грунты обратной засыпки траншей.

Примером образования подземной полости в лёссах, обусловленной деятельностью человека, служит пещера размером 80 м³ на склоне долины р. Оби, см. рис. 26. Пещера сформировалась в 1977 г. в результате утечек из водовода АО «Барнаульский меланжевый комбинат».

Своеобразные трубчатые полости образуются при прорыве вод из напорных коммуникаций. Так, в 1988 г. произошел прорыв водопроводного коллектора диаметром 400 мм близ склона у дома № 5-а по ул. Кавалерийской. Напорной струей воды был вымыт подземный трубчатый канал диаметром около 0,4 м. Грунты склона оказались водонасыщенными и сползли вниз, уничтожив 3-этажный гараж (см. рис. 25). V

В том же году, при прорыве напорного канализационного коллектора № 9, на склоне железнодорожной выемки сформировалась трубчатая полость в лессовых суглинках диаметром 0,5 - 0,6 м и протяженностью 12 м. Дальнейший промыв и обрушение грунтов под опорой эстакадного перехода канализационного коллектора обусловил аварийное состояние объекта.

Недоучет суффозии при строительстве и эксплуатации сооружений, особенно на склонах и присклоновых участках, может привести к ослаблению оснований и вызвать серьезные деформации объектов.

Воздействие суффозионных процессов на массивы лёссов выражается в деградации лёссов и частичного разрушения их.

14.8. Оврагообразование

Процессы оврагообразования получили довольно широкое развитие на Алтае, за исключением Кулунды – плоской равнины с небольшим врезом долин рек и недостаточным количеством выпадающих осадков. Овраги на этой равнине развиты ограничено и обычно имеют небольшие размеры.



Рис. 27. Овраги на склоне Приобского плато. В верхней части обнажения лёссы

На остальной территории Алтая овраги многочисленны [3, 50, 84, 91]. Они имеются на Приобском плато, Бийско-Чумышской возвышенности, Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равнине, Предалтайской и Предсалаирской равнинах. Овраги приурочиваются к склонам долин рек. Некоторые из них далеко заходят на водоразделы (на 10-20 км), где они ветвятся, образуя отвершки.

Наибольшее развитие овраги получили в левобережье Оби на крутом склоне ее долины от райцентра Усть-Чарышская Пристань до с. Киприно. Этот склон интенсивно изрезан оврагами. Расстояние между ними 100-400 м, а местами 50-100 м.

Развитию оврагов способствуют благоприятные природные условия и инженерно-геологическая обстановка:

- большая высота и крутизна склонов, обуславливающих значительную энергию временных потоков талых и ливневых вод,

- северная и восточная экспозиция левобережного Обского склона, благоприятная для накапливания снежных масс, сдуваемых с плато, наиболее часто случаемых зимой южными и юго-западными ветрами,

- интенсивный характер снеготаяния весной, развитие бурного поверхностного стока при малой инфильтрации из-за наличия неоттаявших грунтов (под слоем оттаявших пород),

- сложение склона лессовыми породами, способными держать крутые стенки в маловлажном состоянии, но легко подвергающимся размыву водными потоками.

Овражной эрозии способствует и деятельность человека:

- уничтожение растительного (дернового) покрова на склоне при распашке земель под огороды, при прокладке коммуникаций и т.д.,

- сброс на склон промышленных и бытовых вод, вызывающих образование промоин,

- утечки вод из коммуникаций, размывающие грунты.

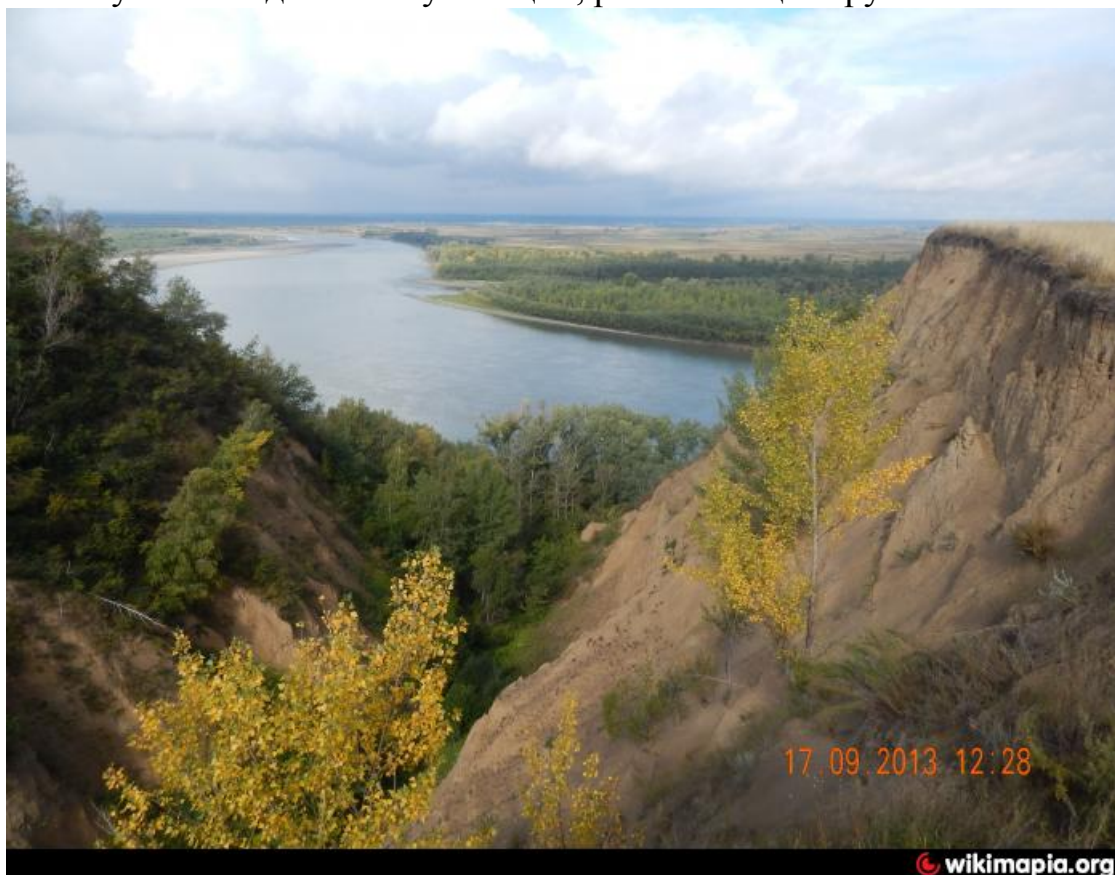


Рис. 28. Овраг у склона долины Оби (Научный городок).

V

В разрезе отложений лёссы

На левобережном склоне Оби, в основном, развиты глубокие, но короткие овраги. Это обусловлено тем, что на плато уклон местности направлен большей частью от бровки плато, а не к ней. Поэтому водосборная площадь оврагов относительно небольшая. А интенсивность роста вершин оврагов в большой мере зависит от количества поступающих талых и дождевых вод, которые и размывают породы склона.

Многие овраги вскрывают водоносные горизонты краснодубровской свиты, в результате чего по дну их текут не временные, а постоянные водотоки, способствующие развитию донной и боковой эрозии. В местах выхода в оврагах подземных вод иногда наблюдается суффозия с развитием небольших оползней или оползнепроявлений.

Наиболее полно овраги изучены на ключевом участке «**Барнаул**». Здесь они приурочены, в основном, к левобережному склону долины р. Оби, к Приобскому плато, в меньшей степени - к бортам долины р. Барнаулки [3, 84].

На Обском склоне в пределах исследуемой территории можно наметить 3 участка, наиболее подверженных овражной эрозии.

Первый участок находится между АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» и железнодорожной выемкой. Особенно интенсивно здесь развиты овраги между АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» и ТЭЦ-2. Врез оврагов значительный 30 - 80 м, но длина их ограниченная 100 - 600 м. Лишь два оврага, между Туриной горой и АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» (еще в пределах черты города) и овраг вдоль железнодорожной выемки, имеют большую длину 2,2 км и 1,6 км, соответственно. Ширина оврагов (поверху) также небольшая, 70 - 200 м, и лишь овраг за АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» имеет ширину 400 - 500 м.

Многие овраги ветвятся, имея короткие отвершки. Большинство их находится в стадии выработки профиля равновесия. Интенсивная донная эрозия обусловила V - образную форму их в поперечнике. Отдельные овраги находятся в стадии затухания процесса оврагообразования. В нижней их части уклон дна относительно пологий, скорость водных потоков относительно небольшая и здесь происходит отложение принесенного пролювиального материала. Некоторые овраги имеют расширенную среднюю часть (приобретая вид мелкой ложбины), а в устьевой части - суженную горловину.

Овражная сеть развита относительно слабо между ТЭЦ-2 и железнодорожной выемкой, но здесь представляет интерес овраг по ул. Маяковского, который простирается не перпендикулярно склону (как у всех оврагов), а субпараллельно ему. Длина оврага 550 м, ширина (поверху) от 50 до 200 м. Этот овраг в значительной мере засыпан.

Второй участок интенсивного оврагообразования на Обском склоне расположен выше по течению Оби и находится между железнодорожной выемкой и ул. Шевченко. Овраги здесь аналогичны оврагам первого участка, но более короткие (длина 50 - 200 м) и имеют меньший врез (20 - 50 м).

Далее, выше по течению р. Оби, от ул. Шевченко до устья р. Барнаулки, Обской склон сложен песками и оврагообразование не получило развития.

Третий участок Обского склона находится в нагорной части Барнаула, между пер. Присягина и пос. Ерестной.

Водосборная площадь этих оврагов также незначительная ввиду уклона местности в сторону от реки. Поэтому ограничена и длина оврагов, от 100 до 600 м. Но отдельные овраги имеют значительно большую длину. Так, овраг между улицами Поселковой и Кузбассовской протягивается на 1300 м, овраг выше по Оби (в 900 м) имеет длину 1000 м, а овраг у д. Ерестной - 1200 м. Врез оврагов 3-го участка - 30-60 м. Большинство их также находится в стадии выработки профиля равновесия.



Рис. 29. Овраг с отвершками на Приобском плато. В обнажении лёссы

В долине Барнаулки процессы оврагообразования на её левом и правом берегах протекали по-разному. В левобережье, где долина широкая и представлена поймой и 3-мя надпойменными террасами, сложенными песками, оврагообразование в пределах черты города проявилось слабо. Но здесь все же сформировались 3 значительных оврага, два из которых (Лог Пивоварка и Сухой Лог) протянулись далеко в пределы Приобского плато. Третий овраг, находящийся у пос. Кирова, прослеживается лишь в пределах 1 и 2 надпойменных террас. Длина его 800 м, глубина небольшая (менее 5 м).

Овраг Лог Пивоварка (долина р. Пивоварки) имеет длину 11 км, доходя по плато почти до АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» (близ Обского склона). На плато от этого оврага отходит ряд узких отвершков, ветвящихся в свою очередь. Из них 2 наиболее протяженных имеют длину 5 и 3 км.

Врез оврага Лог Пивоварка составляет 5-12 м в нижней его части, 15-20 м в средней части и 30-35 м. в вершинной его части. Ширина оврага от 150 до 300 м в нижней части. В средней и верхней части ширина оврага доходит до 700-1000 м. Глубина вреза 2-х основных отвершков небольшая (5-10 м). Борта их крутые.

Сухой Лог имеет длину 8,8 км, протягиваясь до бывшего мехзавода (близ пересечения Павловского тракта и ул. Тракторной). Ширина его небольшая – 50-150 м. Глубина от 10 до 18 м. Борта крутые, местами обрывистые. В пределах плато от оврага отходят многочисленные отвершки длиной 50-650 м. Сухой Лог в значительной степени осложняет строительство.

Площади, занимаемые этими оврагами, значительны: Лога Пивоварки - 970 га (с отвершками), Сухого Лога - 52 га. В целом, большая протяженность оврагов на плато объясняется тем, что оно сложено лессами, имеющими слабые структурные связи в водонасыщенном состоянии и легко поддающимися размыву водными потоками.

На правом берегу Барнаулки оврагообразование получило развитие. Наиболее значительными являются овраги по ул. Аванесовой, Пороховому взвозу (ул. Фомина) и Пороховому Логу. Окультуренный, укрепленный овраг по ул. Аванесовой имеет длину 300 м при ширине (поверху) до 100 м. Длина оврага по Пороховому взвозу 440 м, по Пороховому Логу - 360 м. Эти овраги имеют более крутые склоны. Ширина их поверху изменяется от 60 до 120 м. В подножье склона эти овраги сливаются. Интересно, что овраг Порохового Лога протягивается параллельно склону долины Барнаулки. Более того, его вершина приближается к склону, ширина водораздела здесь незначительна (30 м).

Небольшой овраг в правобережье Барнаулки по ул. Гуляева близ Обского склона был ликвидирован при отработке профиля левобережного подхода к новому Обскому автомобильному мосту.

Формирование оврагов на территории Барнаула происходит и в настоящее время. Скорость их роста 0,1-1 м в год, иногда до 7-12 м в год. Особенно быстро росли некоторые отвершки Сухого Лога и р. Пивоварки.

В результате развития оврагов уменьшается городская территория, благоприятная для застройки, и часть земель переходит в категорию «неудобных земель». Овраги ослабляют склоны, обуславливая неустойчивость грунтовых масс на склонах и их сползание.

В условиях дефицита городской территории, остро стоит вопрос об ограничении оврагов, прекращении их роста и в дальнейшем - ликвидации

оврагов путем засыпки грунтом. Тем более, недопустимо развитие овражной эрозии по причинам антропогенного характера.

Воздействие оврагов на массивы лёссов заключается в уничтожении лёссов: они размываются и превращаются в бесструктурный глинисто-пылевато-песчаный материал, который талыми и дождевыми водами сносится к устью оврагов.

14.9. Плоскостная эрозия

Явления плоскостного смыва получили развитие на Алтае во всех основных геоморфологических структурах: на Приобском плато, Бийско-Чумышской возвышенности, Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равнине, Предалтайской и Предсалаирской равнинах, а также в Кулунде [3, 84]. В последней они получили ограниченное развитие ввиду небольших уклонов местности.

Процессы плоскостного смыва происходят на склонах долин рек и оврагов, а также на склонах территорий увалистого рельефа в пределах Приобского плато, Бийско-Чумышской возвышенности и предгорных равнин.

Особенно интенсивному смыву подвержен левобережный склон долины Оби на всем протяжении от райцентра Усть-Чарышская Пристань до с. Киприно.

На развитие плоскостной эрозии и ее интенсификацию оказывают влияние следующие факторы:

- наличие оголенных, лишенных растительного покрова склонов и откосов,
- рельеф, повышенная крутизна склоновых поверхностей,
- величина водосборных площадей (для крупнотруйчатого плоскостного смыва),
- высота склонов,
- экспозиция склона, благоприятная для накопления снеговых масс,
- количество выпадающих осадков за год, за один дождевой период, обуславливающее степень мощности и скорости течения вод,
- наличие легкоразмываемых грунтов (пески, лессы),
- инженерно-хозяйственная деятельность человека, приводящая к нарушению дернового покрова, увеличению крутизны склонов, или наоборот, упорядочивающая поверхностный сток.

Плоскостной смыв интенсивно происходит во время сильных ливневых дождей и в период таяния снега, особенно на крутых незадернованных склонах. Наиболее активно процессы эрозии проходят в верхних и средних частях склонов и бортах оврагов.

Смываемый мелкоструйчатыми потоками материал, перемещаясь вниз по склону, задерживается на неровностях рельефа, на небольших выположенных участках в виде мелких конусообразных выносов, скапливается на днищах оврагов.

В целом, мелкоструйчатый плоскостной смыв способствует сглаживанию неровностей рельефа мелкими фракциями грунта. При дальнейшем развитии плоскостного смыва накапливающийся в тальвегах оврагов материал, насыщенный влагой, перемещается вниз, давая начало грязевым потокам. Эти потоки формируют в устьях оврагов конусы выноса шириной до нескольких десятков метров и мощностью 1-7 м. На других участках подножья склона (вне оврагов) образуется делювиальный шлейф шириной от нескольких метров до 10-20 м и мощностью от долей метра до 1-5 м.

В ходе развития процесса мелкоструйчатый сток переходит в крупноструйчатый, являющийся по существу уже линейным стоком. И, если при мелкоструйчатом стоке наблюдается выравнивание элементов рельефа, то крупноструйчатый сток образует мелкие линейные углубления: борозды, промоины, рывины, являющиеся зародышами оврагов и способствующие обрушению на склонах отдельных глыб грунта. Если мелкоструйчатый смыв охватывает всю площадь склона, то крупноструйчатый носит унаследованный характер, приурочиваясь к линейным микропонижениям в рельефе.

Масштабы перемещения мелких фракций грунта могут быть значительными даже при одном, но обильном выпадении атмосферных осадков. Так, при сильном ливне 21 июня 1976 года в г. Барнауле, когда выпало около 60 мм осадков, плоскостным смывом был сформирован в основании Обского склона на участке ул. Зеленой слой наносов мощностью до 1 м. Принесенные наносы скапливались с нагорной стороны домов, что вызвало деформации и перекосы некоторых строений.

На усиление процессов плоскостного смыва оказывает влияние инженерно-хозяйственная деятельность человека: проходка выемок, подрезка склонов, рытье канав, траншей. Подобные действия приводят к уничтожению дернового покрова и древесно-кустарниковой растительности.

Так, при прокладке III-IV путей железной дороги Новоалтайск-Барнаул была расширена выемка на левом берегу Оби и при этом недостаточно закреплен склон выемки, в результате чего на отдельных участках склона образовались борозды и промоины.

Другой пример. При проведении противооползневых работ в г. Барнауле в 1975-1977 гг. на участке первого речного водозабора и в 1990-2005 г.г. - на участке нового Обского моста и выше его по Оби работы на откосах и террасах были выполнены с нарушением правил. Не были произведены надвигка почвенного слоя и засев его семенами многолетних трав или задернование поверхностей, не была посажена древесно-кустарниковая растительность, не сооружены водоотводные лотки с перепадными колодцами и гасителями энергии сточных вод, а также не перехвачены воды, поступающие с плато. Это привело к образованию крупных промоин протяженностью 20 - 30 м, шириной 0,5 - 1,5 м и глубиной 0,1 - 2 м.

Воздействие плоскостного смыва на массивы лёссов – это размыв (разрушение) верхней части обнажающихся на склонах лёссов, превращение их в бесструктурный глинисто-пылевато-песчаный материал, сносимый дождевыми и талыми водами к подножью склона.

14.10. Морозное пучение грунтов

Как сказано выше, разрез геологических отложений на Алтае венчают лёссы.

Лёссы представлены, в основном, суглинками легкими пылеватыми (число пластичности обычно 8-12, содержание песчаных частиц 15-25%), и супесями пылеватыми (число пластичности 2-7, содержание песчаных частиц 15-20%). Реже встречаются супеси пылеватые с содержанием песчаных частиц 20-25%. Эти грунты в природном состоянии (влажность обычно 0,12-0,17, консистенция, как правило, твердая) обычно не являются пучинистыми, но при замачивании приобретают пучинистые свойства [3, 84, 88]. При большой влажности их, близкой к водонасыщению, или в водонасыщенном состоянии суглинки легкие пылеватые и супеси пылеватые по степени пучинистости становятся чрезмерно пучинистыми (V группа, относительное морозное пучение более 10%) и сильнопучинистыми (IV группа, относительное морозное пучение 7-10%).

При застройке территорий, сложенных лёссами, неизбежно происходит их замачивание. Большие утечки вод наблюдаются в промзонах из водосодержащих и водопотребляющих систем. Суглинки и супеси становятся пучинистыми и при естественном насыщении верхнего слоя их водой в осенний период при длительных дождях в конце сентября и в октябре, что характерно для климата Барнаула [3, 84, 91].

Пучение водонасыщенных лёссов начинает проявляться в ноябре при начале промерзания их и достигает максимума в конце марта (иногда, первых числах апреля), когда мощность мерзлых грунтов достигает максимума.

Пучение грунтов - серьезный опасный процесс, не учитываемый в достаточной степени проектировщиками и строителями. В условиях Алтая, где сплошным покровом залегают просадочные лёссы, это явление усугубляется совместным действием при замачивании грунтов и просадки, и пучения.

Так, продолжающиеся в течение 30 лет деформации дома в г. Барнауле по ул. Новороссийской, 8, обязаны не только релаксации просадок, но и пучению водонасыщенных грунтов. Так как грунты замачиваются в неодинаковой степени под зданием и вокруг него, то и сила выпучивания различна на разных частях его, что вызывает напряжение в конструкциях и при превышении сил сопротивления получают деформации зданий (трещины).

Для исключения действия пучения по боковой поверхности фундаментов рекомендуется проводить обратную засыпку из непучинистых грунтов, что на Алтае зачастую не выполняется. Эта засыпка производится

нередко грунтом из вскрытого котлована под здание, т.е. лёссовыми суглинками и супесями, являющимися чрезмерно пучинистыми грунтами в замоченном состоянии.

Но еще более опасно промерзание грунтов под фундаментами, что постоянно наблюдается при строительстве в зимний период. При неорганизованном отводе поверхностных вод, грунты под зданием осенью замачиваются и зимой активно идут процессы пучения. Достаточно промерзнуть грунтам под фундаментом на несколько десятков сантиметров, и силы пучения могут поднимать 2-5 этажные здания.

Из-за пучения страдают и инженерные коммуникации. Так, вывод из строя водонесущих систем, в результате пучения замоченных лёссовых суглинков, в строящихся микрорайонах Барнаула южнее Павловского тракта в 80-х годах XX в. заставил проектировщиков ООО «Проектный институт Алтайгражданпроект» более внимательно отнестись к этому явлению и полностью учитывать его при проектировании.

Должным образом не учитывается пучение грунтов и при строительстве автомобильных дорог. Применение для отсыпки рабочего слоя земляного полотна лёссовых суглинков и супесей, являющихся чрезмерно пучинистыми грунтами, чревато разрушением дорожной одежды при замачивании этих грунтов. Примером может служить реконструкция автодороги в г. Барнауле по ул. Юрина в конце 80-х годов, когда на следующий год после завершения строительства, асфальтовое покрытие было взломано пучением грунтов.

Нередко сетуем на плохое качество асфальтобетонной смеси, когда асфальт не выдерживает нормативного срока эксплуатации (что бывает), не замечая, что главная причина ломки его - пучение грунтов. Так, асфальтовое покрытие подходов к мосту через р. Барнаулку по пр. Красноармейскому в г. Барнауле не выдержало нескольких лет эксплуатации (многочисленные выбоины) из-за того, что насыпь подходов была отсыпана из чрезмерно пучинистых суглинков.

14.11. Землетрясения

Согласно *СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах, с изменением от 26.06.2020 (Актуализированная редакция СНиП-II-7-81*)* расчетная сейсмическая интенсивность в баллах шкалы MSK-1964 для средних грунтовых условий в г. Барнауле составляет:

-6 баллов для степени сейсмической опасности, равной 10 % вероятности возможного превышения или 90 %-ной вероятности не превышения в течение 50 лет (карта ОСР-97А),

-7 баллов для 5 %-ной вероятности возможного превышения в течение 50 лет (карта ОСР-97В),

-8 баллов для 1 %-ной вероятности в течение 50 лет (карта ОСР-97С).

10%-ную вероятность сейсмической опасности (6 баллов) предлагается учитывать для массового строительства, 5 % - ную (7 баллов) - для объектов повышенной ответственности, 1 % - ную (8 баллов) - для особо ответственных объектов.

Таким образом, для объектов повышенной ответственности и особо ответственных объектов при их проектировании необходимо назначать антисейсмические мероприятия.

Оправдана ли подобная бальность землетрясений для Барнаула? Ретроспектива в историческое прошлое города подтверждает это.

В районе г. Барнаула за время наблюдений в XX в. зафиксированы 2 эпицентра землетрясений: один из них расположен в 14 км к юго-востоку от города, а второй - в 30 км к северо-западу от него. Магнитуда обоих эпицентров землетрясений равна 4 [3].

27 сентября 2003 г. в Кош-Агачском районе Республики Алтай произошло сильнейшее землетрясение. В г. Барнауле оно проявилось силой в 6 баллов (сильное землетрясение) [3, 76].

Значительные землетрясения, ориентировочно в 6-7 баллов, произошли в Горном Алтае также в марте 1785 г., 25 ноября 1846 г., 4 марта 1882 г., 9 июля 1905 г., 9 ноября 1929 г., в 1931 г., 1934 г., 1986 г. и в 1988 г. Они отразились землетрясениями в 4-6 баллов в г. Барнауле [3, 32, 72, 74, 76].

Сильным было землетрясение в 1785 г. Тогда единственное каменное здание города, Петропавловский собор (построенный в 1782 г.), получило деформации - «печи во многих местах треснули». Судя по полученным деформациям, силу землетрясения можно оценить в 6 баллов. Собор был построен на песках, фундамент и стены его кирпичные, основательные.

Самое сильное землетрясение за всю историю г. Барнаула. 27 сентября 2003 г. в 18 часов 34 минуты 32 секунды по местному времени (15 часов 34 минуты 32 секунды по московскому времени) произошло сильнейшее землетрясение в Республике Алтай с эпицентром в районе пос. Бельтир Кош-Агачского района. Оно характеризовалось магнитудой 7,2-7,3 по шкале Рихтера и 9,6-10 баллов по шкале сейсмической интенсивности MSK-64. Несколько позднее последовали сильные афтершоки: 28 сентября в 2 часа 53 минуты 45 секунд и 1 октября в 8 часов 4 минуты 29 секунд.

Землетрясение проявилось на всей территории Алтайского края. В районах края был установлен режим чрезвычайной ситуации. По данным МЧС в результате землетрясения пострадали 132 жилых дома, 29 зданий учебных заведений и административных зданий, 66 объектов сельскохозяйственного назначения, 38 котельных, 151 водонапорная башня, 43 дымовые трубы, многие подземные коммуникации. Ущерб составил 424 млн. рублей.

В г. Барнауле по данным МЧС получили деформации (трещины в стенах, перекрытиях, простенках, фундаментах и др.) 19 кирпичных и

панельных зданий и сооружений. В их числе административное здание и здание швейного цеха ГУМП «Фабрика «Динамо», 2-х этажный жилой дом № 5 в пос. Куета, ряд зданий краевой психиатрической больницы № 3. Незначительные трещины появились также в доме № 15 по ул. Горно-Алтайской и в доме № 97 по ул. Папанинцев и др. Следует отметить, что некоторые из этих зданий имели деформации до землетрясения. Во время землетрясения и последовавших афтершоков они получили дополнительные деформации.

Была разрушена дымовая кирпичная труба ОАО «Барнаульского завода технического углерода» высотой 120 м и диаметром до 7 м.

В отдельных квартирах откалывались куски штукатурки, отваливалась настенная плитка, в стенах и на потолке появились волосяные трещины.

Получили повреждения некоторые линии электропередач.

Землетрясение ощущалось всеми людьми как внутри помещений, так и под открытым небом. Многие люди, находящиеся в зданиях, пугались и выбегали на улицу. Часть жителей оставалась на улице всю ночь, боясь заходить в квартиры. Наиболее осторожные намеревались на личных автомашинах выехать за пределы города. Некоторых людей укачивало, они теряли равновесие или испытывали приступы «морской болезни», тошноты.

Администрация г. Барнаула неоднократно успокаивала людей в своих обращениях к населению.

Во время землетрясения здания раскачивались, сильно дребезжала, подрагивала и звенела посуда и др. предметы на полках шкафов и сервантов, качались люстры. Подпрыгивали и иногда падали с полок бутылки, чашки, книги и др. предметы. Были случаи падения таких, достаточно тяжелых предметов, как телевизор (в доме на ул. Панфиловцев и в пос. Южном) и небольшой шкаф. Раскрывались и хлопали дверцы шкафов и настенных часов. Ходили ходуном форточки. Скрипели двери, полы, а иногда и бетонные плиты. Тренькали входные колокольчики. Маятники часов приходили в движение. С большой амплитудой качались крюки башенных кранов. Вода расплескивалась в ведрах и банках. В отдельных квартирах лопнули консервированные стеклянные банки. Степень подвижности предметов увеличивалась с ростом этажности.

Кошки, собаки и др. домашние животные пугались.

При землетрясении был отмечен сход оползня течения на правом склоне долины р. Барнаулка в районе дома № 28 по ул. Аванесова. Но каких-либо других деформаций оползневого склона не произошло. При этом надо иметь в виду, что 2003 г. был засушливым (мало атмосферных осадков).

По масштабам деформаций зданий и сооружений, по природным явлениям и по воздействию на людей и животных сейсмическая интенсивность землетрясения в г. Барнауле, произошедшего 27. 09.2003 г., оценивается в 6 баллов по шкале MSK-64 и считается сильным.

Воздействие землетрясений на массивы лёссов: при сильных землетрясениях лёссы встряхиваются, при этом возможно некоторое

изменение их структуры, возможно небольшое уплотнение грунтов. То есть, возможна деградация их в небольшой степени. Сильные землетрясения могут вызвать сход оползней (особенно, оползней течения), что и наблюдалось в Барнауле 27.09.2003. При водонасыщении лёссов они могут перейти в плавунное состояние.

14.12. Воздействие деятельности человека на опасные природные процессы

Антропогенное воздействие имеет, как негативный характер, активизируя развитие опасных природных процессов (ОПП), так и позитивный, предупреждая, уменьшая или прекращая развитие отдельных ОПП на тех или иных участках [4, 31, 34, 51, 79, 80, 82, 83]. Ниже рассматривается это воздействие на отдельные компоненты ОПП.

Оползнеобразование. Активное воздействие на развитие оползневых процессов оказывают следующие причины, вызванные деятельностью человека:

- вывод на склон и прибровочную полосу водоводов, золопроводов, канализационных коллекторов, утечки из которых обуславливают увлажнение грунтов,
- неправильная планировка территории при ее застройке, не обеспечивающая организацию стока атмосферных вод,
- застройка площадей непосредственно у бровки обрывистого склона,
- загрузка склонов отвалами технического производства.

Основной причиной антропогенного характера, вызывающей развитие оползневых процессов, является дополнительное увлажнение грунтов. В последние 75 лет на ключевом участке «**Барнаул**» была застроена заводами оползнеопасная прибровочная полоса Приобского плато длиной 12 км на северо-восточной окраине города. В настоящее время на территории всех этих заводов, в результате утечки производственных вод, сформировались зоны замоченных грунтов.

Насыщение водой грунтов склона и присклоновых территорий увеличивает их массу, т.е. повышает сдвигающее усилие. В то же время водонасыщение грунтов снижает их структурную прочность, тем самым уменьшает силы сопротивления сдвигу, способствуя оползнеобразованию.

Застройка площадей у бровки и отсыпка на склонах отходов производства вызывают перегрузку склона и увеличение сдвигающих («активных») сил. Мощность промышленных отходов на отдельных участках склона значительна. Так, ОАО «Химволокно» образовала насыпные грунты на склоне мощностью 15 - 30 м.

Неправильная планировка прибровочной полосы и незарегулированность стока поверхностных вод вызывают эрозию склона этими водами, его ослабление, способствуя оползнеобразованию.

Некоторые оползни имеют чисто антропогенное происхождение. Такие, как например оползень 1973 г. у ДОЗа, когда сполз древесно-

стружечный материал, перемешанный с грунтом, которым были разрушены 2 дома. Еще пример антропогенного оползня: в 1988 г. в правом борту вершины оврага Пивоварки в результате утечки вод из водопроводного коллектора сползли насыпные грунты и разрушили недостроенный 3-х этажный гараж, при этом погибло 6 человек.

Это примеры отрицательного воздействия человека на оползнеобразование.

Положительное воздействие выражается в проведении противооползневых работ, выполненных в Барнауле на 8 участках общей протяженностью 2,3 км (у ООО «Барнаульский деревообрабатывающий завод» (ДОЗ), речного вокзала, АО «Мельница» и др.). Этими работами возможность схода оползней существенно уменьшилась. Значительные работы по террасированию склона выполнены выше нового автомобильного моста на участке протяженностью порядка 600 м.

Оврагообразование. Овраги представляют большую сложность при освоении территории города, и воздействие человека здесь на них также имеет большое значение и носит двоякий характер: и негативный, и положительный.

Основным воздействием на овраги является пересыпка их насыпями при прокладке дорог. Так, на ключевом участке «**Барнаул**» высокими насыпями пересыпан овраг Лог Пивоварка по улицам Попова и Малахова, а низкой - по ул. Северо-Западная. Для пропуска вод под насыпями проложены железобетонные трубы. Высокой насыпью (18 м) пересыпан овраг Сухой Лог по ул. Попова, где также проложены две водопропускные трубы.

Некоторые овраги засыпаны полностью или частично. Так, при сооружении левобережного подхода к новому Обскому мосту, полностью ликвидирован овраг по ул. Гуляева. Частично засыпан овраг по ул. Маяковского.

Для предотвращения роста оврагов, засыпаны вершины ряда оврагов на Обском склоне у ТЭЦ-2, ОАО «Химволокно», ОАО «Барнаульский завод технического углерода», ЛОУ «Санаторий «Барнаульский», Барнаульской нефтебазы и др. Бывшим мехзаводом засыпана вершина интенсивно развивающегося оврага Сухой Лог, что прекратило рост оврага.

Все это позитивные моменты. Но следует отметить, что многие предприятия в Северной промзоне (ОАО «Химволокно», ОАО «Барнаульский завод технического углерода» и др.) засыпают овраги отходами производства и мусором, что недопустимо, так как положение этих грунтов на склоне неустойчиво и они могут сползти (антропогенные оползни).

Имеются и случаи негативного воздействия деятельности человека на овраги, обуславливающие их рост.

Как указано выше, ряд оврагов обязан антропогенной деятельности. К ним относятся, к примеру, овраги у северного въезда в ЛОУ «Санаторий

«Барнаульский» (на склоне Оби, выше устья Барнаулки). Стационарные наблюдения Оползневой станции в течение многих лет показали, что рост этих оврагов происходил не только за счет природных факторов (сток талых, ливневых и родниковых вод). Этот процесс развивался, главным образом, за счет аварийных утечек канализационных вод из маломощных водоприемных камер и колодцев станции перекачки сточных вод городского ООО «Барнаульский Водоканал», которые не справлялись с дополнительными притоками воды в весенний период. По этой причине возникло 6 новых овражных отвершков длиной 37 - 80 м, шириной 25 - 30 м и глубиной 3 - 15 м. В отдельные весенние сезоны величина роста отвершков оврага составляла 5,4 - 6,2 м в год. Под угрозой разрушения оказались станция перекачки, а также прачечная, гаражи и теплотрасса санатория. Частичной засыпкой вершин оврага рост его приостановился.

Пути борьбы с оврагообразованием представляются в виде 2-х направлений:

-полная засыпка их,

-уполаживание и террасирование бортов оврагов, засыпка отвершков, засыпка и укрепление вершин, организация поверхностного стока путем строительства нагорных водоотводных канав, водоспусков (быстротоков) и др.

Оба эти варианта допустимы для такого протяженного и узкого оврага, как Сухой Лог.

Для узких, длинных отвершков Лога Пивоварки, а также для отвершков Сухого Лога, представляется наиболее приемлемой полная засыпка. Для основного оврага Лога Пивоварки - благоустройство (местами уполаживание) бортов оврага с прочисткой и углублением его русла для уменьшения степени воздействия процесса подтопления на прилегающие к руслу дома.

Для оврагов на Обском склоне и на правом склоне долины Барнаулки предпочтительней засыпка и укрепление их вершин для предотвращения дальнейшего роста оврагов.

Суффозия. Процессы суффозии в городах и селах активизируются многочисленными и обильными утечками из водонесущих и водопотребляющих систем предприятий. питающих водоносный горизонт над кочковской свитой, пластовое выклинивание которого на склоне обуславливает механический вынос частиц грунта с образованием ниш, пустот.

Другой вид антропогенного развития суффозии - образование пустотных форм, каверн, воронок «глиняного карста», обусловленного вымыванием грунта водами, теряющимися из проложенных на Обском склоне или близ него многочисленных водонесущих коммуникаций. В качестве примера можно привести водовод меланжевого комбината в г. Барнауле, под которым образовалась на Обском склоне суффозионная полость объемом 80 м³. Утечки из канализационного коллектора № 9

сформировали полость трубчатой формы на склоне железнодорожной выемки. В районе дома № 5-а по ул. Кавалерийской, утечки из водопроводного коллектора также вымыли трубчатую полость и обусловили антропогенный оползень.



Рис. 30. Склон Приобского плато. В верхней части обнажения лёссы.

Фото В. Четошникова

V

Плоскостная эрозия. Неудовлетворительное качество противооползневых работ на Обском склоне у нового автомобильного Обского моста в Барнауле (отсутствие нагорных канав, перехватывающих поверхностный сток с плато, отсутствие бетонных водотоков, незакрепление откосов террас и др.) вызвало развитие плоскостной эрозии с многочисленными глубокими и протяженными промоинами, бороздами, углублениями на склоне.

Просадочность грунтов и подтопление территорий. Эти процессы почти целиком обязаны неудовлетворительной деятельности человека: утечке вод из коммуникаций, водопотребляющих систем и последующему замачиванию грунтов. Замачивание грунтов природными (талыми, дождевыми) водами также имеет место при отсутствии организации их стока (замачивание грунтов в котлованах под здания, замачивание грунтов под зданиями при нарушении отмостков или отсутствие водосточных труб и др. случаи, как следствие неудовлетворительной деятельности человека).

Исключение составляет подтопление территорий в Барнауле на I надпойменной террасе, которое, в основном, определяется природным процессом - подпором вод Оби в половодья и соответствующим

поднятием уровня грунтовых вод. Но и здесь ощущается негативное антропогенное влияние, обусловленное дополнительным питанием водоносного горизонта этой террасы водами, теряющимися из инженерных коммуникаций, что выражается в постепенном подъеме (из года в год) уровня грунтовых вод.

Процессы подтопления продолжаются и в настоящее время. Как правило, они имеют тенденцию прогрессировать во времени из-за старения водопотребляющих объектов и водонесущих инженерных коммуникаций.

Если не принять действенных мер по устранению причин повышения УГВ и подтопления новых площадей, эти процессы будут интенсивно развиваться. УГВ будет повышаться как на застроенных территориях, так и на новых осваиваемых микрорайонах.

При повышении УГВ возникнет угроза подтопления фундаментов и подвалов грунтовыми водами в селитебных зонах.

Прогнозируя дальнейшее изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий территорий промышленных зон в Барнауле на Приобском плато, можно предположить, что имеющиеся зоны замачивания будут расширяться по площади и на глубину, и, в конечном счете, сольются, образуя единые поля замоченных грунтов на территориях предприятий и селитебных зон. На глубину они захватят грунты до первого водоносного горизонта. Существующие купола развития «верховодки» со временем будут расширяться, примут не временный, а постоянный характер и затем также образуют единый горизонт грунтовых вод.

Пучинистость грунтов характерна для грунтов Алтая. Лессовые суглинки и супеси являются не пучинистыми в природном состоянии и приобретают эти свойства только при замачивании. Это замачивание, в основном, обуславливается деятельностью человека (утечки из коммуникаций). Но наблюдается и естественное замачивание природными атмосферными водами в пониженных местах, особенно в осенний дождливый период.

Землетрясения. Недоучет сейсмических явлений, их силы при строительстве зданий и сооружений, обусловит многие беды при землетрясениях интенсивностью в 6 баллов, что уже было в истории Барнаула (1785 г., 2003 г.) и что может повториться согласно *СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах, с изменением от 26.06.2020 (Актуализированная редакция СНиП-II-7-81*)* и согласно принципу: что было, то снова может повториться. Здания и сооружения повышенной ответственности и особо ответственные должны строиться с применением антисейсмических мероприятий.

При таких землетрясениях многие здания получают деформации, особенно на замоченных лессовидных грунтах, где бальность сейсмического воздействия может увеличиться на единицу.

14.13. Основные тенденции и прогноз развития

опасных природных и антропогенных процессов

Почти все рассматриваемые опасные природные и антропогенные процессы имеют тенденцию расширения масштабов развития со временем [31, 34, 51, 80, 82]. Это связано с нарушением равновесия окружающей природной среды инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

Оползнеобразование и суффозия будут прогрессировать в связи с возрастанием утечек вод и дополнительным обводнением оползневых склонов в городах, особенно в г. Барнауле.

Оврагообразование будет проходить, но в ограниченных пределах. При энергичной деятельности городских властей и руководства предприятий, на территории которых они находятся (или пересекают), возможно сокращение площади оврагов, или по меньшей мере, их закрепление.

Плоскостная эрозия при проведении грамотных инженерных работ не должна иметь какого-либо значительного развития на обнажаемых склонах при производстве противооползневых работ. На естественных склонах увеличения перспектив её развития не ожидается (сохранение прежних темпов её проявления).

Просадочность лессовых грунтов. В настоящее время существуют довольно надежные методы подготовки оснований и выбора типов фундаментов, при которых не произойдет просадки даже при замачивании лессовых грунтов.

Эффективно использование для уплотнения просадочных грунтов трамбовок весом 5-7 т для столбчатых и ленточных фундаментов для зданий до 5 этажей и применение свайных фундаментов с прорезкой всей просадочной толщи для высокоэтажных жилых зданий и ответственных промышленных сооружений. Для высокоэтажных зданий возможно использование тяжелых трамбовок весом до 10 т, обеспечивающих уплотнение всей просадочной толщи.

Но ввиду того, что зачастую проектировщики не назначают необходимые фундаменты, а строители нередко некачественно готовят основание, в будущем не исключаются случаи деформаций новых зданий, построенных на просадочных грунтах.

Что касается уже построенных зданий, то для значительной их части (особенно возведенных до 1975 г., когда при проектировании не учитывалось снижение физико-механических свойств просадочных грунтов при их замачивании), при продолжающейся тенденции замачивания грунтов из-за утечек вод из коммуникаций, возможны деформации фундаментов, стен, перекрытий и приведение их в аварийное состояние, что время от времени наблюдается и сейчас.

Подтопление территорий в городах и многих сел будет прогрессировать. Оно будет связано с возрастанием утечек из водонесущих коммуникаций и водосодержащих емкостей ввиду ввода новых объектов,

а главное, из-за старения существующих коммуникаций, которые после 20 лет эксплуатации дают утечки до 30-40 %.

На ключевом участке «**Барнаул**» увеличение поступления влаги в грунты будет способствовать расширению имеющихся зон замоченных грунтов, их слиянию и формированию нового подвешенного водоносного горизонта на территории Северной промышленной зоны, а в дальнейшем - смыканию его с грунтовыми водами.

Этот же процесс будет проходить и на Власихинской промплощадке, но будет более растянут во времени ввиду разобщенности здесь предприятий и меньшего водопотребления (за исключением уже подтопленных ТЭЦ-3, ОАО «Барнаульский пивоваренный завод» и бывшего ОАО «Барнаульский завод синтетического волокна»).

Будут расширяться процессы подтопления и на селитебных площадях в пределах Приобского плато, застроенных многоэтажными домами с большим водопотреблением, в том числе на Дальних Черемушках, пос. Урожайном, южнее Павловского тракта и на пос. Южном.

Дальнейший подъем уровня грунтовых вод в долине Пивоварки (если не будут проведены требуемые мероприятия) расширит зону подтопления на данном участке, вовлечет в сферу деформационных нарушений дополнительный ряд частных домов.

На I надпойменной террасе р. Барнаулки будет продолжаться медленный подъем уровня грунтовых вод, усугубляя положение с подтоплением инженерных коммуникаций, фундаментов и подвалов.

В связи с перспективной застройкой многоэтажными зданиями площадей II и III надпойменных террас, усилится барражный эффект, расширятся из-за дополнительных утечек зоны верховодки, более продолжительными будут периоды их существования.

В целом, ожидается значительное расширение в городе подтопленных и подтопляемых территорий.

Пучинистость. В связи с увеличением утечек из коммуникаций и расширения зон замоченных грунтов в городах и селах, ожидается увеличение масштабов и значимости явления пучения грунтов и рост неблагоприятных последствий: деформаций зданий, сооружений, инженерных коммуникации и автодорог.

Землетрясения. XVIII, XIX, XX века и начало XXI столетия ознаменовались значительными землетрясениями в крае, в том числе и в Барнауле. Предсказать сейсмическую обстановку невозможно, ввиду отсутствия научных предпосылок. Но совершенно ясно, что исключить возможность проявления землетрясений интенсивностью в 6 баллов нельзя.

Выводы. Опасные природные и антропогенные процессы получили широкое развитие в Алтае. Ущерб, приносимый ими, значителен. Некоторые из них вызывают человеческие жертвы.

Почти все опасные природные и антропогенные процессы имеют тенденцию расширения масштабов развития со временем, что связано с увеличивающимся антропогенным воздействием на природную среду.

Если не осуществить профилактические, охранные мероприятия, то эти процессы существенно осложнят жизнедеятельность городов и сельских населенных пунктов, обусловят новые материальные потери и жертвы.

Воздействие опасных природных и антропогенных процессов на массивы лёссов значительно: оно вызывает деградацию лёссов, а в ряде случаев их разрушение.

15. Решение проблем инженерно-геологических изысканий на лёссовых просадочных грунтах

Территории, сложенные лёссами, по условиям строительства относятся к условно неблагоприятным. Согласно п. 3.36 *СП 47.13330.2016*.

Инженерные изыскания для строительства, они относятся к территориям со сложными природными условиями, а согласно п. 6.2.2.3 просадочные грунты (лёссы) считаются специфическими грунтами по их составу, состоянию и риску возникновения опасных природных процессов.

Эти грунты требуют серьезного отношения при изысканиях, проектировании и строительстве зданий: должны быть обеспечены достоверность изысканий, повышенное количества выработок и лабораторных определений, производство опытных полевых работ и др. для исключения возможных деформаций возводимых сооружений.

В практике инженерно-геологических изысканий имелся ряд важных нерешенных проблем при изысканиях на этих грунтах. В том числе отбор из скважин качественных неуплотненных монолитов, замена дорогостоящих, трудоемких и длительных видов опытных работ (к примеру, испытания железобетонных свай в искусственно замачиваемых грунтах) экспресс-методами полевых работ и др. Не до конца изучены вопросы устойчивости зданий, построенных на просадочных грунтах, а также воздействие антропогенной деятельности на геологическую среду территорий, сложенных лёссами.

В решении их принимал участие коллектив ООО «АлтайГИСИЗ», в том числе автор, который в течение 37 лет (в 1973-1994 и в 2000-2016 гг.) проработал в ООО «АлтайГИСИЗ» в должностях главного специалиста, начальника техотдела, начальника отдела геологии и экологии, заместителя главного инженера и управляющего трестом. Руководил подготовкой и производством инженерно-геологических изысканий, в том числе на территориях, сложенных лёссами

Достоверность результатов исследований обусловлена большим объемом фактического материала. Алтайский трест инженерно-строительных изысканий (ООО «АлтайГИСИЗ») за 57 лет деятельности (с

1963 по 2020 гг.) накопил большой фактический материал по изучению лёссов.

15.1. Разработка нового способа бурения, методов и устройств для отбора неуплотненных монолитов просадочных лёссов из скважин

Известные в России и за рубежом технологии бурения и опробования лёссовых просадочных грунтов не обеспечивали необходимого качества отбираемых монолитов. **Соответственно, при изысканиях на лёссовых грунтах достоверность результатов не обеспечивалась.**

Воздействие на грунт буровых наконечников, применяемых на изысканиях при всех известных способах бурения (механическом ударно-канатном, колонковом, шнековым и вибрационном), а также используемых грунтоносов известных конструкций обуславливало деформирование грунта в призабойной зоне: уплотнение его с изменением естественного сложения и структурных связей. Кроме того, при колонковом бурении монолит скручивался и, по существу, он уже не являлся монолитом. При вибрационном бурении монолит расслаивался на отдельные «лепешки» и также уже не являлся монолитом.

Внедрение в грунт грунтоносов известных конструкций также обуславливало деформацию монолитов, их уплотнение ввиду большой толщины стенок грунтоноса. За счет объема внедряемого грунтоноса уплотнялся грунт как на внешней стороне грунтоноса, так и грунт внутри грунтоноса (монолит) примерно в равных пропорциях. Получаемый уплотненный монолит, по существу, также не мог считаться монолитом.

Поэтому в монографии «Лёссовые породы» [13] предписывалось на территориях, сложенных лёссами, **для достоверности изысканий наряду со скважинами проходить в обязательном порядке шурфы** (см. стр. 173).

Лабораторные исследования переуплотненных образцов лёссовых грунтов искажали значения его действительных физико-механических свойств, в том числе и степени просадочности. Мощность просадочных грунтов по монолитам из скважин определялась в 5-9 м, тогда как по неуплотненным монолитам из шурфов, проходимых рядом со скважинами, она была равна 10-13 м.

Неверные, заниженные данные о просадке грунтов приводили к ошибкам при проектировании, к деформации возводимых зданий, а нередко вызывали и аварийные ситуации.

Для исключения этого ООО «АлтайТИСИЗ» приходилось на каждом объекте наряду со скважинами проходить контрольный шурф.

Неуплотненные образцы ненарушенной структуры могли отбираться только из шурфов, проходимых вручную. Но этот вид работ более длителен (шурфы глубиной 10-12 м с обсадкой проходились за 4-5 рабочих дней, тогда как скважины бурились за одну смену), дорогостоящий и относится к особо

опасным видам работ. Назначение проходки шурфов удорожало стоимость и увеличивало сроки выполнения изысканий.

Проблема эта была очень серьезной, но она была решена в ООО «АлтайТИСИЗ».

А.Я. Швецовым совместно с В.С. Осьмушкиным и А.Ф. Моревым в течение 1979-1987 гг. проводились исследования по поиску и разработке новой рациональной методики (нового способа) бурения технических скважин в просадочных грунтах, разработки новой совершенной конструкции грунтоноса и отбора неуплотненных монолитов [58, 89, 90].

Было найдено решение, при котором скважины бурились новым вдавливающим способом.

Техническая скважина проходила до проектной глубины отбора монолитов способом вдавливания специального тонкостенного бурового стакана диаметром 142 мм (С-142).

На точках (глубинах) опробования производилась зачистка забоя скважины и отбор монолита специальным тонкостенным грунтоносом вдавливаемого типа диаметром 122 мм (Г-122).

При использовании обычного грунтоноса грунт уплотняется на величину объема грунтоноса, поровну на внешней стороне внедряемого тела, так и внутри грунтоноса (уплотнение монолита).

Новый специальный грунтонос был сконструирован тонкостенным, чтобы объем его стенок был минимальным и, соответственно, меньше уплотнялся бы грунт. Кроме того, его конструкция обеспечивало уплотнение только внешнего грунта и почти не оказывало уплотнения монолита.

Конструкция бурового снаряда и грунтоноса (заостренный в нижней части башмак, внутренняя и наружная конусные расточки, наличие буртика в грунтоносе, вырез в корпусе бурового снаряда и др.), а также вдавливающий способ бурения исключили возможность нарушения структуры лёссовых грунтов в зоне отбора образцов грунта и позволили извлекать неуплотненные монолиты.

Для исследования надежности новой технологии на площадках микрорайонов г. Барнаула были пройдены 8 шурфов и рядом пробурены технические скважины. Из выработок были отобраны монолиты через 1 м до глубины 11-12 м, всего по 83 парных монолита.

При определении плотности грунтов установлено, что среднеарифметические значения плотности грунтов одинаковы по монолитам из шурфов и скважин и составили 1480 кг/м^3 . Близки и среднеквадратичные ошибки по этим рядам, соответственно, 70 и 60 кг/м^3 . В 36 случаях плотность оказалась чуть выше по монолитам из скважин по сравнению с плотностью по монолитам из шурфов, в 42 случаях ниже, а в 5 случаях совпала.

Все отклонения в пределах допустимых ошибок. Различные знаки погрешности в определении плотности грунтов указывает на отсутствии систематической ошибки, обязанной применяемому методу.

Так как отклонения различны по знаку, то можно сказать, что они обусловлены реально существующей неоднородностью грунтов, а также некоторыми неточностями при производстве лабораторных исследований (допустимые по ГОСТ погрешности лабораторных работ 30 кг/м^3). О неоднородности свидетельствует тот факт, что по кольцам из одного монолита с глубины 3 м по скважине № 16 разница в плотности составила 50 кг/м^3 , а соответственного монолита из шурфа № 2 – 10 кг/м^3 .

Тенденции уплотнения отобранных из скважин монолитов нет.

Анализ данных по природной влажности показал, что среднеарифметические значения ее по монолитам из шурфов и скважин одинаковы – 0,14.

Природная влажность по монолитам из скважин оказалась в 30 случаях из 53 парных определений выше, чем по монолитам из шурфов, в 22 случаев ниже, а в одном случае данные совпали. Отличия, в основном, несут существенны и обязаны вышеуказанным причинам.

Анализ 52 параллельных определений относительной просадочности по монолитам из шурфов и скважин показал, что ее значения по монолитам из шурфов изменяются от 0,03 до 0,087, по монолитам из скважин от 0,03 до 0,089. Среднеарифметические значения близки: соответственно, 0,024 и 0,025. Отклонения коэффициента относительной просадочности, определенного по монолитам из скважин, по сравнению с его величинами по монолитам из шурфов, наблюдаются как в меньшую (26 случаев из 52 определений), так и в большую сторону (22 случая), в 4 случаях были равные величины. Это свидетельствует об отсутствии систематических ошибок при применении новой технологии.

Проведенный статистический анализ рядов значений влажности, плотности и относительной просадочности показал, что они распределяются по нормальному закону.

Сравнение 3-х парных выборочных совокупностей по величине средних значений, по критериям Стьюдента, Фишера, по величине дисперсии, по значениям коэффициентов вариации, Н-критерию показало, что каждый из сравниваемых парных рядов опытных данных не отличается друг от друга, и эти ряды по каждому рассматриваемому признаку (природная влажность, плотность и относительная просадочность) относятся к одной генеральной совокупности.

Корреляционный анализ показал, что связи между значениями физических свойств грунтов сравниваемых выборок, определенных по монолитам из шурфов и скважин, тесные (коэффициент корреляции больше 0,7).

Тем самым, математически доказывается возможность отбора монолитов лёссовых просадочных грунтов из скважин, пройденных вдавливающим способом, так как при этом не происходит какого-либо существенного уплотнения или разуплотнения грунтов и искажения величин относительной просадочности.

Это дает возможность заменить проходку шурфов бурением скважин вдавливающим способом.

Внедрение рассмотренной технологии снижает трудоемкость в 3-5 раз и в 2 раза стоимость работ, улучшает условия труда, исключает применение особо опасного вида работ (проходка шурфов).

Указанный способ был защищен на НТС Госстроя РСФСР. В протоколе НТС от 1 марта 1988 г. отмечено: «Проблема бурения и отбора качественных монолитов просадочных лёссовых грунтов из скважин **является весьма актуальной и до настоящего времени однозначно не была решена...**Предложенная технология может применяться при производстве инженерно-геологических изысканий в районах распространения лёссовых (просадочных) грунтов. ...Рекомендовать разработанную АлтайТИСИЗом технологию для внедрения в организациях НПО «Стройизыскания».

НПО «Строй изыскания» издал приказ, по которому обязывал все 65 трестов инженерно-строительных изысканий СССР внедрить технологию АлтайТИСИЗа по бурению на лёссовых просадочных грунтах. Это явилось значительным шагом в развитии инженерных изысканий в СССР, так как просадочные грунты развиты в большинстве регионов страны и характеризуются просадкой при их замачивании, обуславливая деформации зданий и сооружений.

ООО «АлтайТИСИЗ» постоянно выполнял работы созданию и совершенствованию грунтоносов, которые позволяли бы рационально отбирать неуплотненные монолиты из просадочных лёссовых пород, а также монолиты непросадочных грунтов различной консистенции (твердой, полутвердой, тугопластичной, мягкопластичной, текучепластичной и текучей).

Работы выполнялись А.Ф. Моревым, А.Я. Швецовым и В.С. Осьмушкиным.

Как выше указывалось, для отбора монолитов просадочных грунтов после опробования многих вариантов был изобретен новый вдавливающий способ бурения, специальный тонкостенный буровой стакана диаметром 142 мм (С-142) и специальный тонкостенный грунтонос вдавливаемого типа диаметром 122 мм (Г-122).

В 1989 г. НПО «Стройизыскания» проводил в Москве конкурс грунтоносов для отбора монолитов из просадочных лёссовых грунтов. ООО «АлтайТИСИЗ» представил на конкурс комплект бурового стакана С-142 и тонкостенного грунтоноса Г-122. Комплекту было присуждено призовое место, а авторы (В.С. Осьмушкин, А.Я. Швецов и А.Ф. Морев) получили дипломы [58, 89, 90]

Этот же коллектив в 80-х годах XX в. создал нормальный ряд грунтоносов для отбора монолитов из непросадочных грунтов различной консистенции. Для отбора образцов грунта текучей консистенции А.Ф. Моревым был сконструирован оригинальный вакуумный грунтонос [53]. Все

грунтоносы нормального ряда успешно применялись при изысканиях, показав свою надежность и эффективность.

На проводимом НПО «Стройизыскания» в 1990 г. конкурсе грунтоносов нормальный ряд грунтоносов «АлтайТИСИза» занял третье место.

15.2. Внедрение испытаний полевых опытных работ при изысканиях на лёссовых грунтах

Для получения более надежных данных о механических свойствах лёссовых грунтов в тресте «АлтайТИСИз» настойчиво проводились работы по внедрению новых способов полевых опытных работ.

ООО «АлтайТИСИз» еще в 60-х годах XX в. внедрил испытания натуральных железобетонных свай статическими вдавливающими нагрузками в грунтах природной влажности и в замоченном состоянии, испытания грунтов штампами площадью 5000 см^2 в шурфах и статическое зондирование грунтов. Внедрением занимались В.С. Осьмушкин, В.С. Арефьев, А.Ф. Морев и Г.Ф. Цынгалов

В 1972-1974 гг. В.С. Осьмушкиным, А.Ф. Моревым, Г.Ф. Цынгаловым и А.Я. Швецовым было внедрено испытание грунтов инвентарной сваей ИС-114. Это позволило на многих объектах заменить дорогостоящие и длительные испытания натуральных железобетонных свай.

В конце 70-х и в 80-х годах XX в. А.Я. Швецовым совместно с А.Ф. Моревым были внедрены в тресте прессиометр для определения модуля деформации в скважинах, испытание грунтов на срез в закопушках и шурфах, динамические испытания натуральных железобетонных свай, статические испытания забивных железобетонных свай горизонтальными нагрузками и на выдергивание, испытания грунтов штампами площадью 600 см^2 в скважинах и испытание крыльчаткой грунтов текучепластичной и текучей консистенции в скважинах [88].

В 80-х годах в тресте использовались практически все известные виды полевых опытных работ. В этом отношении ООО «АлтайТИСИз» стоял в одном ряду с ведущими изыскательскими трестами СССР: МосТИСИзом, ЛенТИСИзом и УралТИСИзом.

Получаемые значения механических свойств лёссовых грунтов были надежными, близкими к действительности.

В 90-х годах прошлого столетия все виды полевых работ в тресте были утрачены, за исключением статического зондирования.

В нулевые годы текущего столетия А.Я. Швецовым повторно были внедрены испытания натуральных железобетонных свай и испытания грунтов штампами площадью 5000 см^2 в шурфах и 600 см^2 в скважинах. Позднее были возобновлены испытания буронабивных свай.

15.3. Замена дорогостоящих и длительных испытаний железобетонных свай в искусственно замоченных

лѣссовых грунтах испытанием инвентарных свай в грунтах природной влажности (экспресс-метод)

Для строительства гражданских зданий повышенной этажности и ответственных промышленных сооружений на лѣссовых просадочных грунтах необходимым элементом изысканий является испытание забивных железобетонных свай вдавливающими статическими нагрузками в искусственно замоченных грунтах.

Большая стоимость опытов, трудность забивки натуральных свай, сложность монтирования кустов опытных свай, громоздкость оборудования и длительность процесса замачивания грунтов (20-40 дней) и испытания свай (4-10 дней) на 2-3 месяца затягивали сроки изысканий и проектирования.

В.С. Осьмушкиным совместно с А.Я. Швецовым и Н.И. Паршиковым в 1976-1978 гг. для Верхнего Приобья (Алтайский край) был разработан и защищен в НТС Госстроя РСФСР метод определения несущей способности натуральных железобетонных свай в замоченных лѣссовых грунтах по результатам испытаний инвентарных свай диаметром 114 мм (ИС-114) в грунтах природной влажности [22, 23].

Продолжительность экспресс-метода несколько часов. Основой послужили совместные (параллельные) 65 испытаний натуральных и инвентарных свай в грунтах природной влажности и 44 совместных опыта в замоченных лѣссовых грунтах.

Проведена оценка однородности грунтов изученных участков. На основании анализа геолого-литологического строения и результатов математического исследования изменчивости основных физико-механических свойств: влажности, плотности, коэффициента пористости, модуля деформации, удельного сцепления и угла внутреннего трения – выяснено, что предельное сопротивление инвентарных свай в грунтах природной влажности зависит от всего комплекса физико-механических свойств грунтов и нет необходимости вводить дополнительные факторы в уравнение регрессии.

Корреляционный и регрессионный анализ рядов предельных сопротивлений свай, полученных по испытаниям натуральных свай в замоченных грунтах и инвентарных свай в грунтах природной влажности, проведен по 34 параллельным опытам. Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$F_{р\text{ зам}} = 0,417 F_{р\text{ пр}} + 185 \text{ кН, где}$$

$F_{р\text{ зам}}$ – расчетное значение предельного сопротивления свай в замоченных грунтах,

$F_{р\text{ пр}}$ – предельное сопротивление свай, полученных по испытанием инвентарных свай в грунтах природной влажности.

Коэффициент корреляции 0,71.

Уравнение действительно для значений предельных сопротивлений свай по данным испытания инвентарных свай в интервале 600-1400 кН.

Проведены проверки существенности уравнения по устойчивости коэффициентов уравнения, по критерию Стьюдента, по независимому фактическому материалу, а также по сопоставлению уравнений, определенных по выборочным рядам опытных данных, показали устойчивость, прогнозную эффективность выведенного уравнения.

Полученные результаты позволили заменить значительный объем длительных дорогостоящих испытаний железобетонных свай с искусственным замачиванием грунтов на испытания инвентарных свай в грунтах природной влажности. Трудоемкость и сроки опытных работ сократились в 30-60 раз. Стоимость опытных работ уменьшилась в 120 раз.

14.4. Совершенствование буровых установок для бурения лёссовых просадочных грунтов

Для инженерных изысканий в строительстве широко применяются приставки статического зондирования к самоходным буровым установкам, которые монтируются на общей раме со станком или же подвешиваются на мачте буровой установки.

В обоих случаях они загромаждают буровой агрегат, создают неудобства в работе, затрудняют при транспортировке и не соответствуют требованиям техники безопасности.

А.Ф. Моревым совместно с А.Я. Швецовым буровая установка УГБ-50 М была переоборудована для производства комплекса работ на объектах изысканий, включая бурение и статическое зондирование, без специальных приставок [54].

Переоборудование заключалось в усилении гидравлики буровой установки и укомплектовании ее необходимыми приспособлениями.

В гидравлическую систему обеспечения давления на забой скважины был включен дополнительный (третий) гидроподъемник, состоящий из запасных частей того же станка: цилиндра и штока.

К траверсе вращателя установки была приварена стальная пластина. Дополнительный гидроподъемник был закреплен на ней гайкой, размещаясь симметрично между двумя основными гидроподъемниками.

Монтаж третьего гидроподъемника дал возможность развивать давление до 9 т, что достаточно для статического зондирования до 15-20 м не только в суглинках и супесях, но и в песках.

Реактивное усилие при вдавливании зонда воспринимается закручиваемой в грунт винтовой анкерной сваей, соединенной с рамой буровой установки серьгой и стяжкой с использованием для этого буровых штанг.

Надежность работы установки при статическом зондировании обеспечивается жестким соединением полуштанги с шестигранным хвостовиком и с кареткой и наличием специального направляющего устройства, предохраняющего зонд от искривления.

Лобовое сопротивление грунта при вдавливании зонда регистрируется динамометром с индикатором. Общее сопротивление грунта определяется по манометру, который шлангом высокого давления выведен на каретку, общую с динамометром. Линейное перемещение зонда фиксируется указателем по рейке, укрепленной на подставке, которая приварена к плите.

Стандартная, выпускаемая заводом, буровая установка УГБ-50 М рассчитана на бурение скважин до глубины 50 м. При изысканиях под мостовой переход через р. Обь у г. Барнаула необходимо было пробурить скважины до глубины 70 м. Обычные буровые установки этого не могли сделать.

Модернизированная буровая установка с усиленной гидравликой (с тремя гидроподъемниками) смогла успешно пробурить скважины до глубины 70 м. Этой буровой установкой бурились также дудки диаметром 600 см, бурились скважины в осложненных геологических условиях и на опытных работах с большими нагрузками, что не могла выполнить обычная буровая установка,

Модернизированная буровая установка компактна и универсальна, удобна в работе и при транспортировке.

15.5.Обобщение и анализ результатов изыскательских работ на территориях с развитием лёссовых просадочных грунтов

ООО «АлтайТИСИЗ» за период в 53 года (с 1963 по 2016 гг.) получил огромный фактический материал по изучению лёссов. За это время на территориях, сложенных лёссовыми грунтами, было пробурено порядка 30 тыс. технических скважин, отобрано свыше 300 тыс. монолитов и выполнено до 200 тыс. полных анализов физико-механических свойств лёссовых грунтов.

Работниками ООО «АлтайТИСИЗ», в том числе автором, проводились камеральные работы по систематизации, обобщению и анализу этого материала, что позволило получить данные о распространении, условиях залегания, физико-механических свойствах лёссов, об опасных природных и антропогенных процессах, установить инженерно-геологические условия территорий городов Алтая и составить по ним технические отчеты и инженерно-геологические карты.

В 1973 г. В.И. Арефьевой, В.С. Осьмушкиным и Н.С. Осьмушкиной была составлена инженерно-геологическая карта Барнаула и технический отчет об инженерно-геологических условиях территории города [85].

В 70-х и 80-х годах прошлого столетия под руководством А.Я. Швецова и при непосредственном его участии в тресте были созданы инженерно-геологические карты масштаба 1:5000 и 1:10000 городов: Бийска, Рубцовска, Алейска, Новоалтайска, Славгорода, Ярового, Камня-на-Оби и технические отчеты об инженерно-геологических условиях территорий этих городов [88].

В 1988 г. вышла из печати монография «Географические и инженерно-геологические условия Степного Алтая», составленная коллективом авторов: С.И. Черноусов, В.С. Арефьев, В.И. Арефьева, Э.А. Бобров, В.Е. Михайлов, В.С. Осьмушкин и А.Я. Швецов [50]. В ней по основным геоморфологическим структурам (Приобское плато, Кулундинская, равнина, Бийско-Чумышская возвышенность, долина Оби, Алтайская и Салаирская предгорные равнины) изложено геологическое строение территорий, физико-механические свойства грунтов (в том числе лёссов). Приведены сведения о воздействии на лёссы опасных природных процессов и об опыте строительства и деформациях инженерных сооружений на лёссовых грунтах. Непосредственно автором была составлена инженерно-геологическая карта Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равнины. V

По городу Барнаулу в связи с изучением новых застраиваемых площадей в 1992 г. была пересмотрена и дополнена инженерно-геологическая карта (авторы В.С. Осьмушкин, А.Я. Швецов, Е.П. Ковтун) [87].

В 2000 г. А.Я. Швецов подготовил и опубликовал обзор «Лёссы Алтайского края» [66].

Для составляемого нового генплана Барнаула инженерно-геологическая карта города в 2006 г. была снова дополнена и составлен технический отчет (авторы В.С. Осьмушкин, А.Я. Швецов, В.Г. Кузнецов, А.Г. Глубокова) [86].

С целью сокращения при изысканиях трудозатрат, сроков изысканий, снижения их стоимости и снижения степени опасности А.Я. Швецовым совместно с В.С. Осьмушкиным выполнено сопоставление результатов определения модуля деформации грунтов при штамповых испытаниях и компрессионных лабораторных испытаниях [92]. Определены поправочные коэффициенты. Статистическими методами доказана возможность использования этих коэффициентов.

Автором выполнено сопоставление результатов статического зондирования и испытания натурных железобетонных свай в грунтах природной влажности и в замоченном состоянии [88].

В.С. Осьмушкиным и А.Я. Швецовым выполнены исследования по установлению степени влияния длительного замачивания лёссовых грунтов (3 года) на несущую способность забивных свай [88].

А. Я. Швецовым изучены процессы замачивания грунтов под зданиями в результате антропогенной деятельности и подтопления территорий городов Барнаула, Бийска, Рубцовска, Алейска, Славгорода и крупных промплощадок (ОАО «Алтай-кокс» в г. Заринске, Северная промзона и ТЭЦ-3 в Барнауле и др.) [88].

16. Строительство на лёссовых грунтах

Ввиду того, что лёссовые грунты являются просадочными и при замачивании резко ухудшаются их физико-механические свойства, строительство на таких грунтах сталкивается с серьезными проблемами.

При утечках вод из подземных коммуникаций грунты под зданием получают различную степень замачивания и проявляют просадку в различной степени. Соответственно, и здание получает различную осадку: в тех частях его, где больше просадка, там больше и осадка. Это обуславливает напряжения в конструкциях здания и вызывает их деформации. Деформации проявляются в виде трещин в фундаментах, стенах и простенках, оседания колонн, полов, перегородок, цокольных частей здания со взламыванием асфальтовых отмошков, кренов тяжелого оборудования (стоящего на отдельных фундаментах), отслаивания и разрушения внутренней и наружной штукатурки, разлома труб инженерных коммуникаций, иногда вплоть до обрушения отдельных элементов зданий (оконных перемычек, лестничных маршей и др.) или, в целом, здания.

В качестве примера значительных деформаций, можно привести дом по ул. Э. Алексеевой в г. Барнауле. Здание было пронизано массой трещин, от волосяных до 2-3 см шириной. Создалась опасность для проживания в нем жильцов, которые были выселены для проведения специальных мероприятий. В аварийное состояние пришли также жилые дома по ул. Водопроводной, Новороссийской, Малахова, здание пожарной охраны по ул. Г. Титова и многие другие. Полностью было разрушено здание цеха электрофильтров на ТЭЦ-3.

В России и в мире при строительстве на лёссовых просадочных грунтах во избежание деформаций зданий и сооружений назначаются специальные мероприятия:

- 1.Прорезка просадочной толщи сваями.
- 2.Уплотнение грунтов основания зданий и сооружений.
- 3.Физико-химические методы закрепления лёссовых пород.
- 4.Конструктивные мероприятия.
- 5.Водозащитные мероприятия.

16.1. Прорезка просадочной толщи сваями

До 70-х годов прошлого столетия в Алтайском крае возводились 1-5 этажные здания. Для них назначался ленточный фундамент, изредка фундамент плита. При расчете конструкций проектировщики использовали значения физико-механических свойств лёссов природной влажности, а не в замоченном состоянии. В результате просадки грунтов многие здания и сооружения получили деформации. К примеру, 2-х этажные дома в Барнауле **V** на Потоке по ул. Горно-Алтайской, П. Сухова и др. Из промышленных объектов можно упомянуть ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, ОАО «Химволокно», АО «Алтайский мясоперерабатывающий завод» и др.

С 1975 г. при проектировании зданий и сооружений стали использовать значения свойств лёссов в замоченном состоянии, в связи с выходом в свет

нового СНиП, обязывающего для лёссовых просадочных грунтов применять значения их параметров в замоченном состоянии.

При проектировании строительства на просадочных грунтах в Алтайском крае для малоэтажных жилых домов (1-5 этажей) и малоответственных промышленных сооружений предусматривается, как правило, искусственное уплотнение грунтов катками или трамбовками с последующим заложением ленточных фундаментов.

В 70-90-х годах XX в. стали возводить 9-12 этажные дома, а в текущем столетии 16-22-х этажные дома. Для таких зданий и для промышленных сооружений с большой нагрузкой ленточный фундамент не мог быть применен, так как основание (лёссы) не выдерживало больших нагрузок, сооружения получали большую осадку и деформации.

Для таких зданий и сооружений стали применять свайные фундаменты, оказавшиеся эффективными и надежными. Свайные фундаменты назначались с прорезкой сваями просадочной толщи и заглублением в непросадочные грунты на 1-2 м.

Свайные фундаменты широко применяются при строительстве на просадочных грунтах.

В СССР они впервые были использованы в 1931 г. при строительстве Кузнецкого металлургического завода в г. Новокузнецке. В Алтайском крае их стали применять с 1969 г.

Проектирование на просадочных грунтах ведется, исходя из возможности их полного замачивания.

Испытания свай проводились в локально замоченных грунтах.

В строительстве, в основном, применялись забивные железобетонные сваи, но для промышленных сооружений с большой нагрузкой на основание использовались и буронабивные сваи.

Забивные сваи имеют различную форму и параметры (длина и сечение) в зависимости от проектируемой нагрузки на сваю.

По форме сваи четырехгранные призматические и пирамидальные. Длина свай от 7 до 16 м, а составные до 26 м. Сечение свай 0,30х0,30 м (для свай длиной 7-9 м), 0,35х0,35 м (для свай длиной 9-14 м), 0,40х0,40 м (для свай длиной 14-26 м).

Сваи длиной 7-9 м назначаются для мало- и средненагруженных промышленных сооружений и 5-9 этажных зданий. Сваи длиной 9-12 м проектируются для средненагруженных сооружений и 9-14 этажных зданий. Сваи длиной 16-26 м назначаются для высоконагруженных промышленных сооружений и 16-22-х этажных жилых зданий.

Испытания свай проводятся статическими нагрузками в грунтах природной влажности и в замоченном состоянии. При проектировании конструкций зданий используют значения предельного сопротивления свай, полученных при испытаниях свай в замоченных грунтах.

На площадях с I типом грунтовых условий по просадочности испытаний свай выполняются статическими вдавливающими нагрузками, а при необходимости и при горизонтальных нагрузках.

На территориях со II типом грунтовых условий проводятся испытания грунтов вдавливающими нагрузками и на выдергивание, а при необходимости и горизонтальными нагрузками.

Буронабивные сваи имеют различную длину, диаметр, с одним или с двумя уширениями, или вовсе без уширений. В Алтайском крае изготавливали и испытывали буронабивные сваи следующих конструкций:

-длина 16-18 м, диаметр 0,6 м, с одним уширением диаметром 1,6 м, заложенным в 1 м выше конца сваи,

-длина 20 м, диаметр 0,6 м, одно уширение диаметром 1,4 м,

-длина 17-20 м, диаметр 1,0 м, с одним уширением диаметром 2,2 м,

-длина 20 м, диаметр 1,0 м, с двумя уширениями диаметром 2,2 м.

Испытания выполнялись статическими нагрузками в замоченных грунтах.

Кроме того, проведены испытания разновидностей буронабивных свай – буроињекционных свай. Выполнены два опыта по испытанию буроињекционных свай длиной 40,7 м и диаметром 0,4 м и длиной 30,6 м и диаметром 0,5 м.

16.2. Анализ испытаний забивных железобетонных свай в лёссовых просадочных грунтах Алтайского края

Испытания натуральных забивных железобетонных свай статическими нагрузками (вдавливающими, на выдергивание и горизонтальными нагрузками) в Алтайском крае проводит ООО «АлтайТИСИЗ». В XX в. испытания свай стал выполнять и ООО «Барнаулстройизыскания».

Первые опыты были проведены в 1969 г. В дальнейшем они выполнялись регулярно до 1992 г. После перерыва (1992-2005 гг.) испытания возобновились и выполняются по настоящее время. Основной объем опытных работ проведен в г. Барнауле. Кроме того, испытания свай на просадочных грунтах выполнялись в г. г. Заринске и Алейске. По состоянию на 2008 г. всего проведено до 300 опытов в грунтах природной влажности и в локально замоченных грунтах [81].

Просадочные грунты имеют большое распространение в Алтайском крае. Они представлены верхнеплейстоценовыми лёссами (суглинки и супеси) мощностью 8-13 м и подстилаются непросадочными суглинками и супесями красnodубровской свиты. Эти отложения являются основанием свайных фундаментов (висячие сваи).

В г. Барнауле (Приобское плато) испытаниям подверглись сваи длиной 7-18 м.

Сведения об испытаниях забивных свай в локально замоченных грунтах приведены в табл.3.

Таблица 3

Параметры свай	Среднее предельное сопротивление свай, кН	Число опытов, шт.
L=7-8 м, 0,35x0,35 м	570	26
L=9-10, 0,35x0,35 м	630	34
L=11-12 м, 0,35x0,35 м	750	49
L=16 м, 0,40x0,40 м	1100	2

По состоянию на 2008 г. было проведено 53 опыта по испытанию свай длиной 7-8 м и сечением 0,35x0,35 м, в том числе 27 опытов в грунтах природной влажности и 26 – в локально замоченных грунтах [35, 81]. Среднее значение предельного сопротивления свай в грунтах природной влажности при осадке равной 16 мм составило 660 кН (66 т), а в замоченных грунтах – 570 кН (57 т).

При замачивании грунтов предельное сопротивление свай уменьшается на 14 %. Разброс значений предельного сопротивления свай весьма различен: для грунтов природной влажности от 450 до 920 кН, для замоченных грунтов от 410 до 740 кН. Это объясняется разной мощностью просадочной толщи, различной степенью влажности грунтов (хотя для замоченных грунтов она везде превысила значение 0,8), различным грансоставом, пределами пластичности грунтов и другими условиями.

Для свай длиной 9-10 м и сечением 0,35x0,35 м проведено 61 испытание, в том числе 27 испытаний в грунтах природной влажности и 34 опыта в замоченных грунтах [81]. Предельное сопротивление свай в грунтах природной влажности колеблется от 410 до 1150 кН при среднем значении 730 кН, а в замоченных грунтах от 390 до 1050 кН при среднем значении 630 кН. Снижение предельного сопротивления свай при замачивании грунтов составило 7 %.

Для свай длиной 11-12 м и сечением 0,35x0,35 м выполнено 94 опыта, из них 45 опытов в грунтах природной влажности и 49 опытов – в замоченных грунтах [81]. Среднее значение предельного сопротивления свай в грунтах природной влажности составило 820 кН (при крайних значениях 480 и 1250 кН), а в замоченных грунтах - 750 кН (изменяясь от 430 до 1120 кН). При замачивании грунтов предельное сопротивление свай уменьшается на 9 %.

Испытания более длинных свай выполнены в единичном количестве на ОАО «Барнаульский завод транспортного машиностроения» (см. табл. 3) [81]. Две свай длиной 16 м и сечением 0,40x0,40 м в локально замоченных грунтах показали предельное сопротивление свай равное 1000 и 1200 кН (среднее значение 1100 кН).

Анализируя данные о предельном сопротивлении свай различной длины, можно отметить, что в грунтах природной влажности сваи длиной 9-10 м имеют предельное сопротивление свай на 11 % выше, чем сваи длиной

7-8 м, но на 12 % меньше, чем сваи длиной 11-12 м. Увеличение длины свай до 16 м, а также их сечения обусловило резкое повышение предельного сопротивления свай до 49 % по сравнению со сваями длиной 11-12 м. Это обязано не только увеличению сопротивления грунтов по боковой поверхности свай ввиду их большей длины, но и повышению сопротивления грунтов под острием свай ввиду их большей плотности.

В замоченных грунтах сваи длиной 9-10 м имеют предельное сопротивление свай на 19 % выше, чем сваи длиной 7-8 м, но на 9 % ниже, чем сваи длиной 11-12 м. Последние характеризуются меньшим предельным сопротивлением на 49 % по сравнению со сваями длиной 16 м.

В последние годы в Барнауле возникла новая проблема. Если ранее на Приобском плато грунтовые воды залегали глубоко (20-50 м), то в текущем веке в ряде микрорайонов (1080, 1081, 1051) наблюдается значительный их подъем, и они вскрываются на глубинах 10-18 м. В таких случаях сваи (особенно, длинные 16-метровые сваи) будут опираться на высоковлажные грунты с показателем текучести более 0,6. Несущая способность свай в грунтах при природном или антропогенном замачивании резко снижается по сравнению со сваями, заложенными в локально замоченных грунтах. Они дают довольно значительную осадку.

Согласно п. 9.7 СП 24.13330.2011. *Свайные фундаменты с изменениями по состоянию на 25.07.2019 (актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты) в грунтовых условиях I типа при наличии опыта строительства на застраиваемой территории и результатов ранее выполненных статических испытаний свай в аналогичных условиях испытание свай допускается не производить.*

Это позволяет в Барнауле, где проведено значительное количество опытов по испытанию свай, на объектах в грунтовых условиях I типа по просадочности не выполнять испытания железобетонных свай.

Но на крупных ответственных объектах с большими нагрузками на сваи все же необходимо назначать испытания натуральных забивных железобетонных свай.

Относительно большой объем работ по испытаниям забивных железобетонных свай выполнен в г. **Заринске и на рядом расположенной площадке ПАО «Алтай-Кокс» (Бийско-Чумышская возвышенность).** V V

Испытаниям подверглись сваи длиной от 8 до 18 м. Сваи прорезают просадочные лёссы (суглинки) мощностью 7-11,5 м и опираются на непросадочные суглинки и пылеватые пески.

Среднее значение предельного сопротивления свай при испытаниях 3-х свай длиной 8 м и сечением 0,30x0,30 м в замоченных грунтах при осадке 16 мм оказалось равным 490 кН, варьируя от 460 до 550 кН (см. табл. 4).

Таблица 4

Результаты испытания свай в замоченных грунтах

Параметры свай	Среднее предельное	Число опытов

	сопротивление свай, кН	, шт.
L=8 м, 0,30x0,30 м	490	3
L=12 м, 0,35x0,35 м	657	7
L=14 м, 0,35x0,35 м	770	7
L=16 м, 0,35x0,35 м	1330	3
L=18 м, 0,40x0,40 м	1470	4
L=24-26 м, 0,40x0,40 м	1800	4

Сваи длиной 12 м и сечением 0,35x0,35 м испытаны в грунтах природной влажности (18 опытов) и в замоченных грунтах (7 опытов). Среднее значение предельного сопротивления свай составило, соответственно, 684 и 657 кН. Разброс частных значений велик: для грунтов природной влажности от 400 до 950 кН, для замоченных грунтов от 410 до 850 кН. При замачивании грунтов предельное сопротивление свай уменьшается незначительно, на 4 %.

Для свай длиной 14 м и сечением 0,35x0,35 м испытания проведены в грунтах природной влажности на 16 опытных кустах, в замоченных грунтах - на 7-и.

Среднее значение предельного сопротивления свай составило, соответственно, 870 и 770 кН. В замоченных грунтах оно снижается на 13,5%. Частные значения его изменяются для грунтов природной влажности от 530 до 1200 кН, для замоченных грунтов от 670 до 900 кН. Увеличение среднего предельного сопротивления свай в замоченных грунтах по сравнению со сваями длиной 12 м составило 11 %.

Испытание более длинных (16, 18, 24 и 26 м) забивных свай показало резкое возрастание предельного сопротивления свай. Так при испытании 3-х свай длиной 16 м и сечением 0,35x0,35 м в замоченных грунтах получило среднее предельное сопротивление грунтов 1330 кН (частные значения от 1200 до 1400 кН), что значительно выше, чем для свай 12 и 14 м.

При испытании 3-х свай длиной 18 м и сечением 0,40x0,40 м в грунтах природной влажности показало, что они имеют среднее значение предельного сопротивления свай равное 1570 кН (крайние значения 1550 и 1610 кН). Четыре сваи этой же длины и сечения, испытанные в замоченных грунтах показали среднее предельное сопротивление 1470 кН, варьируя от 1200 до 1600 кН. Снижение его при замачивании грунтов -7 %.

На ПАО «Алтай-Кокс» испытывались и еще более длинные сваи в **V V** замоченных грунтах: три сваи длиной 24 м и одна свая - 26 м. Среднее предельное сопротивление их 1800 кН, крайние значения 1600 и 1900 кН.

В г. Алейске (Приобское плато) испытаны забивные сваи длиной 6 и 12 м в естественно замоченных грунтах и замоченных в результате многолетних утечек вод из инженерных коммуникаций.

Свая длиной 6 м и сечением 0,30x0,30 м (1 опыт) показала предельное сопротивление равное 210 кН.

12-метровые сваи имели сечение 0,35x0,35 м (2 опыта) и 0,40x0,40 м (3 опыта). Средние значения предельного сопротивления свай при осадке 16 мм составили, соответственно, 420 и 480 кН.

Недостаточное количество опытов в Алейске не позволяет судить о несущей способности свай, но очевидно, что значения ее в г. Алейске существенно ниже, чем в г. Барнауле, где грунты локально замачивались искусственно в краткие сроки непосредственно перед испытанием свай.

Выводы:

1. В городах Барнауле и Заринске при испытаниях забивных свай отмечается закономерное увеличение предельного сопротивления свай на 9-19 % при увеличении их длины на 2 м. Но использование свай большей длины (16-26 м) и большего сечения (0,40x0,40 м) дает резкое увеличение предельного сопротивления свай – в 1,7-2,7 раза.

2. Наблюдается закономерное снижение предельного сопротивления свай в замоченных грунтах по сравнению с грунтами природной влажности: в г. Барнауле на 7-14 % (разные цифры при разной длине свай), в Заринске на 4-13%.

3. В Алейске отмечаются значительно меньшие величины предельного сопротивления свай, чем в г. Барнауле. Это обязано различиям в замачивании грунтов: в Барнауле выполнялось *кратковременное* искусственное замачивание, а в Алейске – длительное естественное или антропогенное замачивание, при котором структурные связи между частицами грунта получали более полное разрушение.

4. При назначаемых проектных нагрузках на сваи в 300-500 кН для 9-16-этажных зданий, судя по полученным величинам предельных сопротивлений свай, приемлемым является использование 9-12-метровых свай сечением 0,35x0,35 м в г. Барнауле и 12-метровых свай в г. Заринске. Но ввиду большого разброса крайних значений предельных сопротивлений свай необходимо выполнение на объектах испытаний натуральных свай для подтверждения возможности использования свай определенных параметров.

5. При значительных проектных нагрузках на сваи в 700-1000 кН и более рекомендуется применение 14-18-метровых забивных свай сечением 0,40x0,40 м или буронабивных свай с выполнением на объектах испытаний свай.

16.3. Анализ испытаний буронабивных свай в лёссовых просадочных грунтах Алтайского края

В современных условиях для ответственных промышленных сооружений и высокоэтажных жилых зданий нередко требуются значительные величины несущей способности свай, которые не обеспечиваются применением обычных забивных железобетонных свай длиной 10-12 м. Поэтому проектные организации обратили внимание на

применение более длинных забивных свай (14-20 м) и буронабивных свай большого диаметра, в том числе с одним или двумя уширениями.

Трестом «АлтайТИСИЗ» выполнены испытания буронабивных свай на ряде объектов, позволяющие судить о несущей способности буронабивных свай различных параметров в грунтовых условиях Алтайского края при широком развитии лёссовых массивов [35]. Испытания проведены на ответственных промышленных объектах: ПАО «Алтай-Кокс» в г. Заринске, а **V V** также на ТЭЦ-3 и ОАО «Барнаульский завод транспортного машиностроения» в г. Барнауле.

Первые опыты по испытанию буронабивных свай были проведены в 1974 г. на площадке ТЭЦ-3. Испытанию были подвергнуты 4 буронабивные сваи длиной 16 и 17 м, диаметром 0,6 м с уширенной пятой диаметром 1,6 м. Сваи прорезали просадочные лёссы (суглинки и супеси) мощностью 8-12 м.

В 1985 г. на этой же площадке испытана буронабивная свая длиной 18 м, диаметром 0,6 м с уширением 1,6 м, расположенным в 1 м выше конца сваи. Опорным слоем служила супесь пластичная.

Предельное сопротивление свай в локально замоченных грунтах при осадке в 16 мм колебалось от 1500 до 2800 кН, а при осадке 40 мм – от 1950 до 3400 кН. Средние значения предельного сопротивления свай, соответственно, 1900 и 2300 кН (см. табл. 5).

Несколько ранее, в 1982-1983 гг., на площадке ОАО «Барнаульский завод транспортного машиностроения» проведены испытания трех буронабивных свай длиной 19 м, диаметром 1,0 м с уширением диаметром 2,2 м. Сваи прорезали лёссы (суглинки и супеси), обладающими просадочными свойствами до глубины 13 м. В грунтах природной влажности предельное сопротивление свай 2-х свай, опирающихся на супесь непросадочную твердой консистенции, при осадке 16 мм составило 4380 и 5290 кН, при осадке 40 мм – 5430 и 6590 кН. Третья свая опиралась на песок мелкий. В замоченных грунтах предельное сопротивление сваи составило при осадке 16 мм 4980 кН, при осадке 40 мм – 6000 кН.

На ТЭЦ-3 также выполнены испытания буроинъекционных свай: 3 опыта при длине свай 40,7 м диаметром 0,4 м и 3 опыта при длине свай 30,6 м диаметром 0,5 м. Среднее предельное сопротивление свай при осадке 16 мм составило, соответственно, 2320 и 2340 кН.

Сведения о предельном сопротивлении буронабивных и буроинъекционных свай в замоченных грунтах приведены в табл. 5.

Таблица 5

Параметры свай	Осадка свай мм	Среднее предельное сопротивление свай, кН	Число опытов, шт.
Буронабивные сваи			
г. Барнаул			
L=16-18 м.d=0,6 м,	16 мм	1900	5

одно уширение – 1,6 м	40 мм	2300	
L=19 м, d=1 м, уширение – 2,2 м	16 мм 40 мм	4980 6000	1
г. Заринск			
L=20 м, d=0,6 м, одно уширение – 1,4 м	16	3100	1
L=17 м, d=1,0 м, одно уширение – 2,2 м	16 40	3100 4040	1
L=19 м, d=1,0 м, одно уширение – 2,2 м	16 40	3750 4170	1
L=19 м, d=1,0 м, одно уширение – 2,2 м	40 40	4675 4620	1 1
	40	5510	1
L=20 м, d=1,0 м, два уширения – 2,2 м	40 40	4950 5480	1 1
	40	6500	1
Буроинъекционные сваи			
г. Барнаул			
L=40,7 м, d=0,4 м	16	2320	3
L=30,6 м, d=0,5 м	16	2340	3

В 1981-1985 гг. на площадке ПАО «Алтай-Кокс» выполнен комплекс испытаний буронабивных свай. V V

В 1981-1982 гг. на площадке УСТК испытывались две буронабивные сваи длиной 20 м и диаметром 0,6 м с уширенной пятой диаметром 1,4 м, пройденные в просадочных лёссах (суглинки) мощностью 8-9 м, и опирающихся на тугопластичные суглинки и пески пылеватые. Предельное сопротивление свай при осадке 16 мм оказалось равным 4300 кН в грунтах природной влажности и 3100 кН в замоченных грунтах. Конечная осадка до 40 мм не была доведена из-за образовавшейся трещины в свае.

На площадке закрытого склада угля ПАО «Алтай-Кокс» в 1982 г. V V испытывались 4 буронабивные сваи длиной 17-19 м, диаметром 1,0 м и с одним уширением диаметром 2,2 м. Опорный слой – суглинки непросадочные от тугопластичной до текучепластичной консистенции. Предельное сопротивление свай при осадке 16 мм в грунтах природной влажности колебалось от 3420 до 4815 кН, а в замоченных грунтах от 3100 до 3750 кН, при осадке 40 мм, соответственно, от 4660 до 5730 кН и от 4040 до 4170 кН.

В 1983 г. на этой же площадке проведено испытание буронабивной сваи длиной 20 м, диаметром 1,0 м с двумя уширениями диаметром 2,2 м в грунтах природной влажности. Опорный слой – те же суглинки от тугопластичной до текучепластичной консистенции. Предельное сопротивление сваи при осадке 16 мм составило 6300 кН, при осадке 40 мм – 7200 мм, а при конечной осадке в 57 мм - 7500 кН.

В 1984-1985 гг. на площадке третьей очереди расширения ПАО **У** «Алтай-**К**окс» проведено испытание 2-х буронабивных свай в грунтах **У** природной влажности и 6-и свай в замоченных грунтах. Длина свай 19-20 м, диаметр 1,0 м, уширения одно или два диаметром 2,2 м.

Четыре сваи испытывались в замоченных грунтах, где опорным слоем служили суглинки. Предельное сопротивление двух свай с одним уширением при осадке 40 мм составило 4675 и 4620 кН, еще 2-х свай с двумя уширениями - 4950 и 5480 кН. На участке, где опорным слоем служили пески пылеватые, предельное сопротивление 2-х свай в замоченных грунтах при осадке в 40 мм составило 5510 кН с одним уширением и 6500 кН с двумя уширениями.

В последние 5-6 лет буронабивные сваи стали применяться и при строительстве жилых 10-14 этажных зданий. Длина свай 12 и 14 м, диаметр 400 и 600 мм с уширенной пятой 1200 мм. Предельное сопротивление таких свай от 60 до 180 т (600-1800 кН).

Анализируя результаты испытаний буронабивных свай, можно сделать следующие выводы.

1. По сравнению с забивными железобетонными сваями буронабивные сваи имеют значительно большие значения предельного сопротивления: по сравнению со сваями длиной 9-12 м в 5-8 раз выше, а по сравнению со сваями повышенной длины (16-18 м) – в 1,5-4 раза (в зависимости от конструкции буронабивных свай).

2. В замоченных грунтах предельные сопротивления свай по сравнению с грунтами природой влажности снижаются в 1,2-1,4 раза, но часть опытов показала, что снижение предельного сопротивления свай при замачивании грунтов не произошло. Короткий ряд наблюдений (по 11-и параллельным сопоставляемым значениям) не дает возможности более надежно судить о влиянии замачивания грунтов на несущую способность буронабивных свай.

3. Буронабивные сваи большего диаметра (1,0 м) и большего диаметра уширенных пят (2,2 м) имеют предельное сопротивление в 1,5-2 раза выше, чем сваи меньшего диаметра (0,6 м) и меньшего диаметра уширенных пят (1,4-1,6 м).

4. Буронабивные сваи с двумя уширениями (при остальных равных параметрах свай) имеют предельное сопротивление выше в 1,1 раза по сравнению со сваями с одним уширением.

Итак, результаты испытания буронабивных свай показали возможность существенно повысить несущую способность свайного основания в сложных инженерно-геологических условиях Алтайского края (наличие массивов просадочных лёссов), что позволяет более рационально и надежно использовать геологическую среду.

Буронабивные сваи в отличие от забивных свай имеют и то немаловажное преимущество, что они могут сооружены и среди густо

застроенной территории. Забивка же свай вызывает колебания грунта, воздействующие на конструкции соседних зданий.

Так, сооружение фундамента из забивных свай для здания диагностического центра в г. Барнауле, обусловило деформации здания краевой библиотеки им. В. Шишкова: появление трещин в фундаментных блоках и в стенах на первом этаже. Расстояние между этими двумя зданиями 70 м.

Забивка свай в зимнее время на площадке здания по ул. Попова, 62 отзывалось на доме по Юрина, 216: ощущался каждый удар, здание вздрагивало, звенела посуда в шкафах. Расстояние между этими сооружениями порядка 200 м. В этот период года грунты промерзли. Видимо, поэтому динамические удары действовали на такое большое расстояние.

16.4. Уплотнение грунтов основания зданий и сооружений

Фундирование на просадочных грунтах возможно и на специально подготовленном основании посредством уплотнения грунтов или в вытрамбованных котлованах. При этом для устранения просадочных свойств грунты должны уплотняться до скелета грунта не менее 1600 кг/м^3 .

Уплотнение грунтов производится следующими способами:

- трамбовками,
- тяжелыми катками,
- взрывами,
- виброуплотнением,
- замачиванием водой.

Способ уплотнения грунтов трамбовками является наиболее распространенным для устранения просадочности и подготовки оснований зданий и сооружений.

Диаметр трамбовок 0,8-2,0 м, масса 1,5-3,0 т (легкие трамбовки), 4-6 т (средние трамбовки) и 7-10 т (тяжелые трамбовки). Высота сбрасывания трамбовок 3,5-8 м.

Уплотнение лёссов производится при их оптимальной влажности.

Оно производится в строительном котловане или по всей площади контура здания (фундамент-плита), или в траншеях вдоль осей, по которым будут заложены ленточные фундаменты, или для отдельно стоящих фундаментов.

Разновидность способа трамбования - вытрамбовывание котлованов (траншей) с поверхности.

Практика уплотнения грунтов легкими трамбовками показала ненадежность этого метода, так как просадочные свойства грунтов устраняются на небольшую глубину (1-2,5 м), кроме того неравномерность уплотнения грунтов вызывала неравномерную просадку и, как следствие, деформацию зданий.

Уплотнение грунтов средними трамбовками возможно для строительства малоответственных сооружений и зданий до 5 этажей. При уплотнении грунтов этими трамбовками они утрачивают просадочные свойства до глубины 3-5 м. Ниже уплотненной толщи нагрузка на грунт обычно меньше начального просадочного давления.

Для сооружений с большими нагрузками и высокоэтажных зданий (12 этажей и более) грунты должны уплотняться тяжелыми трамбовками. При этом, как правило, грунты утрачивают просадочные свойства до глубины 6-8 м или на полную мощность толщи.

Уплотнение тяжелыми катками применяется для малонагруженных неотчетственных сооружений. В котловане выбирается грунт до глубины 2-3 м, затем поинтервально засыпается котлован этим же грунтом по 0,3-0,5 м и каждый раз трамбуется, достигая плотности грунта в сухом состоянии (плотность скелета грунта) 1600 кг/м^3 .

Уплотнение взрывами применяется при строительстве на грунтах II типа по просадочности. Лёссовая порода замачивается, Котлован заливается слоем воды в 1,0-1,5 м. Взрывчатое вещество подвешивается на высоте 0,5 м от дна котлована. После взрыва порода уплотняется. Просадочные свойства утрачиваются на глубину 2 м и более.

В Алтайском крае этот способ не получил распространения. Но в Бийске был проведен опыт уплотнения грунтов взрывами. Результаты были неоднозначными: грунты были уплотнены, но неравномерно.

Виброуплотнение проводится посредством неоднократного пропускания вибромашин по поверхности лёссовых пород, которые предварительно увлажнены до оптимальной влажности. Способ применяется на грунтах I типа по просадочности при маломощных лёссовых толщах. Эффект уплотнения незначителен. Способ не получил большого применения.

Уплотнение замачиванием водой. Грунты с поверхности замачиваются водой. Способ применяется только для грунтов II типа просадочности, когда лёссы в верхней части своих толщ обладают низкой величиной начального давления просадочности – не более 0,01-0,02 МПа.

16.5. Физико-химические методы закрепления лёссовых пород

Известны два метода физико-химического закрепления лёссовых пород: силикатизация и термическое упрочнение.

Силикатизация – это химическое инъекционное закрепление лёссов для борьбы с просадкой. Для этого применяют инъекторы и силикатные растворы (силикат натрия) низкой вязкости, что обуславливает их высокую проникаемость в лёссовые породы. Концентрация растворов не превышает 10-20%, плотность их $1018-1090 \text{ кг/м}^3$. Инъекторы располагаются с обеих сторон укрепляемой стены или по периметру фундамента в несколько рядов, или в шахматном порядке.

В результате взаимодействия силиката натрия с обменными основаниями и воднорастворимыми солями лёссов на поверхности частиц и агрегатов образуются тонкие пленки геля кремниевой кислоты. Роль отвердителя силикатных растворов выполняет сам закрепляемый грунт. Закрепление грунта происходит быстро. Порода приобретает прочность и водостойкость.

В Алтайском крае способ не нашел широкого применения, но был опробован на ряде объектов, в том числе на ТЭЦ-2 в г. Барнауле.

Возведение главного корпуса ТЭЦ-2 было выполнено в 5 этапов. В первые 3 этапа при проектировании фундаментов использовались значения физико-механических свойств грунтов природной влажности, а не в замоченном состоянии. При эксплуатации ТЭЦ-2 грунты оказались в замоченном состоянии, не могли выдержать высокую нагрузку от сооружения и начались просадки грунта. Они продолжались без дополнительной нагрузки в последующие 40 лет.

В результате возникших напряжений в конструкциях появились деформации: трещины в стенах и фундаменте, изгиб деталей конструкций и др. Возникла предаварийная ситуация. Были приняты некоторые меры, но они не дали положительных результатов. Тогда была назначена и выполнена силикатизация грунтов основания фундаментов. Результаты ее были неоднозначны: на некоторых участках дальнейшая просадка была остановлена, на других - нет. Позднее произошло обрушение части стены, возведенной в первый этап строительства главного корпуса.

Известны два способа термического упрочнения лёссовых грунтов:

1. Способ Н.А. Осташева. В лёссовую породу через скважины нагнетается воздух, нагретый в специальных стационарных или передвижных нагревательных агрегатах до температур 600-900 и 1000-1400⁰ С.

2. Способ И.М. Литвинова основан на термической и термохимической обработке пород газообразными продуктами горения. В скважины подается горючее и сжигается под избыточным давлением в 0,015-0,05 МПа. В качестве горючего применяют газы (природный, генераторный, коксовый и др.), жидкое топливо (солярное масло, нефть и др.) и твердое пылевидное топливо (кокс и др.). Для повышения эффективности метода применяются химические добавки.

В результате воздействия на породы раскаленных газообразных продуктов горения и химических добавок достигается упрочнение лёссовых пород.

В одной скважине диаметром 10-20 см в течение 5-10 дней можно получить термическое (или термохимическое) упрочнение лёссов на расстоянии 2-3 м от скважины на глубину до 10-15 м. При этом грунты теряют просадочные свойства и их несущая способность повышается.

16.6. Конструктивные мероприятия

Конструктивные мероприятия увеличивают прочность и пространственную жесткость сооружений.

Важным является применение надежных методов фундирования. Из них можно назвать устройство фундаментов из железобетонных свай с полной прорезкой просадочной толщи.

Для зданий и сооружений с большой нагрузкой рекомендуется использовать буронабивные сваи с одним или двумя уширениями.

Устройство плитно-свайных фундаментов с низким плитным ростверком обеспечивает передачу части нагрузки на грунт непосредственно через подошву ростверка.

Метод устройства оснований фундаментов вытрамбовыванием котлованов позволяет и образовать котлован, и уплотнить грунт в его основании, а также дает экономию металла и цемента.

Для устранения просадочных свойств грунтов рекомендуется уплотнение их тяжелыми трамбовками.

Другие конструктивные мероприятия: устройство железобетонных поясов на уровне перекрытий, разрез здания просадочными швами на жесткие отсеки, увеличение площади опор элементов конструкций и др.

16.7. Водозащитные мероприятия

Водозащитные мероприятия направлены на недопущение замачивания лёссовых грунтов под зданиями.

На стадии генплана следует учитывать естественные пути стока атмосферных осадков для исключения возможности накопления атмосферных вод на территории строительства.

При проектировании зданий планировка территории должна обеспечить полный сток талых и дождевых вод и сбор их в ливневую канализацию.

При размещении участка строительства на склоне надо предусмотреть, чтобы стекающая вода собиралась в нагорные каналы. Дно канав должно иметь наклон и выпуски, чтобы организовать сток воды из канавы за пределы строительной площадки.

Здания должны иметь водосточные трубы и отмостки достаточной ширины для исключения попадания в грунты вод, стекающих с крыш.

При проектировании необходимо учитывать возможность утечек вод из водосодержащих объектов и водонесущих инженерных коммуникаций.

Вводы всех инженерных сетей рекомендуется сосредоточить в одном месте, преимущественно в торце здания. При разводке сетей в техническом подполье рекомендуется устраивать под трубопроводами железобетонный

лоток, имеющий уклон к каналу. На линиях водопровода, канализации и др. трубопроводов должно быть достаточное количество запорных устройств, чтобы в аварийных случаях быстро выключать отдельные линии инженерных коммуникаций.

Важен организованный надзор за всей системой водоснабжения и канализации, чтобы немедленно ликвидировать засор канализации, своевременно зафиксировать места утечек воды из инженерных коммуникаций и организовать их ремонт.

Эпилог

Лёссы являются просадочным грунтом, поэтому строительство на них сталкивается с серьезными проблемами.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений Алтая наглядно показал, что недоучет особенностей просадочных свойств грунтов приводит к развитию недопустимых деформаций и обуславливает аварийное состояние зданий и сооружений.

Несмотря на серьезное изучение лёссов научными учреждениями и геологами-производственниками, до сих пор нет единого мнения по многим важнейшим вопросам: о происхождении лёссов, об образовании макроструктур (обуславливающих просадку), о причинах высокого содержания в лёссах карбоната кальция, о формировании агрегативного строения лёссов и др.

В практике инженерных изысканий имелся ряд важных нерешенных проблем, в том числе отбор из скважин качественных неуплотненных монолитов, замена дорогостоящих, трудоемких и длительных видов опытных работ экспресс-методами полевых работ и др.

ООО «АлтайТИСИЗ» за период деятельности в 57 лет (1963-2020 гг.) V добился определенных успехов в изучении лёссов, что отражено в настоящей монографии.

Была разработана и защищена новая эолово-почвенная гипотеза происхождения лёссов. Уточнено содержание термина «лёсс».

Решены такие важные вопросы как обоснование эолового накопления пылеватых осадков на Алтае, превращение пылеватых эоловых осадков в лёсс, формирование агрегатной структуры лёссов, формирование макропор и просадочных свойств лёссов, изменение плотности грунтов и пористости с глубиной в разрезах лёссовых отложений, сохранение просадочных свойств лёссов.

В монографии рассмотрено распространение лёссов на Алтае, их возраст.

Приведены общие сведения об основных геоморфологических структурах Алтая: их расположение, рельеф, ландшафты, почвы, геологическое строение и гидрогеологические условия.

Дано обоснование формирования лёссов в долинах рек Алтая с позиции эолово-почвенной гипотезы.

Приведены физико-механические свойства лёссов.

Рассмотрены почвы Алтая, из которых произошли лёссы в результате почворазрушительных процессов.

Описаны погребенные почвы, их свойства и генезис в свете эолово-почвенной гипотезы происхождения лёссов.

Рассмотрены опасные природные и антропогенные геологические и инженерно-геологические процессы и их воздействие на лёссовые массивы.

Дана оценка сложности природных условий Алтая и категории опасности природных и антропогенных процессов

Намечены основные тенденции и прогноз развития опасных природных и антропогенных процессов.

Решен ряд важных проблем инженерно-геологических изысканий и строительства на лёссовых просадочных грунтах.

Рациональное использование геологической среды на территориях, сложенных лёссовыми толщами, во избежание катастрофических просадок и деформаций зданий и сооружений, должно быть обеспечено достоверной и достаточной информацией о распространении и свойствах лёссов, назначением при проектировании специальной подготовки основания фундаментов, учетом при проектировании и строительстве негативных свойств грунтов и возможном изменении их свойств при эксплуатации объектов.

Вопросы по лёссовым грунтам, рассмотренные в данной монографии, апробированы на Всесоюзных, Республиканских и краевых конференциях в гг. Москве (1978, 1979 гг.), Киеве (1976 г.), Барнауле (1977, 1978, 1980, 1982, 1983, 1986, 1989, 1990, 1998-2002, 2005, 2006, 2007, 2018 гг.), Ташкенте (1978 г.), Одессе (1979 г.), Иркутске (1984 г.), Бийске (1984, 1985, 1986, 1987 гг.), Кемерово (2001 г.), Горно-Алтайске (2002 г.) и с. Ая (2007 г.).

Литература

1. Арефьев В.С., Швецов А.Я. и др. Развитие оползней как фактор многокомпонентной системы на примере г. Барнаула. // Проблемы рационального природопользования в Восточной Сибири. Тезисы докладов к научно-практической конференции. - Иркутск: Изд-во Института географии СО АН СССР, 1984. - С. 91-92.

2. Алтайский край. Научно-справочный атлас. - Москва: Изд-во ГУГК, 1978.- 222 с.

3. Балацкая И.А., Швецов А.Я., Ревякин В.С., Гатилов Ю.А. Город Барнаул на рубеже XX и XXI столетий. Природные условия, экология, экономика, социальная сфера. Монография. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. - 190 с.

4. Брюханов В.А., Осьмушкин В.С., Швецов А. Я. О влиянии нового мостового перехода через р. Обь в г. Барнауле на природную среду //

Проблемы экологии и природопользования в Алтайском крае. – Барнаул: 1998. - С.39-40.

5. Герасимов И.П., Чичагова О.А. Некоторые вопросы радиоуглеродного датирования почвенного гумуса. // Почвоведение.1971, №10.

6. Глазовская М.А. Почвы мира. Ч.1, ч.2. М.: Изд-во МГУ, 1972.

7. Грибанов Л.Н. К познанию природы черных бурь в Кулундинской степи Алтайского края. // Почвоведение, 1954. № 9.

8. Демин А.Г. Геологическое строение. Энциклопедия Алтайского края Том 1. – Барнаул: Алтайское книжное издательство, 1995. - С 17-26.

9. Денисов Н.Я. Строительные свойства лёссов и лёссовидных суглинков. М., 1972.

10. Дунец А.Н., Ревякин В.С., Швецов А.Я. Антропогенные изменения рельефа Алтае – Саянской горной страны. Геоморфология Центральной Азии. // Материалы XXVI пленума Геоморфологической комиссии международного совещания. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2001. –С. 77-79.

11. Кригер Н.И. Лёсс, его свойства и связь с географической средой. М.: Наука, 1965.

12. Кукал З. Скорость геологических процессов. - М.: Мир, 1987. - 90 с.

13. Лёссовые породы СССР: в двух томах. Том 1. Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования. // Под редакцией Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова и Н.Н. Комиссаровой. – М.: Недра, 1986. – 232 с.

14. Мавлянов Г.А. Генетические типы лёссов и лёссовидных пород центральной и южной частей Средней Азии и их инженерно-геологические свойства. - Ташкент: Изд-во Узб. ССР, 1958.

15. Минервин А.В. Роль процесса гипергенеза в формировании просадочных лёссовых пород юга Сибири. - В кн. Генетические основы инженерно-геологического изучения горных пород. - М.: 1975. - С. 305-314.

16. Минервин А.В., Комиссарова Н.Н., Чепижный К.И., Соколов В.Н. и др. Формирование структурных элементов лёссовых пород. 1982. Инженерная геология, № 2. - С. 44-60.

17. Минервин А.В., Комиссарова Н.Н. Природа просадочности лёссовых пород. – В кн. Вопросы инженерной геологии и грунтоведения, вып. 5. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. - С.16-31.

18. Михайлов В. Е. , Швецов А. Я. Влияние замачивания грунтов на изменение их физико-механических свойств на промышленных площадках в г. Барнауле. // Подтопление застраиваемых территорий грунтовыми водами и их инженерная защита. - М.: 1978.- С. 119-122.

19. Михайлов В.Е., Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Особенности лёссовых просадочных грунтов Алтайского края. // Проектирование и строительство зданий и сооружений на лёссовых просадочных грунтах. Том 1. Лёссовые породы и методы их исследования. - Барнаул: 1980. - С. 149-152.

20. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Опыт применения инвентарной сваи ИИС-127 в тресте «АлтайГИСИЗ» для определения несущей способности забивных свай в лессовидных суглинках. // Применение моделей свай на стадии изысканий. - Киев: 1976. - С. 14-15.

21. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Влияние деятельности человека на изменение гидрогеологических условий застроенных территорий. // Водные ресурсы Алтайского края, их рациональное использование и охрана. Барнаул: 1978. - С. 170-172.

22. Осьмушкин В. С., Паршиков Н. И., Швецов А. Я. Прогноз несущей способности свай в просадочных лессовидных грунтах при условии их замачивания по данным испытания инвентарной сваей грунтов природной влажности. Инженерно-строительные изыскания. Сборник статей, № 1 (53). М.: 1979. -С. 62-66.

23. Осьмушкин В. С., Паршиков Н. И., Швецов А. Я. Расчет предельного сопротивления свай в просадочных замоченных грунтах по данным испытания инвентарной сваей грунтов природной влажности. Информационный листок № 42-80. Алтайский межотраслевой территориальный Центр научно-технической информации и пропаганды. - Барнаул: 1980.

24. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я., Морев А. Ф. О повышении эффективности изысканий на просадочных грунтах.// Проектирование и строительство зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах. Том 1. Лессовые породы и методы их исследования. - Барнаул: 1980, - С. 145-149.

25. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Некоторые проблемы рационального использования и охраны среды в Алтайском крае. // Теория и практика природопользования. - Барнаул: 1983. - С. 48-50.

26. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. О некоторых особенностях аллювиальных глинистых грунтов Алтайского края. // Современные геоморфологические процессы на территории Алтайского края. Бийск: 1984. - С. 45-47.

27. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Некоторые антропогенные формы рельефа и их влияние на геологическую среду. // Геологическое строение и полезные ископаемые Алтайского края. - Бийск: 1985. - С. 114-117.

28. Осьмушкин В.С., Морев А. Ф., Швецов А. Я. Изменение геологической среды под воздействием хозяйственной деятельности человека в интенсивно осваиваемых районах Алтайского края. // Влияние хозяйственной деятельности человека на геологическую среду. - Бийск: 1986. - С. 30-31.

29. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Инженерно-геологические особенности лессовых пород юга Западной Сибири. // Лессовые просадочные грунты как основания зданий и сооружений. Книга 3. Инженерно-геологические особенности лессовых пород. Техническая мелиорация. - Барнаул: 1990. С. 25-28.

30. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. «Ползучая» опасность в г. Барнауле. – Гуманизм и строительство на пороге третьего тысячелетия. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции АлтГТУ. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. – С.54-57.
31. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Опасные природно-техногенные процессы и геоэкологический мониторинг на территории г. Барнаула. – Гуманизм и строительство на пороге третьего тысячелетия. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции АлтГТУ. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1999. - С. 57-60.
32. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Районирование Алтая по сейсмичности для строительства на основе карт ОСР-97 с учетом инженерно-геологических условий. //Материалы региональной конференции в Кузбассе. - Кемерово: 2001. - С. 78-82.
33. Осьмушкин В. С. , Швецов А. Я. Особенности инженерно-геологических условий предгорий Салаира. // Геоморфология гор и предгорий. Материалы Всероссийской школы-семинара (Барнаул-Горно-Алтайск), 2002. – С. 228-231.
34. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Опасные природные (геологические) процессы на территории г. Барнаула, категории их опасности // Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008, - С. 101-104.
35. Осьмушкин В. С., Швецов А. Я. Сравнительная оценка несущей способности единицы длины или объема различных видов свай в лессовых грунтах Алтайского края. // Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008, - С.104-107.
36. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. - Л.: Наука, 1980.
37. Попов В.В. Классификация лёссовых пород. // Лёссовые породы Украины. - Киев: Изд-во АН УССР, 1957. - С.151.
38. Ревякин В. С. , Перемазов И. П. , Швецов А. Я. Комплексный атлас г. Барнаула. // Историческая и современная картография в развитии Алтайского региона: Тезисы докладов международной научно-практической конференции. - Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 1997. - С. 130-132.
39. Ревякин В.С., Швецов А.Я. Инженерно-экологическое районирование Алтайского края. // Проблемы экологии и природопользования в Алтайском крае. – Барнаул: 1998. - С. 48-49.

40. Ревякин В. С., Швецов А. Я. Алтайский горный округ спустя 170 лет после Гумбольда. // Александр Гумбольдт и российская география: Материалы международной конференции. Барнаул, 23-25 мая 1999 г. - Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 1999. - С. 185-187.
41. Ревякин В.С., Швецов А.Я. и др. Барнаул. Научно-справочный атлас. – Барнаул: Изд-во ПО «Инжгеодезия», 2006. - 100 с.
42. Ревякин В. С., Швецов А. Я., Дунец А.Н. Мостовой переход через р. Обь у г. Барнаула. – Литературно-художественный и краеведческий журнал «Барнаул», № 4. - Барнаул: 2007. - С. 85-137.
43. Родин Л.С., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. - М.:, Л.: Наука, 1965.
44. Рубинин Е.В., Козырев М.Г. О возрасте русского чернозема. // Почвоведение. 1974, № 7.
45. Свиточ А.А., Боярская Т.Д., Воскресенская Т.И. и др. Разрез новейших отложений Алтая (стратиграфия и палеогеография Приобского плато, Подгорной равнины и Горного Алтая). - М.: Изд-во МГУ, 1978. - С. 18-21, 196-201.
46. Сергеев Е.М. Генезис лёссов в связи с их инженерно-геологическими особенностями. – Вестник МГУ. Сер. геол., 1976, № 5. - С.3-15.
47. Смит Г.Т. Лёссовые отложения США. // Современный и четвертичный континентальный литогенез. - М.: Наука, 1966. - 60 с.
48. Трофимов В.Т. Об инженерно-геологическом содержании термина «лёсс» и его производных. // Инж. геология. 1992. № 6. - С. 14-24.
49. Федорович Б.А. Географические условия распространения лёсса в Евразии. // Лёсс и лёссовые породы Украины. - Киев: Изд-во АН СССР, 1957.
50. Черноусов С. И., Арефьев В.С., Осьмушкин В.С., Швецов А. Я., Арефьева В.И. Географические и инженерно-геологические условия Степного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1988. - 97 с.
51. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Влияние деятельности человека на изменение инженерно-геологических условий территории г. Барнаула. // Проблемы охраны окружающей среды в свете решений XXV съезда КПСС. - Барнаул: 1977. - С. 135-138.
52. Швецов А. Я. Замачивание грунтов и изменение их физико-механических свойств на площадке Барнаульского Шинного комбината. // Проблемы охраны окружающей среды в свете решений XXV съезда КПСС. - Барнаул: 1977. - С. 139-141.
53. Швецов А. Я., Морев А. Ф. Грунтонос вакуумный для отбора монолитов грунта в основаниях сооружений. Информационный листок № 598-80. Алтайский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды. - Барнаул: 1980.

54. Швецов А. Я., Морев А. Ф. Зондировочно-буровой агрегат на базе установки типа УГБ-50 М. Информационный листок № 164-81. Алтайский Межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды. - Барнаул: 1981.

55. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С., Морев А. Ф. Рациональное использование геологической среды при строительстве зданий и сооружений на просадочных грунтах в условиях Алтайского края. // Вопросы охраны природы в промышленности, в строительстве и на транспорте. - Барнаул: 1983. - С. 84-86.

56. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Осадки и деформации сооружений Алтайского коксохимического завода как результат изменения геологической среды под антропогенным воздействием. // Вопросы охраны природы в промышленности, в строительстве и на транспорте. - Барнаул: 1983. - С. 92-93.

57. Швецов А. Я. К вопросу о просадочных грунтах в долинах рек на Алтае. // Современные геоморфологические процессы на территории Алтайского края. - Бийск: 1984. - С. 69-72.

58. Швецов А. Я. Грунтонос для отбора монолитов просадочных грунтов. Информационный листок № 14-84. Алтайский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды. - Барнаул: 1984.

59. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Развитие осадок фундаментов сооружений коксохимического завода при строительстве и в начальный период эксплуатации. // Влияние хозяйственной деятельности человека на геологическую среду. - Бийск: 1987. - С. 70-72.

60. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. О «глиняном» карсте в лессовых отложениях Приобского плато. // Карст Алтае – Саянской горной области и сопредельных горных стран. - Барнаул: 1989. - С. 62-63.

61. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Проблемы инженерных изысканий при строительстве зданий и сооружений и их эксплуатации. // Материалы научно-практической конференции «Проблемы развития и интенсификации народнохозяйственного комплекса Алтайского края в 13 пятилетке и на период до 2005 г.». - Барнаул: 1989. - С. 26-32.

62. Швецов А. Я. К вопросу о «погребенных почвах» Алтая. // Лессовые просадочные грунты как основания зданий и сооружений. Книга 3. Инженерно-геологические особенности лессовых пород. Техническая мелиорация. - Барнаул: 1990. - С. 31-34.

63. Швецов А. Я. О генезисе лессовых просадочных грунтов Приобского плато. // Лессовые просадочные грунты как основания зданий и сооружений. Книга 3. Инженерно-геологические особенности лессовых пород. Техническая мелиорация. - Барнаул: 1990. С. 34-39.

64. Швецов А. Я., Швецова Г. В. Эолово-почвенная гипотеза происхождения лессов Алтая. - Инженерная геология, № 4. М: 1992. - С. 119-125.

65. Швецов А. Я. О содержании термина «лесс» - Инженерная геология, № 5. - М.: 1994. - С.110 – 112.

66. Швецов А. Я. Лессы Алтайского края. - Вестник Алт. гос. техн. ун-та, № 1, - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2000. - С. 29-35.

67. Швецов А. Я. К вопросу о влиянии эоловых процессов на почвообразование, движение почвенного профиля по вертикали, возраст и мощность почв. Сборник научных трудов АГАУ «Проблемы природопользования на юге Западной Сибири». - Барнаул: Изд-во АГАУ, 2000. - С. 64-70.

68. Швецов А. Я. Рельеф г. Барнаула. Энциклопедия. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2000. - С. 257-258.

69. Швецов А. Я. Геологическое строение территории г. Барнаула. Энциклопедия. - Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2000. - С. 74.

70. Швецов А. Я., Бородавко В.Г. Оползневая зона. Энциклопедия. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2000. - С. 212, 213.

71. Швецов А. Я. Оползни Барнаульского Приобья. География и природопользование. Сборник статей. Выпуск 5. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. - С. 268-277.

72. Швецов А. Я. ГОСТ на землетрясения (в историческом ракурсе). Вечерняя газета. № 151 от 03.10.2003.

73. Швецов А.Я. О степени благоприятности инженерно-геологических условий для строительства в г. Барнауле. Барнаул на рубеже веков: итоги, проблемы, перспективы; материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 275-летию Барнаула. - Барнаул: Изд-во АГУ, 2005. - С. 281-285.

74. Швецов А.Я., Осьмушкин В.С. Основные закономерности проявления сейсмической деятельности в Алтайском крае и на прилегающей территории. // Трансформация социально-экономического пространства и перспективы устойчивого развития России. Материалы международной научной конференции (18-21 сентября 2006 г., Россия). - Барнаул: Изд-во ОАО «Алтайский Дом печати», 2006. - С. 288-289.

75. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Мониторинг загрязненности нефтепродуктами природной среды Барнаульской нефтебазы. // Трансформация социально-экономического пространства и перспективы устойчивого развития России. Материалы международной научной конференции (18-21 сентября 2006 г., Россия). - Барнаул: Изд-во ОАО «Алтайский Дом печати», 2006. - С. 143-150.

76. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Последствия в г. Барнауле сильного землетрясения, произошедшего в Горном Алтае 23 сентября 2003 г. // Трансформация социально-экономического пространства и перспективы устойчивого развития России. Материалы международной научной

конференции (18-21 сентября 2006 г., Россия). - Барнаул: Изд-во ОАО «Алтайский Дом печати», 2006. - С. 153-158.

77. Швецов А. Я, Осьмушкин В. С. Причины оползневых процессов на территории г. Барнаула. // Трансформация социально-экономического пространства и перспективы устойчивого развития России. Материалы международной научной конференции (18-21 сентября 2006 г., Россия). - Барнаул: Изд-во ОАО «Алтайский Дом печати», 2006. - С. 158-161.

78. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Анализ результатов испытаний буронабивных свай, заложенных на просадочных грунтах в Алтайском крае. //Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – С. 136-139.

79. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Мониторинг геотехнической системы «Обской мост – природная среда». // Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – С. 139-143.

80. Швецов А. Я., Осьмушкин В.С. Основные тенденции и прогноз развития опасных геологических и геотехнических процессов в г. Барнауле. // Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – С. 150-153.

81. Швецов А. Я., Осьмушкин В. С. Результаты испытания забивных железобетонных свай в просадочных грунтах Алтайского края. //Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 161-166.

82. Швецов А. Я, Осьмушкин В. С. Техногенное воздействие на развитие опасных природных процессов. // Строительный комплекс и градостроительство в свете выполнения национального проекта «Доступное и комфортабельное жилье – гражданам России» в Алтайском крае. Материалы региональной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Алтайского края (9-12 октября 2007 г.). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – С. 166-172.

83. Швецов А.Я. Экологическое состояние территории г. Барнаула.//Экология. Культура. Образование: материалы восьмой городской

научно-практической конференции. // МБУ «Централизованная библиотечная система г. Барнаула имени М.Н. Ядринцева; [гл. ред. А.Я. Швецов]. - Барнаул: 2018. - С. 35-68.

84. Швецов А.Я., Горлов Е.А. Природные условия Барнаула. // Барнаул: Изд-во «Новый формат», 2020. - 188 с.

Фондовые и архивные материалы

85. Осьмушкин В.С., Арефьева В.И. и др. Геологические условия г. Барнаула. 1973. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ», архивный № 4290.

86. Осьмушкин В.С., Швецов А.Я. и др. Инженерно-геологические условия г. Барнаула. 2006. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ», архивный № 20469.

87. Осьмушкин В.С., Швецов А.Я., Ковтун Е.П. Отчет о работах по теме: «Обобщение материалов инженерно-геологических изысканий на территории г. Барнаула». Барнаул. 1992. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ».

88. Отчеты об инженерно-геологических изысканиях в г. Барнауле в 1963-2017 г.г. Барнаул. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ».

89. Технология бурения и опробования лессовых просадочных грунтов. 1987. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ», архивный № 14029.

90. Экспериментальные технологии проходки и опробования выработок на просадочных грунтах. 1987. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ», архивный № 13976.

91. Швецов А.Я. Эолово-почвенная гипотеза происхождения лёссов Алтая и их инженерно-геологические особенности. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Барнаул: 1999. Научная библиотека Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

92. Швецов А.Я., Осьмушкин В.С. «Сопоставление результатов штамповых и компрессионных испытаний лёссовых просадочных грунтов. 2016. Фонды ООО «АлтайТИСИЗ».

93. Добровольская И. А., Коновалов В. Н., Андреева Н. Е., Винокуров Ю. И., Швецов А. Я. и др. Комплексная схема охраны окружающей среды г. Барнаула на период до 2010 г. Пояснительная записка. Том I. Многофакторный анализ условий проживания населения. – 476 с. Том II. Комплексные средоохранные мероприятия и планово-финансовые оценки. – 610 с. Том III. Основные положения. – Л.: «Ленгипрогор», 1990. – 1286 с.

94. Схема инженерной защиты г. Барнаула от опасных геологических и гидрологических процессов. – М: 1994. «Инжзащита».

Иллюстрации

Обложка. Склон долины р. Оби. В верхней части обнажения лёссы.
Фото В. Четошникова. Fotokto.ru

Рис. 1. Склон долины р. Оби. В верхней части обнажения лёссы. Фото
В. Четошникова. Fotokto.ru

Рис. 2. Почвенный разрез чернозема выщелоченного. Ниже лёсс.
Photosoil.ru

Рис. 3. Склон долины р. Оби. В верхней части разреза лёссы.
Фото В. Четошникова. Fotokto.ru

Рис. 4. Приобское плато. Rgo-sib.ru

Рис. 5. Березовый лес в степном блюде (колке).

Рис. 6. Ленточный сосновый бор. Nat-geo.ru.

Рис. 7. Бийско-Чумышская возвышенность. Altlib.ru.

Рис. 8. Кулундинская низменность. Lifeisphoto.ru.

Рис. 9. Предалтайская равнина. Prezentacii.org.

Рис. 10. Предсалаирская равнина. Photocentra.ru.

Рис. 11. Долина Оби. На переднем плане река Обь, далее пойма и
надпойменные террасы. Fish-hook.ru

Рис. 12. Склон Приобского плато. Обнажение лёссов
под почвенным слоем. Фото В. Четошникова. Fotokto.ru

Рис. 13. Обнажение лёссов в обрыве долины Оби. Фото В.
Четошникова. Fotokto.ru

Рис. 14. Чернозем обыкновенный. ИИВС ДОЭС

Рис. 15. Каштановые почвы. Ниже лёсс.

Рис. 16. Серая лесная почва. Sitekid.ru

Рис. 17. Дерново-подзолистая почва. Fb.ru

Рис. 18. В обнажении лёссов отмечается 3 слоя погребенных почв.

Смотровая площадка Одинцовка на берегу р.Обь - DRIVE2.

Рис. 19. Оползневой склон Приобского плато. На переднем плане овраг.
Вверху обнажения лёссы. Zarpoved.net.

Рис. 20. Склон Приобского плато. В верхней части обнажения лёссы.
Фото В. Четошникова. Fotokto.ru.

Рис. 21. Террасированный склон Приобского плато у нагорного парка г.
Барнаула. Верхняя часть склона сложена лёссами. Rus-shipping.ru.

Рис. 22. Оползень сдвига на склоне долины р. Оби. В верхней части
обнажения под почвенным слоем лёссы. News.myseldon.com.

Рис. 23. Оползневой цирк на склоне Приобского плато. В верхней
части обнажения лёссы. Barnaule.html sign/ Клуб fishki.

Рис. 24. Оползень на склоне долины Оби. В верхней части
обнажения под почвенным слоем лёссы. Altai.aif.ru.

Рис. 25. Разрушенный антропогенным оползнем 3-х этажный гараж по
ул.Кавалерийской, 5а. 1988 г.

Рис. 26. Суффозионная воронка у водовода Меланжевого комбината на Обском склоне.

Рис. 27. Овраги на склоне Обского плато. В верхней части обнажения лёссы. Shnyagi.net.

Рис. 28. Овраг у склона долины Оби (Научный городок). В разрезе отложений лёссы. Wikimapia.org.

Рис. 29. Овраг с отвершками на Приобском плато. В обнажении лёссы.

Рис.30. Склон Приобского плато. В верхней части обнажения лёссы
Фото В. Четошникова. Fotokto.ru.

Сведения об авторе

Швецов Анатолий Яковлевич окончил геолого-разведочный факультет Томского политехнического института. Кандидат геолого-минералогических наук.

В период работы в Тематической партии Западно-Сибирского геологического управления принял участие в составлении государственного капитального труда СССР: «Геология СССР. Том XIV, Западная Сибирь (Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская области, Алтайский край). Полезные ископаемые. Книга 2. 1982 г. Соавтор главы «Облицовочные и поделочные камни Западной Сибири».

В тот же период участвовал в составлении томов государственного труда «Геологическая изученность СССР». Том 19. Алтайский край и Кемеровская область. Выпуск II. Периоды 1918-1928 гг., 1941-1945 гг., 1946-1950 гг., 1956-1960 гг., 1961-1965 гг., 1966-1970 гг.



Принимал участие в составлении атласа «Барнаул. Научно-справочный атлас». Составил ряд карт: «Геологическая карта. Геологическое строение территории Барнаула», «Территории, подверженные опасным природным процессам», «Список чрезвычайных аномальных природных и антропогенных явлений за годы существования города Барнаула», «Промышленность».

На основании изучения архивных материалов, хранящихся в фондах Краевого архива Алтайского края, архивов и фондов Москвы и Петербурга, установил год основания города Барнаула (1736 г.), что отразил в статье в газете «Алтайская правда» (1999 г.) и на международной конференции в Барнауле в 2004 г.

Принял участие в составлении энциклопедии «Энциклопедия Алтайского края. 2 тома». Для первого тома составил главу «Полезные ископаемые и минеральные ресурсы Алтайского края». Для второго тома составил 10 статей.

Принял участие в составлении энциклопедии «Барнаул» Для этой энциклопедии составил 6 статей.

В течение 37 лет работал в ООО «АлтайТИСИЗ» в должностях главного специалиста – геолога, начальника техотдела, начальника отдела геологии и экологии, заместителя главного инженера и управляющего

трестом. Руководил подготовкой и производством инженерно-геологических изысканий, в том числе на территориях, сложенных лёссами.

В этот период осуществлял руководство изысканиями и принимал личное участие на многих объектах в полевых работах и в составлении технических отчетов, в том числе таких крупных как:

- лыжный комплекс для сборной России в Хакасии (пос. Тёя), и биатлонный комплекс на Сахалине (г. Южно-Сахалинск),
- поиски и разведка 5 объектов подземных питьевых вод для поселков и г. Салехарда Ямало-Ненецкого автономного округа,
- изыскания в Якутии для строительства объектов Десовского и Таежного железорудных месторождений, Эльгинского угольного комплекса и др.

Руководил и принимал непосредственное участие в составлении инженерно-геологических карт городов: Бийска, Рубцовска, Новоалтайска, Ярового, Славгорода, Заринска, Алейска и Камня-на-Оби, а также особых экономических зон «Бирюзовая Катунь» и «Сибирская монета» с составлением технических отчетов по инженерно-геологическим условиям этих городов и экономических зон.

Принял участие в составлении технических отчетов по инженерно-геологическим условиям г. Барнаула для «Схемы инженерной защиты территории г. Барнаула от опасных природных процессов» в 1992 г. и для Генерального плана города в 2006 г.

Участвовал в составлении инженерно-геологической карты Степной части Алтайского края масштаба 1:500000 (непосредственно А.Я. Швецовым составлена инженерно-геологическая карта Обь-Чумышской озерно-аллювиальной равнины). Является соавтором монографии «Географические и инженерно-геологические условия Степного Алтая».

Под руководством автора и при личном его участии осуществлен ряд научно-исследовательских работ:

- определение несущей способности забивных железобетонных свай в замоченных лёссовых грунтах по результатам испытания инвентарных свай в грунтах природной влажности;
- разработка нового вдавливающего способа проходки скважин на территориях, сложенных лёссовыми грунтами,
- разработка нового тонкостенного грунтоноса для отбора качественных (не уплотненных) монолитов, а также нормального ряда грунтоносов для отбора из непросадочных грунтов;
- выполнение исследований по установлению степени влияния длительного замачивания лёссовых грунтов (3 года) на несущую способность забивных свай;

- выполнение сопоставления результатов различных видов опытных работ с целью сокращения при изысканиях трудозатрат, сроков изысканий, снижения их стоимости и снижения степени опасности при выполнении изысканий.

Изучены процессы замачивания грунтов под зданиями в результате антропогенной деятельности и подтопления территорий городов Барнаула, Бийска, Рубцовска, Алейска, Славгорода и крупных промплощадок (Алтайский коксохимический завод, Северная промзона и ТЭЦ-3 в Барнауле и др.).

Изучал лёссы и почвы в процессе полевых изыскательских работ в обнажениях и горных выработках.

Изучал опорные типовые разрезы лёссовых пород Приобья: ключевые участки «Барнаул», «Володарка», «Шадрино». Исследовал условия залегания лёссов и погребенных почв.

Выполнен значительный объем работ по обобщению, систематизации и анализу физико-механических свойств лёссов Алтайского края, анализу процессов формирования покровных отложений.

Выполнил критическое осмысление существующих гипотез происхождения лёссов.

Все это позволило установить инженерно-геологические особенности лёссовых пород Алтая (в том числе их физико-механических свойств), уточнить трактовку термина «лёсс», выдвинуть, разработать и защитить золово-почвенную гипотезу происхождения лёссов

Является автором и соавтором 10 монографий и 129 опубликованных научных статей, в том числе 4 монографий и 59 статей по лёссам.