

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

ГОРНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

Н.И. Пруцкий, Г.С. Январёв

Геологическое картирование

Допущено Министерством образования и науки Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Геологическая съёмка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки
«Прикладная геология»

Новочеркасск 2006

УДК 550.8:528.92 (075.8)

ББК 26.3

П 85

Рецензенты: д-р геол.-минер. наук **Н.В. Межеловский**,
канд. геол.-минур. наук **А.Ф. Морозов**

П 85 Пруцкий, Н.И. Геологическое картирование [Текст]: Учеб. пособие/
Н.И. Пруцкий, Г.С. Январёв; М-во образования и науки РФ, Юж.-Рос. гос.
техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – 164с.

ISBN 5-88998-695-3

Приведены общие сведения о геологических картах. Изложены теоретические основы и методические принципы организации и проведения геологической съемки. Уделено большое внимание геоинформационным технологиям при геологическом картировании. Рассмотрены особенности геологического картирования покровных вулканогенно-осадочных, складчатых и четвертичных комплексов пород.

Для студентов геологических специальностей вузов.

УДК 550.8:528.92 (075.8)

ББК 26.3

ISBN 5-88998-695-3

© Южно-Российский государственный
технический университет, 2006

© Пруцкий Н.И., Январёв Г.С., 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ	9
1.1. МАСШТАБЫ КАРТ И ИХ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ ОСНОВА	10
1.2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ	14
1.3. ЛЕГЕНДЫ И ТИПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ	22
2. ПРИНЦИПЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ	27
2.1. ПРИНЦИПЫ КАРТИРОВАНИЯ	27
2.2. ОБЪЕКТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ	28
2.3. ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ И ДЕТАЛИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ, ИЗОБРАЖЕНИЯ ГРАНИЦ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ	30
2.4. МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ	35
2.4.1. Геологическая съемка	36
2.4.1.1. Виды геологической съемки	38
2.4.1.2. Условия проведения работ	39
2.4.1.3. Организация геолого-съёмочных работ	42
3. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ	54
3.1. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ	54
3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ ПРИ ЦИФРОВОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ	60
3.3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ЦИФРОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ	65
4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ	75
4.1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПОКРОВНЫХ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ	75
4.1.1. Стратиграфические основы картирования	75
4.1.2. Расчленение и корреляция разрезов	78
4.1.3. Геоисторические реконструкции	90

4.2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ СКЛАДЧАТЫХ И СКЛАДЧАТО-МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	100
4.2.1. Объекты картирования	100
4.2.2. Структурный анализ	110
4.3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .	121
4.3.1. Особенности четвертичной стратиграфии	123
4.3.2. Краткая характеристика фациальных особенностей и генетических типов четвертичных образований	130
4.3.3. Геоморфологические исследования	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	160
Предметный указатель	162
Библиографический список	164

ВВЕДЕНИЕ

Региональное геологическое картирование проводится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей фундаментальную основу системного геологического изучения территории страны и прогнозирования месторождений полезных ископаемых. Оно призвано обеспечивать геологическое обоснование и удовлетворение потребностей различных областей народного хозяйства при решении широкого круга вопросов в области геологоразведки, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, рационального природопользования, экологии.

Процесс составления геологических карт обычно называется геологическим картированием, причем в это понятие включаются как общие теоретические вопросы создания карт, так и вопросы методики, технологии и т.д. Поэтому понятие «картирование» целесообразно применять как термин свободного пользования, объединяющий все направления геологической картографии. Собственно процесс составления карты методом полевых маршрутных исследований называется геологической съемкой, а составление карты путем камерального обобщения материалов геологической съемки и других данных – геологическим картографированием.

Геологическое картирование представляет собой научно-методическую геологическую дисциплину, занимающуюся рассмотрением способов выявления и изображения геологического строения отдельных участков земной коры. Результаты региональных геологических исследований в виде различных карт геологического содержания образуют существенную часть научной информационной основы для выявления закономерностей формирования, размещения и прогнозирования месторождений полезных ископаемых, геологического обоснования долгосрочных и краткосрочных программ по оценке минерально-сырьевых ресурсов в различных регионах страны. Они также направлены на удовлетворение потребностей различных отраслей промышленности и сельского хозяйства в систематизированной геологической информации при решении широкого круга вопросов в области собственно геологоразведки, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, экологии и прогноза опасных, в том числе катастрофических, природных процессов и явлений.

В настоящее время государственное геологическое изучение территории России проводится в соответствии с подпрограммой «Минерально-сырьевые ресурсы» Федеральной целевой программы «Экология и природные ресурсы России (2002 - 2010 годы)». Программой предусмотрено создание комплектов Государственных геологических карт различных масштабов как фактологической

(первичной) и интерпретированной геологической информации о геологическом строении территории страны.

Стратегическим направлением развития геологической картографии является широкое внедрение геоинформационных (ГИС) технологий на всех этапах получения и обработки геологической информационной продукции. Последние должны обеспечить создание и ведение баз первичных и производных данных, анализ введенной геолого-картографической информации, прогноз геологической ситуации и полезных ископаемых, построение производных карт геологического содержания. Обязательными элементами информационного пакета являются электронные карты.

Современные состав и строение земной коры являются результатом огромного числа разнообразных геологических процессов, происходивших на Земле в течение длительного времени. В логической последовательности вопросов, задаваемых любым исследователем (Что? Как? Почему?) геоисторический анализ занимает ключевое место, так как обобщает ответы на первые два вопроса и отвечает на третий. Он опирается на материалы статической геологии, представляющей сведения об объектах и их свойствах (литология, петрография, структурная геология), динамической геологии, дающей информацию о процессах (общая геология, геотектоника), использует их, опираясь на принцип актуализма, и выдвигает соображения об эволюционном развитии.

Геоисторический анализ способствует формированию научного мировоззрения, так как располагает громадным материалом, подтверждающим материальность мира и эволюционный характер его развития. Он открывает законы и явления, которые служат основой диалектического материализма. Ф. Энгельс в "Диалектике природы" подчеркивал, что без геологии не может быть выработан целостный взгляд на неорганическую природу.

Основным источником информации об устройстве земной коры являются образцы горных пород, собранные геологами в полевых условиях, изученные и обработанные в лабораториях. Но эти отдельные образцы несут информацию прежде всего о материале их слагающем, то есть о веществе. К ним необходимо добавить наблюдения геологических тел, из которых взяты образцы: формы тел, их отношения друг к другу, положения тел в общей структуре земной коры, наконец, наблюдения особенностей горных пород, иллюстрирующих условия их образования (фациальные особенности). Комплекс перечисленных геологических наблюдений предоставляет исследователю тот историко-геологический материал, анализ которого позволит познать строение, последовательность и исто-

рию формирования и развития отдельных участков земной коры. В результате появляется геологическая карта.

Исторические сведения. История развития горного дела в России связана с именем М.В. Ломоносова. В своих известных работах «О слоях земных» и «Слово о рождении металлов от трясения Земли» в конце 50-х годов XVIII века он положил начало тектонике и структурной геологии.

Период с 1765 по 1775 гг. известен как время знаменитых академических экспедиций. Геологическими региональными работами была охвачена огромная территория страны. В результате работ составлялись пока еще несовершенные, но уже геологические карты. В 1774 г. в Санкт-Петербурге открыто Высшее горное училище – ныне Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).

С 1834 г. по инициативе Д.И. Соколова начаты систематические работы по геологической съемке горных округов. С 1835 г. регулярное поступление новых карт в штаб корпуса горных инженеров дало возможность в 1839 г. поставить вопрос о составлении общей геологической карты горных округов. Первый такой опыт осуществлен Г.П. Гельмерсеном, опубликовавшим «Генеральную карту горных формаций Европейской России». В 1846 г. А.Д. Озерский перевел с английского и французского классический геологический отчет Р.И. Мурчинсона и Э. Вернейля о геологическом строении Европейской России и Урала.

В 1882 г. в системе горного ведомства создан Геологический комитет – первое специализированное государственное геологическое учреждение России. Директором комитета был Г.П. Гельмерсен, которого в 1885 г. сменил А.П. Карпинский. Работа комитета началась с составления «Общей десятиверстной геологической карты Европейской России». Приступая к этой работе, А.П. Карпинский продумал разграфку листов, тексты, шрифты и условные обозначения. По поручению Геолкома С.Н. Никитиным была подготовлена инструкция, обязательная для исполнителей, в которой, в частности, указывалось: «Единство и целостность предприятия требуют точного соблюдения некоторых выработанных Комитетом условий, которые, суживая в известных пределах личный произвол исследователя, позволили бы видеть одну руководящую идею».

В работе по унификации геологической терминологии и условных обозначений к картам, начатой по инициативе Международного геологического конгресса, большое, если не решающее, значение имело участие русских, благодаря их опыту и авторитету. На второй сессии конгресса были приняты предложения русского комитета по системе стратиграфических подразделений, кото-

рые включали группу, систему, отдел (серию) и ярус. На конкурсе по выработке единой системы условных знаков прошли многие предложения А.П. Карпинского, принятые ныне во всем мире.

Эти вопросы с еще большей остротой встали перед геологической службой страны в начале 30-х годов XX века, когда значительно возрос объем региональных геологических исследований. Именно тогда были определены ныне принятые масштабы сводных геологических карт, необходимость краткой объяснительной записки к карте и ее содержание, выпущена инструкция «Методы и организация комплексной геологической съемки».

В 1955 г. был создан Межведомственный стратиграфический комитет (МСК), возглавивший работу по созданию корреляционных стратиграфических схем крупных регионов страны и их периодическому обновлению, разработке вопросов стратиграфической классификации и номенклатуры, завершившуюся изданием «Стратиграфического кодекса СССР» (1977, 1991 гг.). С функциями, близкими МСК, создан Петрографический комитет, координирующий работу по созданию схем возрастной корреляции магматических комплексов на территории страны.

Становление и развитие геологической картографии на всех этапах ее истории зависело от квалификации авторов карт-первоисточников и составителей и редакторов сводных и обзорных карт. Выдающиеся результаты деятельности Геологического комитета, несмотря на малочисленность его сотрудников, определялись тем, что в его состав избирались ведущие геологи России. Руководители и исполнители картосоставительских работ должны владеть арсеналом геологической науки в целом и достижениями региональной геологии, объективно оценивать степень достоверности геологических построений. Эти черты в полной мере характеризовали Г.П. Гельмерсена, А.П. Карпинского, Ф.Н. Чернышова, Л.Н. Лутугина, Д.В. Наливкина, свыше полувека руководившего составлением обзорных геологических карт СССР. Деятельность этих ученых, а также крупнейших знатоков геологии регионов СССР Л.И. Боровикова, В.Н. Верещагина, И.И. Горского, Л.И. Красного, Ф.Г. Маркова, К.Н. Паффенгольца, Л.И. Салопа, Т.Н. Спижарского, П.К. Чихачева, их коллег и преемников способствовала тому, что в отечественной геологической картографии не было «застойного периода». К работе геолога-картографа полностью приложимы слова В.А. Обручева о том, что это и искусство, и наука, и производство.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ

Карта является моделью пространственных данных, состоящей из различных картографических элементов. Карты строятся в различных координатных системах, на базе различных проекций с использованием методов упрощения и генерализации.

Карты существуют тысячи лет. Традиционный взгляд на картографию подразумевал, что карта является конечным продуктом, информирующим пользователя о пространственном распределении информации через использование различных наборов символов, классификацию и т.д. Этот традиционный взгляд на картографию ограничивает пользователя тем, что ему недоступна исходная, не классифицированная информация. Имея только конечный продукт, пользователь не может перегруппировать данные в соответствии с изменившимися целями исследования. Все более широкое использование компьютерных геоинформационных технологий для картографических целей обеспечило пользователю доступ к исходным данным для последующей переклассификации. Тем самым сложился новый взгляд на карты, создаваемые с применением компьютерной техники: карта должна как сообщать информацию, так и позволять анализировать ее. Главной функцией картографических материалов стал анализ, а не просто просмотр пространственных распределений.

В отличие от реального мира картографическое цифровое пространство заполнено картографическими символами, представляющими отдельные части земной поверхности (картографические объекты). Их численное представление может быть получено непосредственно наземными инструментами, спутниками, создано людьми, проводящими непосредственные наблюдения, или извлечено из документов и карт предшественников.

Пространственные объекты реального мира можно разделить на легко идентифицируемые четыре типа: точки, линии, области и поверхности. Точечные объекты – это такие объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства. На геологических картах это места отбора проб, точки наблюдения, обнажения, буровые скважины, вершины гор и многие другие. В целях моделирования считают, что у таких объектов нет пространственной протяженности, длины или ширины, но каждый из них может быть обозначен координатами своего местоположения. Точки имеют нулевое количество пространственных измерений.

Линейные объекты в отличие от точечных имеют одно пространственное измерение – длину. На геологических картах это, прежде всего, границы геоло-

гических тел, дороги, реки, линии опорных разрезов, стратотипы и др. Поскольку они не занимают единственное местоположение в пространстве, для их идентификации необходимо знать, по меньшей мере, две точки – начальную и конечную. Чем сложнее линия, тем больше точек потребуется для указания точного ее расположения. Опираясь не геометрию, возможно также определение формы и ориентации линейных объектов.

Объекты, имеющие длину и ширину, называются областями или площадными объектами. На геологических картах это в первую очередь геологические тела, водоемы, населенные пункты. При определении формы и местоположения двумерного объекта в пространстве обнаруживается, что его граница является линией, которая начинается и кончается в одной и той же точке. Такая линия называется полигоном.

Добавление к площадным объектам нового измерения (высоты) позволяет фиксировать поверхности. На геологических картах поверхностью является рельеф. Поверхностями выражаются мощности (толщины) геологических тел, геофизические и геохимические поля и т.д. Фактически поверхности непрерывны. Но в моделируемом пространстве они состоят из множества точек с определенными значениями.

Необходимо помнить, что в отличие от реального мира картограф работает с графическими и цифровыми моделями, где каждому объекту соответствует определенный картографический символ. В рамках карты объекты реального мира явно представляются тремя типами и соответствующими им символами. Это точки, линии и области. Поверхности представляются чаще всего изолиниями.

1.1. МАСШТАБЫ КАРТ И ИХ ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ ОСНОВА

Выбор того или иного картографического символа для отображения реальных объектов зависит от масштаба исследования. Любая карта упрощает действительность. Степень упрощения определяет уровень детализации.

Масштаб – термин, используемый для обозначения степени уменьшения на картах. Масштаб выражается отношением длины некоторого отрезка на карте к длине того же отрезка на земной поверхности. Существуют разные способы выражения масштаба. *Вербальный* масштаб сообщает пользователю словами сколько единиц длины на местности соответствуют одному сантиметру карты. *Численный* масштаб выражает отношение единиц длины на карте и на местности в виде дроби, устраняя тем самым необходимость упоминать единицы измере-

ния. *Линейный* масштаб показывает действительные расстояния на земной поверхности прямо на карте (рис. 1).

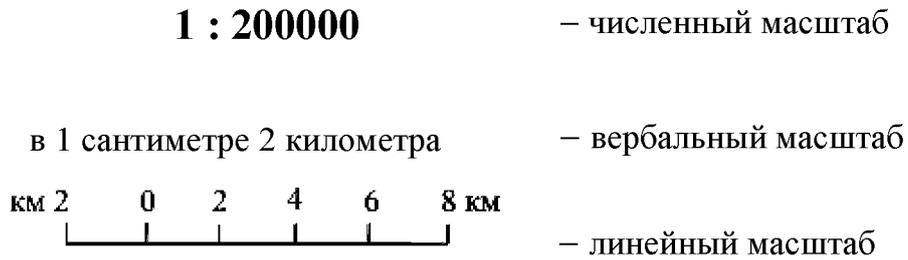


Рис. 1. Способы выражения масштаба карты

Очевидным преимуществом цифровой картографии является мгновенное изменение масштаба изображения. Однако способность программного обеспечения как угодно преобразовывать масштаб «картинки» может привести к серьезным ошибкам. Необходимо четко отличать масштаб входных данных, который, собственно, и определяет масштаб карты, от масштаба отображения результатов. Отсюда следует простое практическое правило: всегда лучше уменьшить масштаб изображения по сравнению с масштабом данных, чем, наоборот увеличить, так как любое увеличение масштаба изображения влечет за собой гораздо большее увеличение ошибок карты. Достоверность карты существенно зависит от качества данных, вводимых в систему. Эта надежность, в свою очередь, находится в прямой зависимости от плотности наблюдений. Плотность наблюдений должна обеспечивать достаточную дробность расчленения пространства и обоснованность (достоверность) показанных на карте геологических границ.

Геологические карты тиражируются на топографической основе того же масштаба. Топографическая основа геологической карты включает рельеф, основные элементы гидрографии, все значимые населенные пункты и пути сообщения, географическую и километровую сетку. Рельеф изображается при помощи горизонталей, проведенных через равные интервалы высот. Величину высотных интервалов выбирают в зависимости от масштаба карты и от рельефа местности. Например, на карте масштаба 1:200000 основное сечение рельефа устанавливается равным 40 м, а в горных районах – 80 м. При масштабе 1:50000 сечение горизонталей уменьшают до 10 и 25 м соответственно. Важно сразу же понять, что топографическая основа карты является не плоскостью, а рельефной поверхностью сложной конфигурации, во многом отражающей особенности геологического строения территории.

В зависимости от масштаба собственно геологические карты делятся на пять видов: обзорные, мелкомасштабные, среднемасштабные, крупномасштабные и детальные.

Обзорные карты имеют масштаб от **1 : 1 000 000** и мельче. На них на упрощенной контурной топографической основе изображаются общие черты геологического строения отдельных регионов, государств, континентов или всего земного шара. Карты составляются путем обобщения более крупномасштабных карт с привлечением материалов дистанционных и геофизических исследований.

Мелкомасштабные карты (масштаб **1 : 1 000 000** и **1:500 000**) дают представление о геологическом строении и закономерностях распространения полезных ископаемых обширных территорий или отдельных государств. Топографическая основа мелкомасштабных карт сильно упрощена. На ней сохраняются основные реки, крупные населенные пункты, очертания водоемов. Карты масштаба 1:1000000 издаются полистно в рамках топографических планшетов международной разграфки с объяснительной запиской к каждому из листов.

Среднемасштабные карты имеют масштаб **1 : 200 000** — **1:100 000** и составляются в рамках листов международной номенклатуры. Они передают основные черты геологического строения изображаемой территории, а также всего комплекса месторождений полезных ископаемых и дают их прогнозную оценку. В качестве топографической основы среднемасштабных геологических карт применяются карты, на которых может быть разрежена сеть горизонталей, сняты второстепенные пути сообщения, населенные пункты, изображения древесной растительности, пашен и т.д. Листы геологической карты масштаба 1:200000 сопровождаются стратиграфической колонкой, разрезами и объяснительной запиской.

Крупномасштабные карты масштаба **1 : 50 000** — **1 : 25 000** также составляются полистно, на точных топографических основах. Они предназначены для подробного изображения геологического строения районов, перспективы которых в отношении выявления месторождений полезных ископаемых определены, а также для районов сельскохозяйственного освоения, строительства городов, предприятий, гидростанций. Крупномасштабные карты должны не только осветить геологическое строение земной поверхности, но и дать возможность составить ясное представление о глубинном строении территории. Геологические карты масштаба 1:50000 сопровождаются стратиграфической колонкой и разрезами. Для группы смежных листов со сходными чертами строения составляется одна общая объяснительная записка.

Детальные геологические карты имеют масштаб **1 : 25000** и крупнее и составляются на специальных топографических основах. Этот вид геологических карт подробно отражает геологию районов или участков, на которых находятся месторождения полезных ископаемых или возводятся гидротехнические, промышленные и гражданские сооружения; позволяет решать вопросы, связанные с закономерностями размещения рудных тел, подсчетом запасов полезных ископаемых и возможностями промышленного и гражданского строительства.

В настоящее время комплексное геологическое картографирование территории России осуществляется на четырех масштабных уровнях:

✓ Создание сводных и обзорных карт масштаба 1:10000000 – 1:1500000 для получения обобщенной геологической информации, проведения межрегиональных сопоставлений и глобальных геологических построений.

✓ Создание комплектов карт геологического содержания масштаба 1:1000000 (Госгеолкарта-1000), обеспечивающих получение фундаментальной информации о геологическом строении и минерагеническом потенциале суши и шельфа России, динамике геологических процессов. Госгеолкарта-1000 служит основой для решения стратегических вопросов изучения и рационального использования недр.

✓ Создание комплектов карт геологического содержания масштаба 1:200000 (Госгеолкарта-200) как основного источника информации для обоснования и решения федеральных и региональных проблем развития минерально-сырьевой базы, недропользования, экологии и рациональной хозяйственной деятельности. Создание Госгеолкарты-200 является приоритетной задачей геологической службы России.

✓ Создание карт геологического содержания масштаба 1:50000 направлено на получение информации, обеспечивающей выявление месторождений полезных ископаемых, проведение поисково-разведочных работ.

Геологическое картографирование масштаба 1:200 000 и мельче имеет федеральное значение. Работам масштаба 1:50000 придан региональный статус. Особенностью государственного геологического картирования является то, что все карты выполняются по жестким нормативно-методическим требованиям, которые сформулированы в Инструкциях и Положениях по проведению работ по составлению Госгеолкарты-1000 и Госгеолкарты-200.

В настоящее время Госгеолкарта-200 стала базовой геолого-картографической основой рационального природопользования и прогнозирования минеральных ресурсов. При этом лист Госгеолкарты-200 превратился в основную единицу Государственного банка цифровой геологической информации

(ГБЦГИ) по региональной геологии, а геологическая съемка соответствующего масштаба стала структурообразующим видом региональных геологических работ и одновременно школой подготовки кадров геологов широкого профиля.

1.2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Земля в первом приближении – сферический объект с большими или меньшими отклонениями от этой формы. Для определения местоположения какой-либо точки на этой сфере используется *сферическая система координат*, имеющая два набора воображаемых линий: параллели (альмукуантараты) и меридианы (вертикалы). Полнос сферической системы может занимать произвольное положение на сфере. При широте полюса равной 90^0 сферическая система называется полярной (прямой) и совпадает с географической. При широте полюса равной 0^0 сферическая система называется экваториальной (поперечной), а при положении полюса на широте между 0^0 и 90^0 – наклонной (косой). Параллели позволяют измерять угловое расстояние от экватора до полюсов (от 0 до 90^0 северной и южной широты), а меридианы – от начального меридиана (0^0) до 180^0 восточной и западной долготы, где проходит международная линия смены даты.

Важнейшими частями географической системы координат являются *сфероид* и *датум*. Сфероид определяет форму и размер поверхности географической системы координат и вычисляется математически на основе многочисленных наземных геодезических или спутниковых измерений. Существует много сфероидов, описывающих форму Земли. Как правило, сфероид выбирается для одной страны или определенной территории. В России используется сфероид Красовского, вычисленный в 1940 г. В то время как сфероид аппроксимирует форму, датум определяет положение сфероида относительно центра Земли. Горизонтальный датум определяет начало отсчета и направление линий широты и долготы. Локальный датум перемещает сфероид таким образом, чтобы он был наиболее близок к земной поверхности в данной области. Начальная точка датума на поверхности сфероида поставлена в соответствие определенной точке на поверхности Земли. Все остальные точки являются расчетными по отношению к этой. У нас принят локальный датум «Пулково, 1942». За последние годы данные спутниковой съемки дали новую информацию для определения сфероида, связывающего координаты с центром масс Земли. Этот геоцентрический датум в отличие от локального не имеет точки отсчета. По смыслу началом отсчета здесь является центр масс Земли. Недавно разработанный и широко используемый датум – это Всемирная геодезическая система 1984 г. (WGS84). Она используется в качестве основы для локальных измерений во всем мире.

применяют различные математические модели поверхности, задающие различные *картографические проекции*.

В буквальном смысле процесс создания проекции представляется как помещение источника света внутри прозрачного глобуса, на котором размещены непрозрачные объекты, и проецирование их контуров на двумерную поверхность, окружающую глобус. Возможны разные виды проецирования: на плоский лист бумаги, при окружении глобуса цилиндром или конусом. Соответственно существуют семейства планарных (плоских), цилиндрических и конических проекций, на которых координатные линии сферической системы изображаются различными способами (рис. 3).

Азимутальные проекции используются чаще всего для составления карт полушарий. В азимутальных полярных проекциях параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы – прямыми линиями, выходящими из их центра.

В прямых цилиндрических проекциях параллели изображаются параллельными прямыми, а меридианы – равноотстоящими прямыми, перпендикулярными параллелям. Псевдоцилиндрическими называются проекции, в которых параллели изображаются параллельными прямыми, а меридианы – кривыми, симметричными относительно среднего прямолинейного меридиана.

В прямых конических проекциях параллели изображаются дугами концентрических окружностей, а меридианы – их радиусами. В псевдоконических проекциях параллели изображаются концентрическими окружностями, а меридианы – кривыми, симметричными относительно среднего прямолинейного меридиана.

В поликонических проекциях параллели изображаются разноцентренными окружностями, а меридианы – кривыми, симметричными относительно среднего прямолинейного меридиана.

Поверхность сферы не может быть развернута на плоскость без растяжений и разрывов, поэтому любое изображение на плоскости имеет искажения. В общем случае искажаются длины линий, углы и площади фигур, но не обязательно все одновременно. Величина и характер искажений определяются масштабом длин и масштабом площадей. *Масштаб длин* – отношение длины бесконечно малого отрезка на карте к длине соответствующего отрезка на сфере. Этот масштаб является функцией положения точки и в общем случае изменяется в окрестности этой точки в зависимости от направления. *Масштаб площадей* – отношение элементарной площадки на плоскости к соответствующей элементарной площадке на сфере. Этот масштаб не зависит от направления.

По характеру искажений различают проекции равноугольные, равновеликие, равнопромежуточные и произвольные. В *равноугольных проекциях* углы на карте равны соответствующим углам на поверхности сферы, а масштаб в точке одинаков для любого направления. Картографическая сетка в этих проекциях ортогональна. На них удобно производить измерение длин по всем направлениям.

Равновеликие проекции передают площади без искажений.

В *равнопромежуточных проекциях* без искажения масштаба длин изображаются либо альмукантараты, либо вертикалы. В *произвольных проекциях* имеются искажения всех видов.

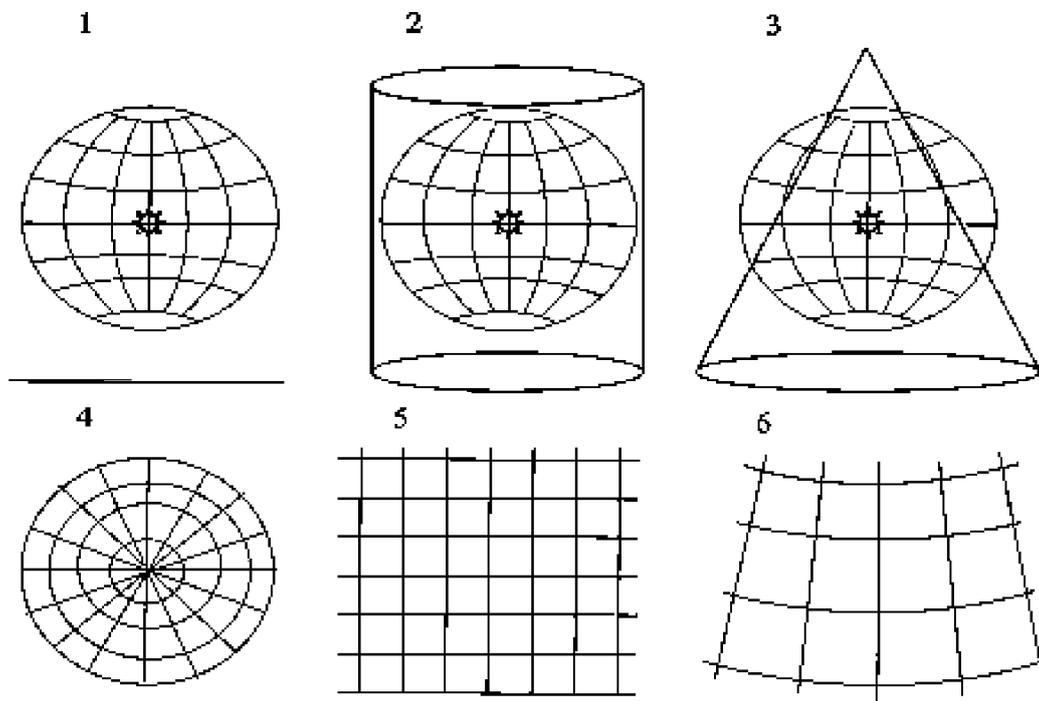


Рис. 3. Семейства картографических проекций:

- 1 – планарные проекции; 2 – цилиндрические проекции; 3 – конические проекции; 4 – азимутальная прямая проекция; 5 – прямая цилиндрическая проекция; 6 – прямая коническая проекция

Каждая картографическая проекция имеет набор *параметров*, которые задаются заранее. Параметры устанавливают начало координат. Угловые параметры используют единицы измерения географической системы координат, в то время как линейные параметры используют единицы измерения системы координат проекции. К линейным параметрам относятся: единицы измерения, сдвиг по оси x , сдвиг по оси y , коэффициент масштаба. Сдвиги по осям используются для придания всем координатам положительных значений. Важным параметром

проекция является линия (точка) касания или линии сечения. Независимо от того, является ли контакт проекции со сфероидом касательным или секущим, его место очень значимо, так как определяет точку или линии нулевого искажения. Коэффициент масштаба – безразмерная величина, применяемая для центральной точки или центральной линии проекции. Использование коэффициента масштаба уменьшает общие искажения проекции для области эффективного использования (интереса).

Искажения на топографических картах должны быть настолько малы, чтобы все расчеты, проводимые по ним, не требовали введения соответствующих поправок на проекцию. Это приводит к необходимости делить большую территорию на малые участки, которые изображаются отдельно в одной и той же проекции. Проекция, применяемые таким образом, называются «многогранными».

Применение проекции как многогранной определяет необходимость введения понятий разграфки и номенклатуры. *Разграфкой* называется разделение карт на листы, а номенклатурой – система обозначения отдельных листов. Каждый лист карты представляет собой часть территории, сферическая поверхность которой отражается в виде некоей криволинейной трапеции.

В основу разграфки топографических карт положен лист карты масштаба 1 : 1 000 000. Для составления карты такого масштаба изображение земной поверхности разбивается на 60 колонн через 6°. Колонны нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60 на восток от 180°. Возможна нумерация от нулевого меридиана. В этом случае колонны называют зонами. Нумерация зон от колонн отличается на 30 единиц. Например, колонна с номером 40 соответствует зоне с номером 10. Таким образом колонны и зоны делят земной шар по меридианам. Параллелями через 4° по широте изображение земной поверхности делится на ряды, обозначаемые буквами латинского алфавита к северу и югу от экватора. На широте от 60° до 76° листы сдваивают по параллелям, а выше 76° – четверяют. *Номенклатура* каждого листа включает букву ряда и номер колонны. Так, лист, на котором показывается г. Москва, имеет номенклатуру N-37, что соответствует 52 – 56° широты и 36 – 42° долготы.

Листы карты масштаба 1:500000 образуются при разделении миллионного листа на 4 части. Листы карты масштаба 1:200000 образуются при разделении миллионного листа на 36 частей, а листы карт масштаба 1:100000 – на 144 части. Номенклатура листов перечисленных масштабов приведена на рис. 4.

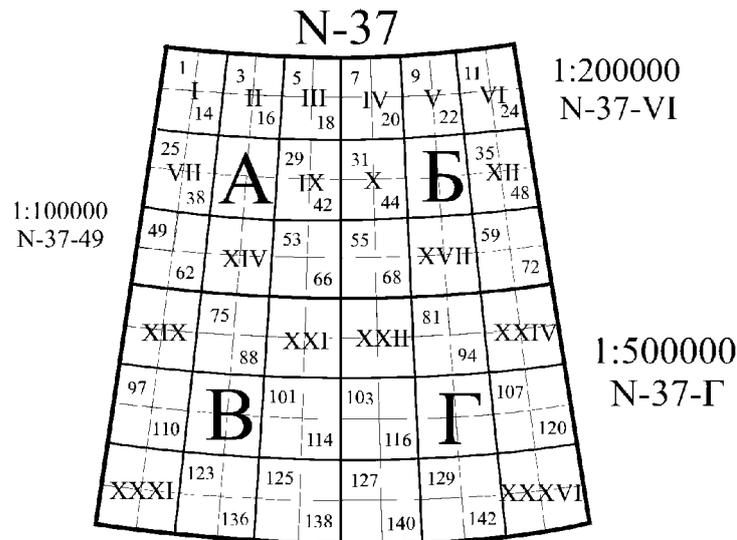


Рис. 4. Расположение и порядок нумерации листов карт некоторых масштабов в пределах листа карты масштаба 1:1000000

Листы карты масштаба 1:50000 получают при разделении листа масштаба 1:100000 на 4 части. Листы карты масштаба 1:25000 получают при разделении листа карты масштаба 1:50000 также на 4 части и т.д. Номенклатура листов крупных масштабов приведена на рис. 5.

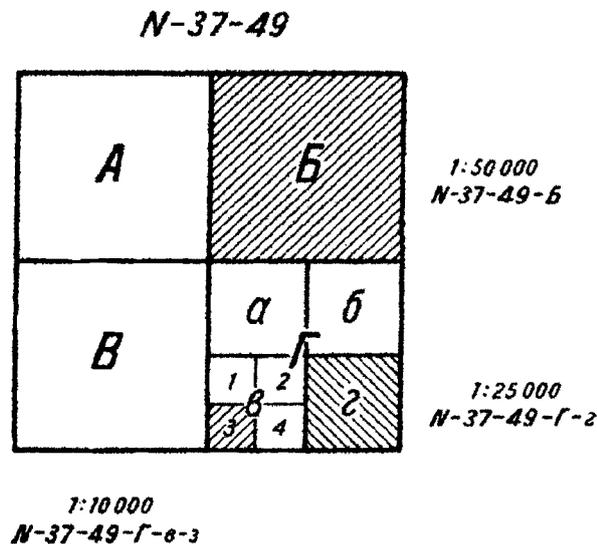


Рис. 5. Расположение и порядок нумерации листов карт некоторых масштабов в пределах листа карты масштаба 1:100000

Для изображения топографических карт масштаба 1:1000000 применяется международная видоизмененная простая поликоническая проекция. Трапеция листа карты, выполненного в данной проекции, характеризуется тем, что

меридианы изображаются прямыми линиями, а параллели – дугами окружностей, центры которых находятся на среднем меридиане, причем длина их не искажается. Картографическая сетка строится через 1° по широте и по долготе, на сдвоенных листах – по долготе через 2° , на четверенных – через 4° . Таким образом, все листы карты масштаба 1:1 000000 имеют пять параллелей и семь меридианов.

На каждом листе имеются четыре точки, в которых отсутствуют искажения всех видов; эти точки находятся на пересечении крайних параллелей листа с меридианами, удаленными от среднего на 2° к западу и востоку.

Достоинством видоизмененной простой поликонической проекции является небольшая величина искажений. В пределах листа карты искажения длин не превышают 0,10 %, площади – 0,15 %, углов – $5'$ и являются практически неощутимыми. Недостаток этой проекции – появление разрывов при соединении листов по меридианам и параллелям.

Универсальная поперечная цилиндрическая проекция Меркатора (UTM) используется в большинстве работ с дистанционным зондированием, подготовке топографических карт, построении баз данных природных ресурсов. В ней основной единицей длины является метр.

UTM делит земную поверхность на 60 пронумерованных вертикальных колонн шириной по шесть градусов долготы, каждая из которых проходит от 80-го градуса южной широты до 84-го градуса северной широты. Земная поверхность делится также на ряды по 8 градусов широты каждый, за исключением самого северного, который составляет 12 градусов, позволяя тем самым покрыть всю сушу северного полушария.

Для каждой из 60 колонн по долготе применяется отдельная реализация проекции с целью уменьшения искажений. Чтобы все координаты были положительными, в UTM есть два начала ординат: одно на экваторе (для северного полушария), другое – на 80-й параллели южной широты (используется для южного полушария). Начало координат помещается в центре каждой колонны, на пересечении осевого меридиана с экватором, но нулевое значение по абсциссе смещено на 500000 м к западу. Масштабный коэффициент на центральном меридиане равен 0,99960 и не изменяется в направлении юг – север. Однако он меняется в направлении запад – восток, но даже на самом краю шестиградусной зоны он практически тот же – 1,0015. Эта почти полная эквивалентность иллюстрирует малость искажений, свойственную UTM, которая обеспечивает точность, приближающуюся к одному метру отклонения на каждые 2500 м расстояния.

В России для изображения карт масштаба 1:500000 и крупнее применяется *равноугольная проекция Гаусса-Крюгера* (рис.6). В проекции Гаусса-Крюгера поверхность эллипсоида на плоскости отображается по меридианным зонам, ширина которых равна 6° (для карт масштабов 1:5 00 000 – 1:10 000) и 3° (для карт масштабов 1:5 000 – 1:2 000), рис. 6,а.

Меридианы изображаются кривыми, симметричными относительно осевого меридиана зоны, однако их кривизна настолько мала, что западная и восточная рамки карты показаны прямыми линиями.

Параллели, совпадающие с северной и южной рамками карт, изображаются прямыми на картах крупных масштабов (1:2 000 – 1:50 000), на картах более мелких масштабов – кривыми. Начало прямоугольных координат каждой зоны находится в точке пересечения осевого меридиана зоны с экватором. Единицей длины в данной проекции является метр.

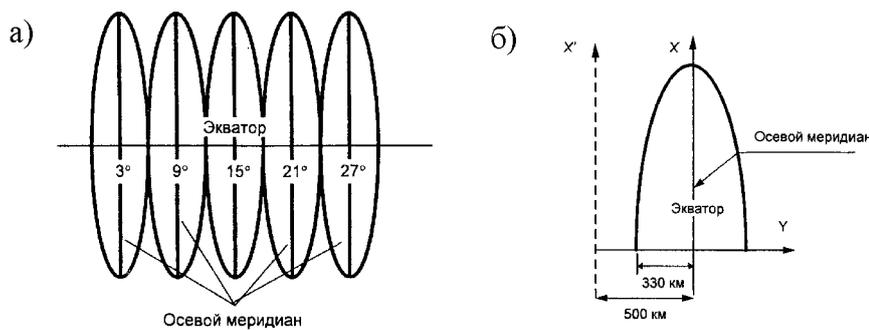


Рис. 6. Проекция Гаусса-Крюгера:
а – общий вид; б – система координат зоны

В России для проекции Гаусса-Крюгера принята нумерация зон, отличающаяся от нумерации колонн карты масштаба 1 : 1000000 на тридцать единиц, т. е. крайняя западная зона с долготой осевого меридиана $L=21^\circ$ имеет номер 4, к востоку номера зон возрастают. Номер зоны N и долгота осевого меридиана L° в градусах связаны между собой равенством $L^\circ = 6N - 3$. Кроме того, в качестве единицы длины часто используют километр.

Территория России находится в северном полушарии, поэтому координаты X всех точек имеют положительное значение. Координаты Y имеют отрицательные значения левее осевого меридиана и положительные правее его. Чтобы исключить из обращения отрицательные координаты и облегчить пользование прямоугольными координатами на топографических картах, ко всем координатам Y добавляют постоянное число 500 км (рис. 6,б). Для указания зоны, к которой относятся координаты, к значению Y слева приписывают номер зоны.

Например, запись координаты $Y = 30\ 786, 543$ означает, что точка находится в 30-й зоне, ее реальная координата равна $786, 543 - 500, 000 = 286, 543$ км, т.е. она расположена правее осевого меридиана 30-й зоны. Запись координаты $Y = 8\ 397, 720$ означает, что точка находится в 8-й зоне, ее реальная координата равна $397, 720 - 500, 000 = -102, 280$ км, она расположена левее осевого меридиана 8-й зоны.

По характеру искажений проекция Гаусса-Крюгера близка по своим свойствам и распределению к проекции UTM, но на осевом меридиане каждой зоны масштабный коэффициент равен не 0,9996, а единице.

1.3. ЛЕГЕНДЫ И ТИПЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ

Карты как модели реальности показывают как положение изучаемых объектов в пространстве и их форму, так и их качественные и количественные характеристики. Эти характеристики связаны с картографическими объектами в виде *атрибутов* и отражаются различными картографическими символами. Символы, в свою очередь, должны иметь ключ к их пониманию, называемый легендой карты. *Легенда* фактически соединяет картографические объекты с их атрибутами, после чего каждый из них может быть воспринят в качестве реального картографируемого объекта со всеми его характеристиками. Умелое использование изобразительных средств путем их различных сочетаний позволяет отразить на одной карте многоплановую информацию.

В настоящее время при составлении и издании карт используются следующие средства картографического изображения: цветовой фон, цветные и черные штриховки, цветные и черные линейные масштабные знаки, немасштабные знаки различного рисунка и цвета и буквенно-цифровые надписи.

Цветовой фон является наиболее выразительным средством картографического изображения и должен использоваться для отражения важнейших особенностей картографируемого объекта.

Следующим по восприятию изобразительным средством являются цветные и черные *штриховки*, заполняющие контуры, и *немасштабные знаки*, формирующие крап. Они или могут накладываться на цветной фон, или использоваться самостоятельно. Иногда с использованием крапа и штриховки составляются карты в черно-белом изображении.

Третьим «слоем» условных знаков являются *линейные обозначения*. Линиями различного рисунка и цвета показываются границы областей и отдельные линейные объекты. Последний «слой» условных обозначений формируют бук-

венно-цифровые надписи и отдельно стоящие внемасштабные знаки: элементы залегания, пункты определения возраста, опорные обнажения и горные выработки и т.п.

Строгое разграничение изобразительных средств для отображения качественных характеристик объекта и их унификация – важнейшее правило геологической картографии, нарушение которого приводит к созданию трудночитаемых и просто непонятных карт.

Геологические карты бывают различного содержания и назначения. Различают собственно геологические карты, карты четвертичных образований, геоморфологические, гидрогеологические, структурно-тектонические, литолого-фациальные карты, карты полезных ископаемых и прогнозов по отдельным видам минерального сырья и другие.

Собственно геологические карты являются основной разновидностью геологических карт и отражают основные особенности геологического строения местности. На этих картах показывается распространение коренных пород в том виде, в каком они прослеживаются под покровом маломощных четвертичных отложений. Это площадные, линейные и точечные (знаковые) обозначения геологических объектов и элементы, отражающие стратиграфические и нестратиграфические подразделения, их состав, возраст, структуры и взаимоотношения, а также знаки разного содержания, дополняющие и уточняющие геологическую карту в целом. Четвертичные отложения сохраняются на геологических картах в том случае, если они имеют большую мощность и занимают большую площадь, а также не позволяют установить состав и строение коренных пород под ними с необходимой надежностью и детальностью. На основании этих карт осуществляются прогнозные исследования, поисковые и разведочные работы на большинство видов полезных ископаемых.

Четвертичные (неоген-четвертичные в случае их тесной структурной связи) образования изображаются на картах *четвертичных образований*. Это площадные объекты, разделенные по генетической принадлежности, возрасту и составу. На основании этих карт планируют поисковые и разведочные работы на некоторые виды минерального сырья, проводят гидрогеологические, инженерно-геологические, экологические и другие исследования.

На *геоморфологических картах* изображаются основные типы рельефа и его отдельные элементы с учетом их происхождения и возраста. Геоморфологические карты широко используются при изучении динамики современных экзогенных процессов, при инженерно-геологических изысканиях.

Гидрогеологические карты отражают распределение подземных вод, их динамику, запасы, качественную характеристику. Они широко используются при планировании водоснабжения, гидротехническом строительстве.

Структурно-тектонические карты иллюстрируют геологическое строение местности путем отображения формы залегания, возраста и условий образования структурных категорий земной коры (структурно-вещественных комплексов) в комбинации с отображением поверхностей опорных горизонтов в виде стратоизогипс. Структурные карты широко используются при проведении геофизических, гидрогеологических работ, поисковых и разведочных работ на нефть и газ и др.

Литолого-фациальные карты отражают распространение пород, различающихся составом и условиями образования. Они отражают особенности геологического строения местности, для которой определение возраста пород затруднительно, а также совместно с структурно-тектоническими картами используются для историко-геологических реконструкций.

Карты полезных ископаемых и закономерностей их размещения отображают особенности распределения полезных ископаемых на определенных территориях, их запасов и качества в соответствии с рудоконтролирующими факторами. Это результат минерагенического анализа всех геологических данных по изученной территории и основа для дальнейшего развития поисковых и разведочных работ.

В зависимости от содержания карт используются разные наборы условных знаков. Линиями различных типов обозначаются геологические границы и линейные объекты: разрывные нарушения, другие структурные элементы, маркирующие горизонты, не выражающиеся в масштабе карты дайки и жильные тела.

Буквенные и цифровые обозначения (индексы) служат для указания возраста и происхождения геологических тел, состава интрузивных и некоторых вулканогенных пород.

Цветовой фон на собственно геологических картах используется для обозначения возраста осадочных, вулканогенных и метаморфических пород. Эффузивные и метаморфические стратифицированные породы красятся так же, как и осадочные, но с обязательным изображением на карте черного крапа, соответствующего их составу.

При изображении интрузивных пород цвет применяется для указания только их состава, кроме того, состав обозначается дополнительными штриховыми знаками.

На картах четвертичных образований цветовой фон отражает генетический тип отложений, а возраст внутри генетических типов указывается оттенками цвета. Интенсивность окраски уменьшается вверх по стратиграфическому разрезу. Вещественный состав четвертичных образований показывается крапом черного цвета, при этом основой изображения являются опорные знаки, а вариации состава отражаются их комбинациями.

На тектонических картах старого поколения цветом традиционно отражается возраст складчатости. На картах нового поколения цветовой фон рекомендуется использовать для отражения геодинамической обстановки формирования структурно-вещественных и плутонических комплексов, а их возраст указывать оттенками цвета. Формационная принадлежность объектов картирования показывается крапом черного цвета.

Все условные обозначения, употребляемые на конкретной геологической карте, выносятся с соответствующими пояснениями в таблицу условных обозначений. Таблица состоит из нескольких блоков и строится сверху вниз в следующей последовательности. В первом блоке указываются стратиграфические подразделения, начиная от молодых. Правее на соответствующем возрастном уровне располагаются обозначения интрузивных и жильных пород. Слева приводится соответствующая часть общей стратиграфической шкалы. Пояснительный текст к каждому условному знаку содержит название и таксономический ранг подразделения, сведения о вещественном составе и мощности. Далее следует блок знаков вещественного состава и контактовых изменений. В конце легенды размещаются блоки линейных и прочих немасштабных знаков.

Такая структура построения легенды называется линейной. Несмотря на все ее «исторические заслуги» и простоту, очевидны ее недостатки: эта структура легенды не позволяет отразить многоэтапную историю геологического развития, наглядно показать эпохи структурных перестроек, не отражает латеральную изменчивость и неоднородность разновозрастных образований. В конце 70-х годов при построении легенд стал использоваться зональный принцип. Зональная структура легенды отличается тем, что в пределах регионов выделяются структурно-формационные зоны, для каждой из которых приводится своя легенда, являющаяся частью общей. Специальными знаками обозначаются структурные и стратиграфические взаимоотношения геологических подразделений. Над группами зональных условных знаков приводятся географические названия зон, а на свободных местах помещаются схемы структурно-формационного районирования указанных интервалов времени. Такие легенды полнее раскрывают содержание геологических карт, позволяют видеть каждое выделенное подразделение

в логической и смысловой взаимосвязи с другими объектами, делают наглядной корреляцию геологических образований различных зон, смену осадочных и магматических тел во времени и в пространстве.

Особенности построения легенд конкретных карт обычно регламентируются методическими указаниями и другими инструктивными документами.

Вопросы для самоконтроля

1. *Перечислите пространственные объекты и соответствующие им картографические символы.*
2. *Каково воздействие масштаба на представление пространственных объектов в виде картографических символов?*
3. *Что называется масштабом карты и какие способы выражения масштаба существуют?*
4. *Каким параметром определяется масштаб данных и чем он отличается от масштаба изображения?*
5. *Перечислите виды карт и соответствующие им масштабы. Укажите особенности карт различных видов.*
6. *Зачем нужна географическая система координат? Назовите ее составные части.*
7. *Классифицируйте картографические проекции по видам проецирования и типам искажений.*
8. *Укажите сходства и отличия проекции Меркатора и проекции Гаусса-Крюгера.*
9. *Перечислите основные средства картографического изображения и укажите, как они используются на картах разного содержания.*
10. *Укажите достоинства и недостатки линейной и зональной легенд геологических карт.*

2. ПРИНЦИПЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

2.1. ПРИНЦИПЫ КАРТИРОВАНИЯ

Как известно, составители первых геологических карт руководствовались прежде всего вещественным принципом: выделяли геологические тела в зависимости от особенностей их состава. В дальнейшем, когда геологи стали обращать внимание на условия залегания горных пород, вещественный принцип был дополнен структурным. В конце XVIII века в связи с открытием палеонтологической специализации слоев осадочных пород и последующим развитием биостратиграфии геологи-съемщики стали руководствоваться еще одним принципом – историческим, сохранившимся в качестве основного рабочего принципа до наших дней. Как видим, система руководящих принципов в геологической картографии во все времена отражала уровень достигнутого понимания особенностей строения и условий образования поверхности планеты.

Новое мобилистическое понимание природы геологических процессов породило новые принципы составления и прочтения геологических карт. Геологическая карта предстает теперь перед геологом как тектонический коллаж – результат аккреции разнотипных блоков, формировавшихся в разное время, в различных обстановках и на большом расстоянии друг от друга. Нередко высказываются возражения о несоразмерности объектов, которыми оперирует тектоника литосферных плит, с теми, что выделяются и изучаются в процессе крупно- и среднемасштабной геологической съемки. Но в процессе геологического картирования наблюдаются не плиты и даже не микроплиты, а овеществленные следствия их взаимодействия, то есть структурно-вещественные комплексы, которые формируются на границах плит. А размеры этих комплексов на несколько порядков меньше размеров породивших их объектов.

Принятие новой мобилистической концепции вносит коррективы в методику геологических исследований и способы оформления конечных результатов. В то же время новые подходы опираются на традиционные классические методы историко-геологических реконструкций, без применения которых не составляется ни одна геологическая карта.

2.2. ОБЪЕКТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

В соответствии с доминирующим в настоящее время историческим принципом картирования основными картографическими объектами являются геологические тела, различающиеся возрастом, составом и залеганием. Геологическое тело представляет собой замкнутую часть геологического пространства, отделенного от окружающей среды граничной поверхностью, внутри которой остаются непрерывными, по крайней мере, те свойства, которые были использованы для выделения границы. К этим свойствам относятся, в первую очередь, минеральный состав, фациальные признаки, структурно-тектонические характеристики. Конфигурация граничных поверхностей и их положение в пространстве определяют форму и размеры геологических тел, а их существенная характеристика (согласные, несогласные, тектонические и т.д.) – возрастны и пространственные взаимоотношения тел.

Каждое геологическое событие либо формирует новые геологические тела, либо меняет форму, объем и состав тел, существующих ранее. Соответственно каждая горная порода несет в себе двойную смысловую нагрузку. С одной стороны, это результат геологических процессов, с другой – вещественное выражение времени.

Различные принципы, положенные в основу регионального геологического изучения территорий, определяют разный уровень обобщения фактического материала, что, в свою очередь, определяет масштабы картографируемых объектов (табл. 1).

Основным объектом картирования, осуществляемого на основе геодинамического принципа, является структурно-вещественный комплекс (СВК) – это крупное геологическое тело, сложенное ассоциациями осадочных и вулканических пород (формаций), характеризующееся специфической структурой и сформировавшееся в определенных геодинамических обстановках. При составлении геоморфологических карт и схем объектами картирования являются формы рельефа.

Следует обратить внимание на то, что, несмотря на различный уровень обобщения, картографические пространственные элементы всегда одинаковы – это точки, линии и площадные объекты (полигоны). Причем один и тот же объект картирования в зависимости от масштаба карты может изображаться разными пространственными элементами.

Таблица 1

Принципы картирования

<i>Принципы картирования</i>	Вещественный	Исторический	Геодинамический
<i>Объекты картирования</i>	Геологические тела, различающиеся составом	Геологические тела, различающиеся составом, залеганием, возрастом	Геологические тела, различающиеся геодинамической обстановкой формирования
<i>Уровни обобщения</i>	Элементарные геологические тела	Региональные стратиграфические единицы, магматические и метаморфические комплексы	Структурно-вещественные (формационные) и плутонические комплексы или их фрагменты
<i>Картографические пространственные элементы</i>	Точки, линии, площадные объекты		

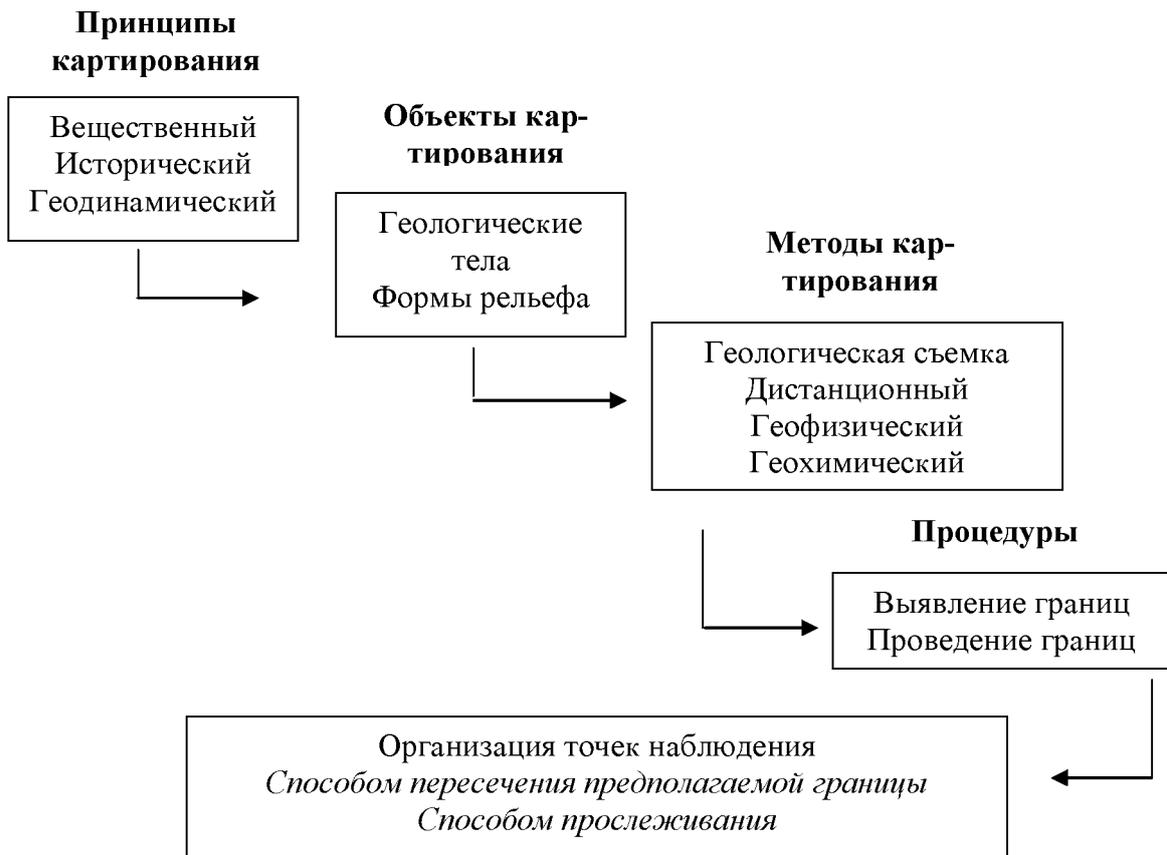


Рис. 7. Методологическая схема картирования

По характеру распределения свойств геологического пространства и точности их измерения различают границы геологических тел *резкие* (естественные), *условные и произвольные* (искусственные). По степени достоверности установления геологических границ различают границы *достоверные и предполагаемые*. Именно способы выявления и прослеживания геологических границ разных порядков составляют техническую основу геологического картирования и определяют его методологию (рис. 7).

2.3. ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ И ДЕТАЛИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ, ИЗОБРАЖЕНИЕ ГРАНИЦ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ

Геологическая карта представляет собой изображение на топографической основе с помощью условных знаков распространения и условий залегания геологических тел на земной поверхности.

Под генерализацией понимается целенаправленное обобщение всего имеющегося материала для изображения на карте основных, типичных черт геологического строения, соответствующих типу и масштабу карты. Детализация – процесс отбора характерных особенностей, раскрывающих внутреннее строение генерализованных объектов, и второстепенных деталей, осложняющих рисунок объектов картографирования. Степень детализации определяется разрешающими возможностями масштаба изображения.

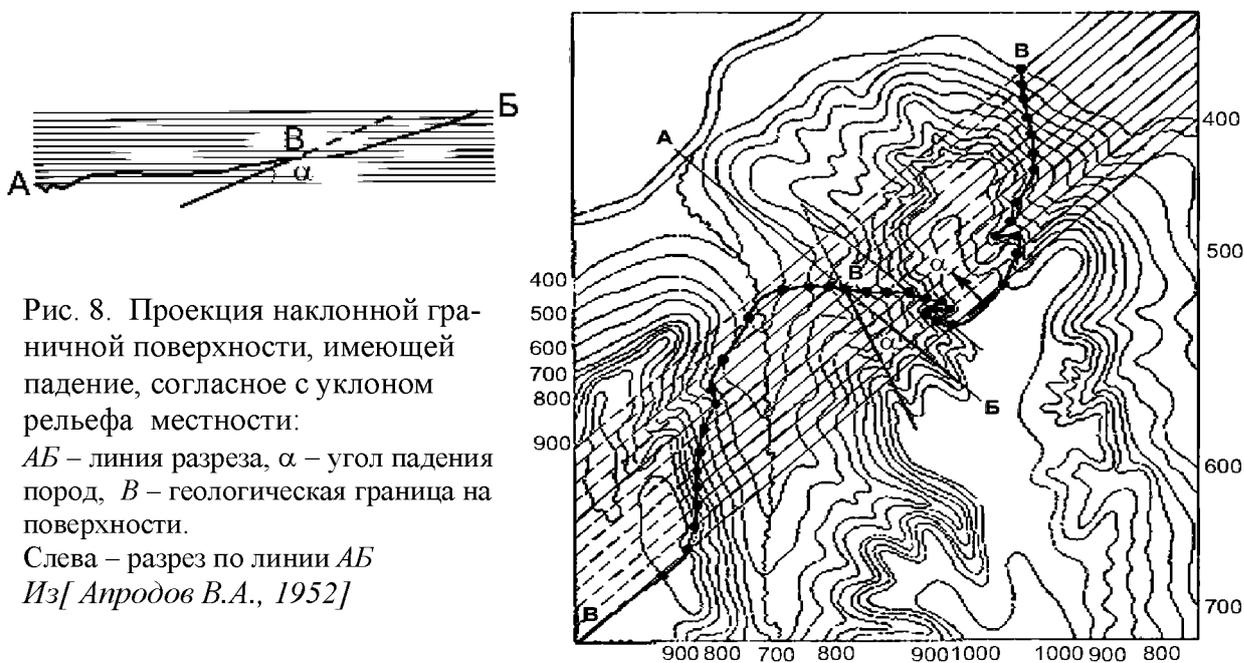
Процесс генерализации осуществляется в два этапа. Первый – это генерализация легенды, то есть выбор основных показателей характеристики изображаемых объектов, определяющих содержание карты. На втором этапе осуществляется отбор территориально выраженных объектов картографирования, наносимых на карту в соответствии с принятыми подразделениями легенды и имеющих в натуре размеры, соответствующие масштабу. Ширина линейно вытянутых контуров на картах, как правило, должна быть не менее 1,8 мм, а их количество – не более пяти на 1 см. Этим же правилом фактически определяется густота выделения линейных объектов. Площадь изометричных контуров должна быть не менее 4 мм², а их количество – не более двух на 1 см².

Генерализация геологических карт может основываться на классификации картографируемых объектов по одному (возраст) или по нескольким признакам (возраст, состав, генезис), изображаемым на карте самостоятельными системами условных знаков.

Если рассматривать геологическую карту как чертеж, то это – проекция на горизонтальную плоскость сечения части геологического пространства неровной поверхностью рельефа. Соответственно геологическая карта изображает геоло-

гическое строение местности условно, так как является двумерным плоскостным изображением трехмерных объемных геологических структур.

Очертания геологических границ на карте и их взаимное расположение зависят от характера рельефа и от геологического строения. Поверхности, ограничивающие геологические тела, пересекаясь с поверхностью рельефа, образуют линии геологических границ. В случае горизонтального залегания граничной поверхности геологическая граница всегда будет совпадать с контуром изолинии рельефа на соответствующей отметке. В случае вертикального залегания граничной поверхности геологическая граница на карте всегда будет выглядеть прямой линией, никак не зависящей от конфигурации изолиний рельефа. Граничные поверхности, залегающие наклонно, образуют геологические границы, конфигурация которых определяется элементами залегания самой поверхности и углом падения и экспозиции склонов. При этом, если направление падения граничной поверхности совпадает с направлением падения склонов, геологическая граница имеет конфигурацию, «противоположную» конфигурации изолиний рельефа (рис. 8). На участках карты, изображающих понижения рельефа, она отклоняется от линии простираения в направлении падения. На участках, изображающих возвышенности рельефа, геологическая граница отклоняется от линии простираения в направлении восстания.



При несовпадении направлений падения граничной поверхности и склонов геологическая граница «согласуется» с рельефом, причем чем меньше угол падения, тем больше такое согласование (рис. 9). Очевидно, что чем больше расчленен рельеф, тем большие отклонения от прямой, совпадающей с линией простирания, будет испытывать проекция граничной поверхности. При горизонтальном рельефе проекция наклонной граничной поверхности превратится в прямую – одну из линий простирания.

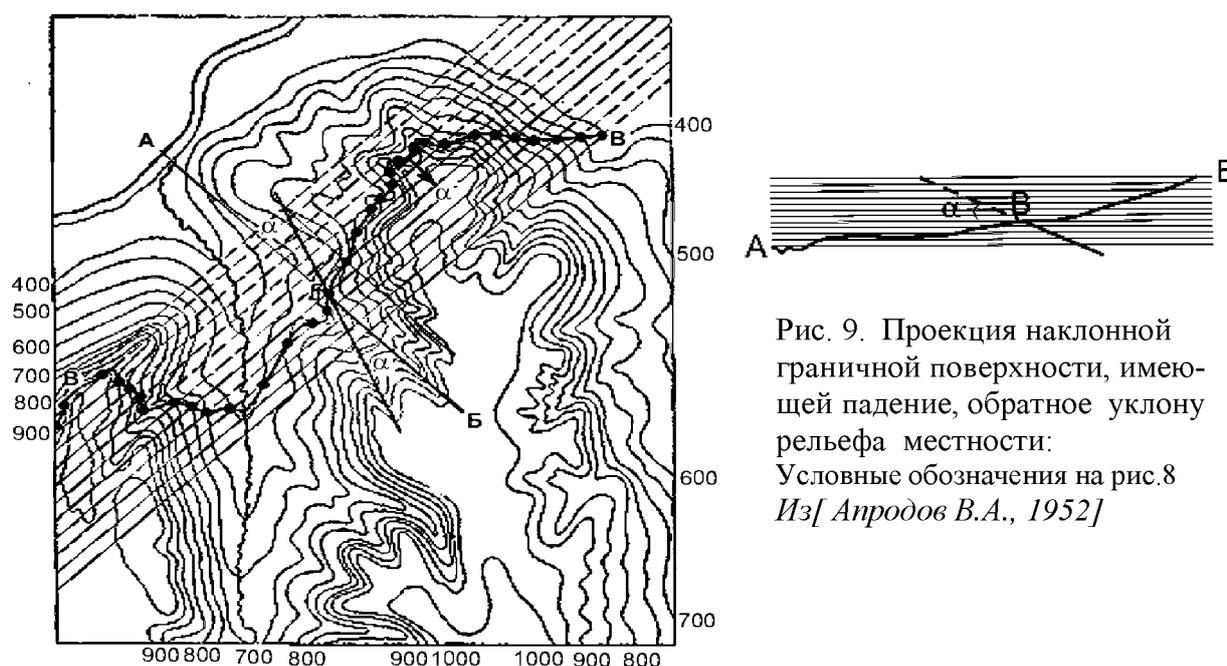


Рис. 9. Проекция наклонной граничной поверхности, имеющей падение, обратное уклону рельефа местности:
Условные обозначения на рис.8
Из [Анродов В.А., 1952]

Создание цифровых моделей геологических карт с помощью ГИС-технологий позволяет «вписывать» геологические границы в рельеф с гораздо большей точностью, чем это было возможно при ручной рисовке, а в ряде простых случаев автоматизировать этот процесс.

Анализируя конфигурацию геологических границ, можно составить представление о последовательности напластования пород и выявить геологическую структуру. При сечении складчатых структур поверхностью рельефа конфигурация геологических границ крыльев складки, кроме закономерностей, отмеченных выше, определяется положением осевой плоскости, шарнира и меняющимся углом падения крыльев (рис. 10, 11).

Геологические тела могут залегать согласно и несогласно друг с другом. В первом случае граничная поверхность одного тела является одновременно и граничной поверхностью другого. Во втором случае граничная поверхность одного тела контактирует с несколькими граничными поверхностями других тел. Несо-

гласие геологических тел может быть как стратиграфическим, так и тектоническим. Поверхность несогласия имеет свои собственные элементы залегания.

Стратиграфическое угловое несогласие возникает в результате дислокаций первоначально горизонтальных пластов, последующего размыва и перекрытия их снова горизонтально залегающей толщей. В этом случае границы более древних геологических тел упираются в поверхность несогласия (рис. 12). Если же поверхность несогласия обусловлена тектоническим нарушением, в нее могут упираться границы обоих тектонических блоков (рис. 13).



Рис. 10. Проекция граничной поверхности антиклинальной складки с меняющимся углом падения пород в крыльях: АБ – линия разреза, В – геологическая граница на поверхности.

Слева – разрез по линии АБ
Из [Апродов В.А., 1952]

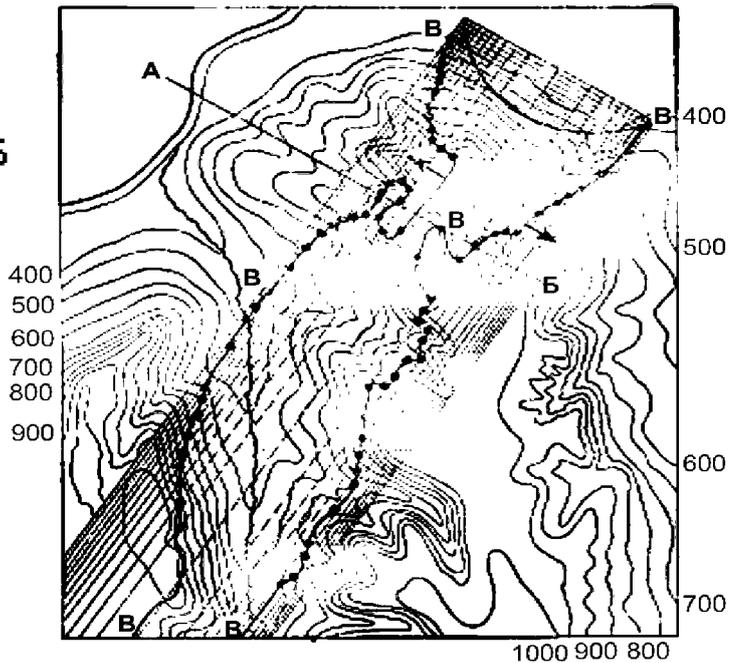


Рис. 11. Проекция граничной поверхности опрокинутой антиклинальной складки с меняющимся углом падения пород в крыльях: Условные обозначения на рис. 10
Из [Апродов В.А., 1952]

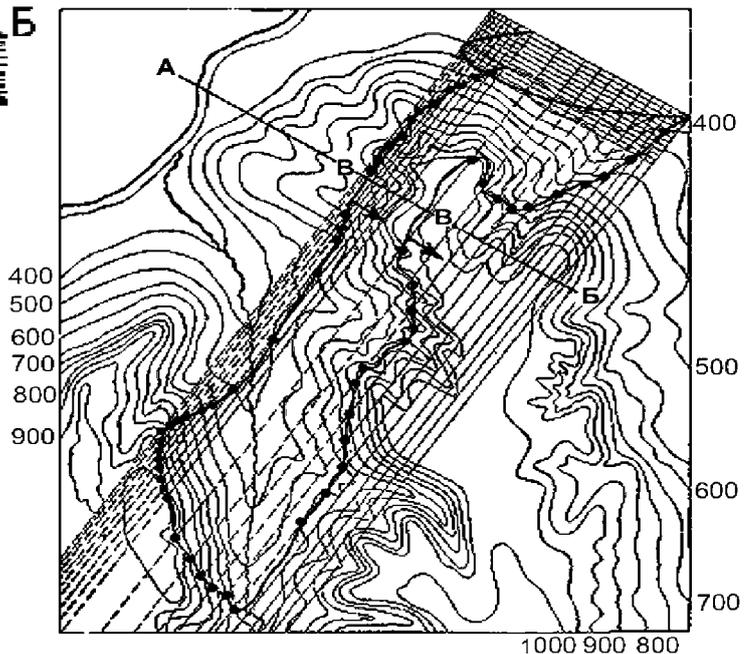




Рис. 12. Геологическая карта стратиграфического углового несогласия:

АА – линия несогласия, *ББ* – линия простирания пород в более древней толще, *ВВ* – линия простирания пород в молодой несогласно залегающей толще

Из [Анродов В.А., 1952]

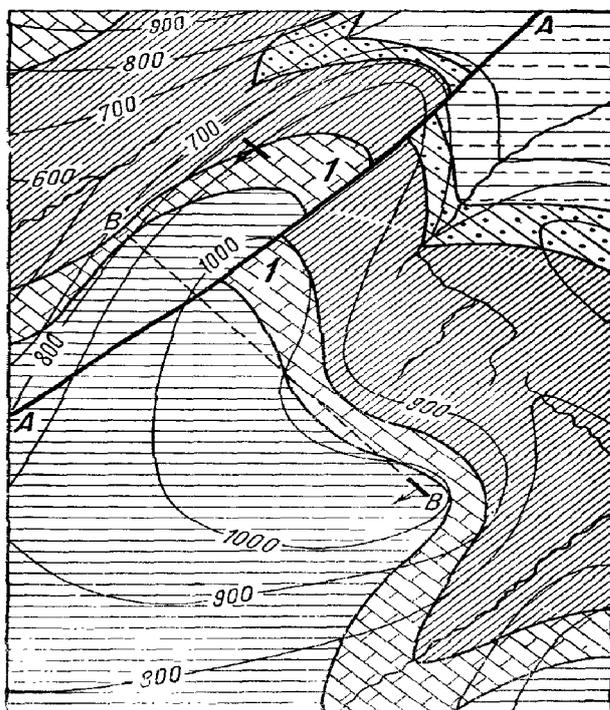


Рис.13. Геологическая карта сброса:

АА – линия сброса, *1-1* – проекция выхода одного из пластов, разорванных сбросом, *ВВ* – линия простирания кровли пласта *1*

Из [Анродов В.А., 1952]

При построении геологической карты рекомендуется рисовать геологические границы в последовательности, обратной их образованию, т.е. сначала самые молодые, потом более древние. Для разновозрастных границ рекомендуется сначала проводить тектонические границы и границы интрузивных образований, а потом – стратифицированных. В последнюю очередь рисуются фациальные границы, границы литологических разностей внутри стратифицированных подразделений и т.п.

2.4. МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Основным методом геологического картирования является *геологическая съемка* – комплекс работ, направленных на выявление и прослеживание геологических границ в результате непосредственных наблюдений геологических тел.

Поскольку рельеф земной поверхности формируется в результате геологических процессов и отражает в той или иной степени характер распределения геологических тел на изучаемой территории, комплекс работ, направленных на выявление и описание форм рельефа, составляет суть *геоморфологических исследований*, осуществляемых в процессе геологической съемки.

Дистанционные методы картирования заключаются в выявлении геологических границ с помощью различных приборов, расположенных на летательных аппаратах в атмосфере или в космическом пространстве. Основное значение имеет фотографирование в различных диапазонах электромагнитного излучения, радиолокация и изучение физических свойств горных пород (тепловых, магнитных и т.д.).

Космическое зондирование, интенсивно развивающееся в последние десятилетия, предоставило наукам о Земле новые возможности для исследования земной поверхности. К настоящему времени накоплен огромный фонд (более 100 миллионов) аэрокосмических снимков, полностью покрывающих всю поверхность Земли, а для значительной части районов – с многократным перекрытием. Методы космического зондирования основаны на регистрации в аналоговой или цифровой форме отраженного или собственного электромагнитного излучения участков поверхности в широком спектральном диапазоне. Часть данных сразу поступает в цифровом виде, что позволяет непосредственно использовать для их обработки современные компьютерные технологии. Снимки на фотоносителях могут быть преобразованы в цифровую растровую форму представления с помощью специальных сканирующих устройств.

Поскольку распределение геологических тел находит отражение в геофизических и геохимических полях, их изучение с помощью приборов и лабораторных исследований лежит в основе дополнительных методов – *геофизических и геохимических съемках*.

Дистанционный, геофизический и геохимический методы являются предметом изучения самостоятельных дисциплин и здесь не рассматриваются.

2.4.1. Геологическая съемка

Процесс геологической съемки состоит в полевых наблюдениях и нанесении на карту всех элементов геологического строения изучаемой местности. Процедура выявления геологических границ заключается, прежде всего, в поисках сходства и различия минералого-петрографических, структурных, фациальных характеристик горных пород. Поэтому процесс создания геологической карты основывается в первую очередь на наблюдениях литологических и петрографических, а затем уже на стратиграфических, тектонических и других умозаключениях.

Правильное соотношение между масштабом съемки и способом организации точек наблюдений является важным моментом геологического картирования. Увеличение масштаба съемки заключается не только в простом увеличении количества точек наблюдения на единицу площади, но сопровождается изменением способа организации наблюдений.

Способ пересечений состоит в том, что изучаемая территория покрывается точками наблюдений, организованными в линии, пересекающими территорию вкрест генерального простирания пород. При этом геологические границы, выявленные на линиях, интерполируются между ними. Густота и расположение линий определяются сложностью геологического строения, степенью дешифрируемости материалов аэрокосмической съемки (МАКС), дифференцированностью геофизических полей, обнаженностью и рельефом. Граница каждого выделенного на карте геологического тела должна быть пересечена в нескольких местах, а изолированные тела должны быть описаны в зависимости от размеров в одном или нескольких пересечениях.

В процессе полевых работ должна быть достигнута такая плотность непосредственных наблюдений, которая с учетом ретроспективных материалов и данных дешифрирования МАКС, интерпретации геофизических и геохимических материалов обеспечивает достоверность не менее 50 % показанных на карте геологических границ. При съемке масштаба 1:200000 граница считается дос-

товерной, если она непосредственно наблюдалась в геологических маршрутах и задокументирована в обнажениях или горных выработках через каждые 2 – 5 км по простиранию или установлена между обнажениями, удаленными друг от друга не более чем на 500 м.

Для рационального расположения маршрутов по площади должен соблюдаться принцип равной достоверности, который определяет необходимость неравномерной сети наземных наблюдений на различных участках площади в зависимости от сложности строения и структуры картографируемых геологических подразделений и их площадных параметров.

Способ прослеживания границ заключается в организации наблюдений вдоль картографируемой границы. Обычно прослеживаются наиболее важные границы (несогласного залегания, маркирующие горизонты, рудоконтролирующие объекты и т.п.). Закрытые участки прослеживаемых границ там, где это необходимо, вскрываются горными выработками (расчистками, канавами, шурфами). Густота расположения точек наблюдения вдоль прослеживаемой границы определяется ее важностью, сложностью конфигурации и масштабом съемки, так как в этом случае граница между двумя точками представляется в виде прямой линии.

Идеальной моделью прослеживания границ является операция их векторизации по растровой подложке, когда каждая точка линии является как бы точкой наблюдения в поле.

В практике геолого-съемочных работ обычно используется сочетание обоих способов.

Все маршруты должны выполняться с использованием МАКС, на которые заранее переносятся название ориентиров, высотные отметки, геологические тела, выявленные при предварительном дешифрировании, данные по горным выработкам и скважинам предшественников.

Привязка точек наблюдения, горных выработок и буровых скважин проводится либо с применением приборов спутниковой привязки (GPS-приемники), либо глазомерно по аэрофотоснимкам и топографическим картам. В последнем случае координаты определяются при составлении цифровой модели карты фактического материала.

2.4.1.1. Виды геологической съемки

Различают несколько видов геолого-съемочных работ.

Геологическая съемка (ГС). Собственно геологическая съемка в чистом виде проводится в районах, где геолого-съемочные работы соответствующего масштаба ранее не проводились и геологическая карта отсутствует.

Геологическое доизучение ранее заснятых площадей (ГДП). В настоящее время это основной вид геолого-съемочных работ по созданию комплекта Госгеолкарты-200. Этот вид работ предполагает полный сбор и обобщение всех имеющихся по району съемки материалов и дополнение их необходимыми новыми наблюдениями для решения следующих основных задач:

1. Уточнение, а в необходимых случаях и пересмотр, существующих представлений о геологическом строении и истории развития района с позиций современных геологических теорий.

2. Создание моделей глубинного геологического строения района или отдельных его частей.

3. Анализ закономерностей размещения полезных ископаемых, конструктивное критическое рассмотрение представлений о перспективах района в отношении открытия новых месторождений полезных ископаемых, оценка перспектив района в отношении выявления новых видов минерального сырья и новых типов месторождений уже известных видов, оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых на основе новых данных о геологическом строении и истории развития района.

4. Выяснение эколого-геологических условий района, выявление потенциально опасных для обитания и деятельности человека геологических процессов и явлений, выяснение степени нарушенности геологической среды и ее загрязнения вредными веществами, оценка степени напряженности эколого-геологической обстановки и прогноз ее возможного развития.

Глубинное геологическое картирование (ГГК). Этот вид работ представляет собой аналог геологической съемки, проводимой для изучения особенностей строения комплексов пород, погребенных под покровом мощных дальнепринесных образований или в многоярусных районах. Основным техническим средством проведения ГГК является бурение скважин при обязательном широком использовании геофизических методов.

Геологическая съемка шельфа (ГСШ). Задачи ГСШ близки к задачам ГДП, включая эколого-геологические исследования. Специфика данного вида съемки определяется тем, что объект изучения закрыт толщей воды, что обу-

словливает необходимость применения особых приемов организации работ и специальных технических средств. Второй особенностью ГСШ является необходимость изучения некоторых специфических донных образований (деятельный слой донных осадков, постоянно перерабатываемый в процессе движения воды) и явлений (современная донная абразия и др.).

В состав геологической съемки шельфа входят:

- ✓ Выделение и прослеживание геологических тел, выяснение образуемой ими тектонической структуры, определение возраста и происхождения геологических тел и структур.
- ✓ Выявление полезных ископаемых и изучение закономерностей их размещения с оценкой прогнозных ресурсов.
- ✓ Изучение рельефа морского дна с его морфометрической характеристикой и выяснением генезиса и возраста форм рельефа.
- ✓ Определение инженерно-геологических, гидрогеологических, динамических и других характеристик геологических образований района.

2.4.1.2. Условия проведения работ

Геолого-съемочные работы проводятся в различных геологических, экономико-геологических и экономико-географических условиях. Разные сочетания этих условий существенно влияют на принятие методических и управленческих решений.

Геологические условия отражают степень дислоцированности и метаморфизованности коренных пород в пределах изучаемого района. По признакам дислоцированности выделяются недислоцированные и дислоцированные комплексы пород, по степени метаморфизованности – рыхлые, литифицированные и метаморфизованные. Учет этих признаков позволяет для целей картирования различать следующие комплексы пород:

- ✓ *четвертичный комплекс* – рыхлые недислоцированные осадочные образования четвертичного и плиоцен-четвертичного возраста, сложенные дальнепринесенными отложениями, которые не позволяют по наблюдениям на поверхности установить состав и строение подстилающих коренных пород с необходимой достоверностью и детальностью;
- ✓ *покровный вулканогенно-осадочный комплекс* – литифицированные и умеренно дислоцированные осадочные отложения, вулканические покровы и прорывающие их субвулканические и плутонические тела, залегающие под углом до 30° при простых формах складчатости и умеренном количестве разрыв-

ных нарушений преимущественно вертикального падения с перемещениями ограниченной амплитуды;

✓ *складчатый комплекс* – литифицированные и сильно дислоцированные осадочные и осадочно-вулканогенные образования и прорывающие их магматические тела. Ориентировка граничных поверхностей разнообразна при преобладании субвертикальных или опрокинутых залеганий, разрывы многочисленны и разнообразны по морфологии, с большой амплитудой смещения. В целом характерна выдержанность геологических тел и структур по простиранию при быстрой смене в поперечном направлении;

✓ *складчато-метаморфический комплекс* – метаморфизованные и сильно дислоцированные преимущественно докембрийские образования с отсутствием явной стратификации, разнообразной ориентировкой всех граничных поверхностей и сложными соотношениями магматических и метаморфических пород.

Перечисленные комплексы могут по-разному сочетаться в разрезе земной коры в пределах экономически целесообразной глубины изучения, что позволяет выделять районы разной ярусности.

Экономико-геологические условия включают в себя глубину изучения района, сложность геологического строения и степень геологической изученности.

Различают доступную глубину непосредственного изучения и возможную глубину экстраполяции. *Глубина непосредственного изучения* определяется геологическим заданием и зависит от глубины эрозионного вреза, характеристики технических средств, предоставленных исполнителю, и от реальной глубины горных выработок, имеющих в изучаемом районе. *Глубина экстраполяции* зависит от детальности имеющихся материалов, разрешающей способности применяемых методов, степени контрастности объектов в геофизических и геохимических полях, а также от квалификации исполнителя.

Сложность геологического строения зависит от многих условий (степени обнаженности, степени дешифрируемости МАКС, разнообразия и сочетания горных пород и комплексов и т.д.) и подробно классифицируется в специальной справочной литературе. Сложность геологического строения учитывается при проектировании для выбора методов и технических средств изучения, определения требуемой квалификации персонала, экономической оценки работ.

При разработке геологического задания и составлении проекта работ также учитывается *степень геологической изученности* района. Различают районы хорошо изученные и опоскованные, средне изученные, малоизученные. В ос-

нове различий лежат следующие факторы: наличие и качество карт предшественников соответствующего или более крупного масштаба, выявленных проявлений, разведанных или эксплуатируемых месторождений полезных ископаемых, результаты геофизических и геохимических работ. Классификация участков по степени изученности для проведения геолого-съёмочных работ также приведена в специальной справочной литературе.

Физико-географические условия включают в себя три основных показателя: климатические условия и абсолютную высоту местности, наличие многолетней мерзлоты, проходимость для пешего передвижения в маршрутах, а для акваторий – глубинность бассейна.

Климатические условия, высота и проходимость местности оказывают большое влияние на организацию и проведение полевых работ и определяют их трудоемкость. В частности, в зависимости от этих условий устанавливаются поправочные коэффициенты к нормам выработки и затратам труда.

Многолетняя мерзлота оказывает наибольшее влияние на проведение горных работ и применение геохимических методов.

Экономико-географические условия имеют большое значение для определения значимости прогнозируемых в отношении полезных ископаемых объектов. Также они играют роль для определения объема и необходимости специальных эколого-геологических исследований.

Эти условия включают в себя: наличие горнодобывающих и других предприятий – источников загрязнений; наличие и развитие хозяйственной инфраструктуры, энергообеспеченность; населенность района. При оценке районов съёмки в зависимости от этих условий следует иметь в виду, что на территориях с наличием предприятий и развитой инфраструктурой легче осваивать месторождения, поэтому требования к их параметрам могут быть снижены, но увеличивается значимость работ по выяснению эколого-геологических обстановок. При районировании устанавливаются три градации экономико-географических условий:

- ✓ хорошо освоенные районы, характеризующиеся развитой промышленностью и инфраструктурой при высокой плотности населения;
- ✓ освоенные районы, в которых присутствует хотя бы один из трех факторов;
- ✓ малоосвоенные районы, в которых отсутствует промышленность, не развита инфраструктура и малая плотность населения.

2.4.1.3. Организация геолого-съёмочных работ

Геолого-съёмочные работы представляют собой научно-производственный процесс и организуются поэтапно (рис. 14). Отдельные этапы могут перекрываться или совмещаться. Обычно объединяются этапы подготовительных работ и проектирования, поскольку составление проекта возможно лишь после проведения большей части подготовительных работ. Тесно переплетаются полевые и камеральные работы, так как само проведение полевых работ требует постоянной камеральной обработки вновь полученных данных в течение полевого периода. Тем не менее каждый этап имеет свои цели, задачи и свое содержание.

Основанием для начала геолого-съёмочных работ является *геологическое задание*. Геологическое задание определяет:

- ✓ площадь проведения работ в виде перечисления номенклатуры геодезических трапеций;
- ✓ вид геологической съёмки, ее сочетание с другими видами региональных геологических исследований;
- ✓ глубину непосредственного изучения;
- ✓ основные задачи в отношении изучения геологического строения, полезных ископаемых и эколого-геологических условий. При необходимости указывается специализация работ в отношении выявления и оценки перспектив определенных полезных ископаемых, изучения отдельных экологически нарушенных участков или выяснения развития определенных геологических опасностей;
- ✓ сроки проведения работ, при этом сроком начала работ является дата утверждения геологического задания, а сроком окончания – дата утверждения отчета;
- ✓ выделяемые финансовые средства;
- ✓ требования к конечным результатам.

Геологическое задание составляется на основе выбора площади работ органами управления на региональном уровне и утверждается органами федерального управления.



Рис. 14. Структура процесса геолого-съемочных работ

Этап подготовительных работ. Целью подготовительных работ является сбор всех имеющихся данных по району и их освоение с целью создания баз первичных геологических данных и производной информации, предварительных картографических моделей геологического строения района и определения на этой основе необходимых дополнительных исследований для решения задач геолого-съёмочных работ.

Подготовительный этап начинается с обеспечения работ картографическими материалами – топографическими картами разных масштабов (основного рабочего, более мелкомасштабной картой для обзора территории и планирования работ, крупномасштабной для детализации на опорных участках); аэрокосмическими материалами и цифровой топографической основой для составления окончательных карт и отчетных материалов. Цифровая топооснова в зависимости от масштаба съёмки обрабатывается (разгружается) в соответствии с требованиями инструктивных документов.

Материалы аэрокосмических съёмок включают в себя аэрофотоснимки различных масштабов и материалы космических съёмок, и в совокупности с материалами их дешифрирования и интерпретации формируют дистанционную основу геологической карты. Современные системы космических съёмок обеспечивают получение снимков, по разрешающей способности сопоставимых с материалами аэрофотосъёмки. Но гораздо большая площадь космических снимков, возможность их представления в аналоговой и цифровой форме с точной координатной привязкой, съёмка в нескольких спектральных зонах положительно сказываются на технологичности их обработки и, как следствие, на качестве дешифрирования и интерпретации.

Дистанционная основа состоит из фактографической и интерпретационной частей и используется для уточнения существующих представлений о геологическом строении района, выявления новых геологических объектов, геоморфологических исследований и оценки эколого-геологической обстановки. В зависимости от геолого-ландшафтных условий проведения работ эти основные задачи детализируются и уточняются.

Фактографическая часть дистанционной основы должна удовлетворять правилам детальности и обзорности и представляется в нескольких информативных спектральных каналах. По правилу детальности на материалах дистанционного зондирования должны выявляться минимальные по размерам объекты, подлежащие картографированию. По правилу обзорности снимки должны обеспечивать такой охват территории, чтобы отражать положение картографируемой площади в общей структуре региона. Опыт использования дистанционной осно-

вы показывает, что для территории Российской Федерации наиболее информативны снимки в длинноволновой части видимого оптического диапазона и в ближней инфракрасной области спектра.

Исходными материалами, оптимально удовлетворяющими изложенным требованиям с учетом финансовых возможностей, являются материалы отечественной фотографической съёмочной системы МК-4, а также спутниковых систем Landsat 7 с радиометром ETM+ и EOS AM-1 (Terra) с радиометром ASTER (табл. 2).

Таблица 2

Технические характеристики космических съёмочных систем

<i>Системы космосъёмки</i>	<i>МК-4</i>	<i>Landsat 7 ETM+</i>	<i>EOS AM-1 (Terra) ASTER</i>
Вид съёмки	Фотографическая Спектрометрическая	Сканерная Спектрометрическая	Сканерная Спектрометрическая
Спектральные диапазоны и пространственное разрешение, м	Видимый и ближний инфракрасный (VNIR) – 10-15	VNIR –30, 15(пнхр.) Средний инфракрасный (SWIR) - 30 Тепловой(TIR) - 60	VNIR – 15 SWIR - 30 TIR - 90
Размер сцены, км	160x160	185x185	60x60

Интерпретационная часть дистанционной основы включает в себя схемы дешифрирования и схемы интерпретации дешифрирования и создается по результатам экспертного визуального и интерактивного компьютерного анализа фактографической части основы с учетом имеющейся геологической, геофизической и другой информации.

Сбор и обработка материалов предшествующих работ представляют собой важнейшую операцию подготовительного этапа. Сбор материалов начинается с составления схем изученности района, которые сопровождаются базой библиографических данных (табл. 3).

Таблица 3

Краткая характеристика материалов предшественников

<i>Автор, год</i>	<i>Фондовый номер или издание</i>	<i>Основные полезные сведения о работе и степень соответствия современным требованиям</i>	<i>Направления использования</i>	<i>Район, номенклатура</i>

База первичных геологических данных включает материалы предшествующих геолого-съемочных, поисково-разведочных, геофизических и геохимических работ, структурного и параметрического бурения, геоэкологических исследований, тематических и научно-исследовательских работ, результаты которых отражены как в отчетах, так и в научной литературе. База первичных данных сопровождается картами фактического материала. Полистные базы первичных геологических данных являются составной частью Государственного банка цифровой геологической информации. В базу данных включаются как материалы полевых работ, так и петрографические описания шлифов, определения фауны, флоры и петрофизических свойств пород, результаты палеомагнитных, геохронометрических, палинологических, минералогических, химических, спектральных и других лабораторных анализов.

В результате выполнения подготовительных работ, кроме базы первичных геологических данных, должны быть составлены:

- ✓ схемы интерпретации геолого-геофизических данных;
- ✓ рабочие геолого-геофизические, геолого-геохимические, структурно-тектонические, литолого-фациальные и другие вспомогательные схемы и разрезы;
- ✓ макеты неувязанных геологических карт предшественников (карты «невязок»);
- ✓ предварительные карты-гипотезы дочетвертичных образований, четвертичных образований, закономерностей размещения полезных ископаемых и других, определенных геологическим заданием.

Как правило, все карты и схемы составляются в интерактивном режиме в цифровой форме с использованием геоинформационных технологий. В результате обработки всех ретроспективных материалов выявляется недостающая информация, определяется комплекс методов для проведения полевых и камеральных работ, намечаются задачи по доизучению территории. В итоге составляются расширенное геологическое задание и смета.

Этап полевых работ. Основная цель полевых работ – сбор фактического материала по геологии, полезным ископаемым и эколого-геологическим условиям для заверки и изучения предварительных карт и схем геологического содержания, составленных в подготовительный период.

Перед каждым полевым сезоном на основе имеющихся и вновь полученных материалов составляется развернутое полевое задание (программа работ), которое включает:

1. Определение организационной стратегии (общей схемы изучения площади и расположения опорных участков в ее пределах).

2. Формулирование вопросов, подлежащих специальному изучению, с формулировкой задач и определение участков для изучения специальных вопросов.

3. Определение местоположения опорных маршрутов, основных геофизических и геохимических профилей, буровых скважин и горных выработок.

Различают организационные стратегии двух видов. Стратегия *последовательного сгущения наблюдений* заключается в том, что в начале работ наблюдения проводятся по разряженной сети с выявлением основных черт геологического строения территории и построением «каркаса» будущих карт. Затем этот каркас дополняется и уточняется наблюдениями большей детальности. Естественно, что конечная плотность наблюдений оказывается различной в зависимости от степени изученности, сложности геологического строения, насыщенности полезными ископаемыми и напряженности эколого-геологической обстановки. Данная стратегия обеспечивает экономное размещение маршрутов, горных и буровых работ, профилей и участков специальных наблюдений, а также более полную и надежную корреляцию материалов по всей площади. Такая организация работ наиболее часто реализуется при проведении собственно геологической съемки, глубинном геологическом картировании, геологической съемки шельфа. При проведении геологического доизучения площадей роль работ по созданию «каркаса» играет подготовительный этап.

Стратегия *последовательного наращивания площадей* представляет собой проведение работ в течение каждого полевого сезона на ограниченной части площади с получением материалов, наиболее полно отвечающих требованиям к конечным результатам. Общая увязка материалов – задача последнего сезона. Данная стратегия считается методически менее правильной, но более удобна с организационной точки зрения. К основным методическим недостаткам данной стратегии относятся: получение избыточной информации по каждой части площади, трудности с общей увязкой материалов. В то же время она упрощает планирование работы транспорта, повышает производительность горных и буровых, геофизических и геохимических работ. Кроме того, такая организация работ более рациональна в районах малой освоенности, плохой проходимости и обеспеченности дорогами, в районах, когда отдельные части площади доступны только в определенные сезоны.

Важной частью программы полевых работ является определение опорных разрезов, опорных и поисковых участков. *Опорными участками* называются ло-

кальные площади, на которых решаются узловые вопросы геологического строения: изучение и опробование стратотипических разрезов и петротипических интрузивных и метаморфических массивов, изучение взаимоотношений геологических тел и подразделений, сложных структур. Опорные участки размещаются на площади с таким расчетом, чтобы в совокупности охарактеризовать все разнообразие геологических обстановок с учетом ландшафтной зональности и эколого-геологических условий. *Поисковые участки* – это локальные площади с зафиксированными, но недостаточно изученными признаками возможного наличия полезных ископаемых. Опорные и поисковые участки выделяются также для установления геологической природы объектов дешифрирования МАКС, геофизических и геохимических аномалий. *Опорным разрезом* называется представительный разрез осадочных, вулканогенно-осадочных, метаморфических, реже магматических образований, позволяющий установить объем и возрастные границы стратиграфических и петрографических подразделений. Опорные разрезы являются основой для описания стратотипов и петротипов, для подготовки местных и региональных стратиграфических схем и схем корреляции магматических и метаморфических образований.

Работы на опорных и поисковых разрезах и участках проводятся по сгущенной сети наблюдений с применением специальных методик. Для осадочных отложений необходимо комплексное изучение биостратиграфии, петрофизических свойств и палеомагнетизма, для магматических – радиологический и изотопный анализ. В закрытых районах при необходимости проходятся детализационные поисковые скважины или горные выработки. Осуществляется детальная документация наблюдений и необходимое опробование. При получении анализов результаты опробования отражаются на картах.

Программа полевых работ предусматривает составление общего перечня и порядка проведения видов работ, определение их задач и содержания, способов регистрации первичных наблюдений. Примерный порядок проведения работ по видам приведен в табл. 4.

Полевые работы следует начинать с геологической рекогносцировки с целью уточнения как условий их проведения, так и программы полевых работ. В рекогносцировке необходимо участие всего состава основных исполнителей для выработки единого подхода к геологическому изучению района. В процессе рекогносцировки проводится ознакомление с наиболее представительными разрезами, стратотипами, петротипами, месторождениями и проявлениями полезных ископаемых.

Таблица 4

Виды и порядок проведения работ

<i>Вид работ</i>	<i>Полевые сезоны</i>		
	<i>Первый</i>	<i>Последующие</i>	<i>Заключительный</i>
Рекогносцировка	+++	+	-
Геологические маршруты	++	++	++
Аэровизуальные наблюдения	++	+	-
Геохимические поиски	+++	++	+
Геофизические исследования	+++	+	+
Изучение опорных разрезов	++	++	+
Изучение опорных и поисковых участков	+	++	+
Бурение скважин			
картировочных	++	++	-
глубоких	-	++	+
детализационных	-	+	++
Проходка горных выработок			
линиями	++	++	-
детализационных	-	+	++
Окончательная увязка материалов	-	++	+++

Примечание: количество знаков означает относительные объемы работ.

После рекогносцировки в первую очередь проводятся сопровождающие наземные геофизические работы, направленные на решение конкретных задач, таких, как уточнение строения погребенных геологических структур, положения отдельных маркирующих поверхностей, составление опорных интерпретационных профилей и т.п. Методы и объемы геофизических исследований определяются исходя из характера решаемых задач. Работы выполняются специализированными партиями. Также проводятся опережающие геохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Геохимические работы должны обеспечить оценку перспектив района в отношении полезных ископаемых и дать геохимическую характеристику всех геологических подразделений на площади карты. Одновременно разворачиваются основные виды исследований – геологические маршруты, буровые и горные работы. В процессе проведения маршрутов выполняются:

- ✓ геологическое описание и определение состава горных пород;
- ✓ документация взаимоотношений геологических тел и подразделений;
- ✓ определение элементов залегания геологических границ и структурных элементов;

- ✓ поиски и сбор палеонтологических остатков, отбор образцов и проб для лабораторных исследований;
- ✓ прослеживание маркирующих горизонтов и геологических границ отдельных тел и подразделений;
- ✓ проведение геоморфологических и эколого-геологических наблюдений.

Документация в геологических маршрутах ведется комплексно. Тщательно изучаются и описываются прямые и косвенные признаки, указывающие на возможную продуктивность геологических объектов в отношении полезных ископаемых.

Существенное значение имеет рациональное расположение маршрутов, определяемое на основе принципа равной достоверности. В соответствии с ним для участков простого строения требуется меньшее количество наблюдений, чем для частей площади сложного геологического строения.

Аэровизуальные наблюдения проводятся в виде исключения при хорошей ландшафтной дешифрируемости, когда они позволяют значительно сократить сеть наземных наблюдений, но требуют тщательной предполетной подготовки, включающей подготовку приборов фотосъемки, диктофонов и т.п. Аэровизуальные наблюдения проводятся для:

- ✓ получения общего представления о геоморфологическом строении района;
- ✓ общего осмотра крупных тектонических и магматических структур с целью понимания плана их строения и выбора участков детального изучения;
- ✓ выявления зон эндогенного и экзогенного изменения пород;
- ✓ выбора мест расположения полевых баз и лагерей и рациональных путей продвижения к ним, уточнения условий доступа к районам проведения горных и буровых работ.

Буровые и горные работы проводятся для решения тех же задач, что и геологические маршруты и работы на опорных разрезах и поисковых участках, но на закрытых территориях.

Определение *рациональных способов регистрации первичных наблюдений* преследует цель выбора тех способов документации, которые наряду с достаточной объективностью позволяют сократить время на проведение наблюдений или повысить их объективность. Кроме традиционного описания в полевых книжках к таким способам относятся:

1. Фотодокументация обнажений, горных выработок и керна скважин. В последние годы в связи с широким распространением цифровых фотокамер, позволяющих получать детальные снимки с близкого расстояния, масштабировать изображение, включать изображение в базы первичных геологических данных, фотодокументация становится все более актуальной и востребованной.

2. Панорамная цифровая видеосъемка крупных и удаленных объектов.

3. Применение унифицированных форм записи в виде, приспособленном для дальнейшего ввода в базы первичных данных для последующей автоматизированной обработки или устной диктофонной записи. Применение унифицированных форм быстрой записи особенно необходимо в условиях недостатка времени на проведение наблюдений (аэровизуальные маршруты, наблюдения с транспортных средств).

В связи с повсеместным внедрением в практику работ геоинформационных технологий вполне реальна документация полевых наблюдений непосредственно в полевой компьютер с автономным источником питания (ноутбук) или, как минимум, ежедневное пополнение банков первичных геологических данных и фактографической информации на базе партии.

Регистрация первичных наблюдений в обязательном порядке включает в себя процедуру привязки обнажений, горных выработок и буровых скважин. Традиционно привязка осуществляется глазомерно по топографической основе крупного масштаба и аэрофотоснимкам с нанесением точки на полевую карту и последующим определением географических или прямоугольных координат. Современные технические средства позволяют определять координаты непосредственно на точке наблюдения приборами спутникового позиционирования (GPS-приемниками) с последующей передачей данных в цифровую модель карты фактического материала.

Камеральная обработка материалов осуществляется как во время выполнения полевого этапа между полевыми сезонами, так и в виде самостоятельного этапа по окончании всех полевых работ. Камеральной обработке подлежат все материалы, имеющиеся на момент ее проведения. В общем случае в камеральный период выполняются следующие виды работ:

✓ обработка результатов анализов, позволяющих получить геохимические, геофизические и другие количественные характеристики геологических образований и дополнительные обоснования их выделения и корреляции;

✓ микроскопическое изучение пород и корректировка полевой документации, определение уточненных описаний пород по каждому геологическому

подразделению, уточнение содержания легенд к картам геологического содержания;

- ✓ пополнение баз первичных геологических данных всеми новыми материалами с учетом их уточнения по результатам микроскопических и лабораторных исследований;

- ✓ внесение исправлений и уточнений в полевые карты и схемы на основе данных камеральной обработки и аналитических работ;

- ✓ анализ, обобщение и интерпретация новых геохимических и геофизических материалов, сопоставление их с результатами других методов, построение профилей и схем глубинного строения;

- ✓ пополнение карт полезных ископаемых, нанесение на них новых объектов, выделение полей распространения поисковых признаков, определение перспективности вновь изученных объектов полезных ископаемых, включая исследованные поисковые участки.

Максимальный объем лабораторных исследований выполняется в течение промежуточных камеральных периодов, с тем чтобы они были завершены до начала окончательной камеральной обработки.

Окончательная камеральная обработка материалов в целом сохраняет содержание и технологическую схему промежуточной, отличаясь от последней количеством обрабатываемой информации. При этом осуществляются:

- ✓ уточнение возраста и формационной принадлежности объектов картографирования, их геохимической и минерагенической специализации и особенностей, указывающих на потенциальную продуктивность в отношении полезных ископаемых или опасность как источников природного загрязнения геологической среды;

- ✓ тектонические и структурные исследования, выделение парагенезисов структур разного порядка, выяснение их последовательности и закономерностей размещения в пространстве, а также связи с ними различных полезных ископаемых;

- ✓ геоморфологический и морфометрический анализ рельефа, характеристика неотектонических и орогенных структур различных порядков, изучение связи с ними полезных ископаемых, геодинамических процессов;

- ✓ историко-геологические исследования (палеогеографический, литолого-фациальный, палеотектонический, палеогеодинамический анализ) по важнейшим эпохам развития района;

- ✓ уточнение и детализация статистических связей между месторождениями, поисковыми признаками и прогнозными критериями района, анализ закономерностей размещения полезных ископаемых, минерагеническое районирование территории;

✓ оценка перспектив известных и вновь выявленных прогнозных площадей и перспективных участков, определение или уточнение прогнозных ресурсов;

✓ создание окончательных легенд карт, дополнительная увязка контуров геологических объектов с топоосновой, окончательная корректировка и редактирование карт, подготовка обязательного зарамочного оформления.

В результате окончательной камеральной обработки должны быть составлены комплекты карт и геологический отчет, переданы на хранение в архив первичная документация, в музей – коллекции образцов, палеонтологических остатков, шлифов, в другие хранилища – дубликаты проб, сокращенный керн буровых скважин, базы первичных и производных геологических данных. Завершается камеральный этап рассмотрением и принятием комплекта карт и отчета организацией-заказчиком.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие принципы геологического картирования существуют в настоящее время и какой из них является ведущим?*

2. *Что составляет техническую основу геологического картирования? Как можно классифицировать границы геологических тел?*

3. *Какие способы организации точек наблюдения Вы знаете? Каковы предпочтения каждого из них?*

4. *Что представляет собой геологическая карта как вид геологического чертежа?*

5. *Назовите и охарактеризуйте виды геологической съемки.*

6. *Назовите и кратко охарактеризуйте основные условия проведения геолого-съемочных работ.*

7. *Назовите комплексы пород, выделяемые для целей картирования, различающиеся геологическими условиями проведения работ.*

8. *Назовите основные этапы организации геолого-съемочных работ.*

9. *Укажите состав и раскройте содержание подготовительного этапа работ.*

10. *Сравните организационные стратегии геолого-съемочных работ. Укажите условия применения, достоинства и недостатки каждой.*

11. *Какие разрезы называются опорными и для чего они составляются?*

12. *Какая работа выполняется в процессе проведения геологических маршрутов?*

13. *Почему равномерное расположение точек наблюдения на всей площади съемки считается ошибкой организации и методики работ?*

14. *Охарактеризуйте способы регистрации первичных наблюдений и условия их применения.*

3. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ

Компьютерные технологии применительно к задачам геологического картирования и прогноза полезных ископаемых начали развиваться с середины 70-х годов XX века, но по настоящему массовое их использование связано с широким распространением персональных компьютеров. Под компьютерными технологиями понимается совокупность программных средств, реализующих функции хранения, обработки и визуализации данных с использованием комплекса выбранных технических средств. Электронной (цифровой) картой называется вид картографической продукции, произведенной на базе компьютерных технологий и визуализированной на экране монитора или с использованием средств вывода информации.

Компьютерные технологии позволяют:

- ✓ вводить, хранить и оперативно обрабатывать большие массивы разнообразной геолого-геофизической информации с образованием геолого-картографических баз данных;
- ✓ на основе комплексирования информации и современных методов анализа получать новую информацию;
- ✓ оперативно отражать и корректировать фактическую ситуацию на электронных картах;
- ✓ проводить прогнозно-металлогеническую оценку территорий и т.д.

Все эти функции выполняют геоинформационные системы (ГИС). Наибольшее распространение в российском геологическом информационном пространстве имеют системы ArcGis, Mapinfo (США), ПАРК (РФ, «Ланэко») и ее модификация GeoSharer (Южно-Российский государственный технический университет), ИНТЕГРО (РФ, ВНИИГеосистем).

3.1. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ

Картографические модели представляют собой отображение непрерывных последовательностей реального мира в виде набора дискретных образов.

В *растровых моделях* дискретизация осуществляется созданием пространственных неделимых элементов – пикселей (аббревиатура английских слов picture element – элемент изображения), образующих регулярную сеть, которые отличаются друг от друга спектральными (цветовыми) характеристиками. Сово-

купность пикселей разного цвета и образует изображение, выводимое на монитор. Форма и размер пикселей определяют пространственное разрешение изображения. В компьютерной реализации растровые модели данных хранятся в файлах в растровых форматах (файловые пиксели) или в видеопамяти компьютера (дисплейные пиксели). В подавляющем большинстве случаев один файловый пиксел передается на мониторе несколькими дисплейными. Их соотношение определяется разрешением монитора и увеличением выводимого изображения.

Как правило, растровые данные представляют собой изображения (сканированные карты и схемы предшественников, изначально существующие только на бумажной основе), данные дистанционного зондирования (ДДЗ) и grids. *Gridы* содержат расчетные данные и часто используются для анализа и моделирования. Такие данные могут быть получены из точек замеров, в результате преобразования векторных данных или в результате классификации изображения.

Существует два типа grids: непрерывный и тематический (матрица). Пиксели *непрерывного gridа* обладают оригинальными характеристиками и в зависимости от диапазона значений раскрашиваются 256 оттенками какого-либо цвета. *Тематический grid* содержит пиксели, которые разделены на категории, и каждой категории присваивается свой цвет.

В цифровой картографии представление пространственных объектов в виде тематического gridа называют *матричной моделью*. При этом каждой ячейке матрицы соответствует файловый пиксел, присваивается пара координат и одно значение (атрибут), характеризующее объект. Такой двумерный массив данных называют *покрытием или матричным слоем* (рис. 15). Атрибутивная информация матричной модели может быть организована в таблицу данных, но каждая запись в этой таблице будет соответствовать не отдельной ячейке, а классу ячеек с одинаковыми значениями атрибута (категории).

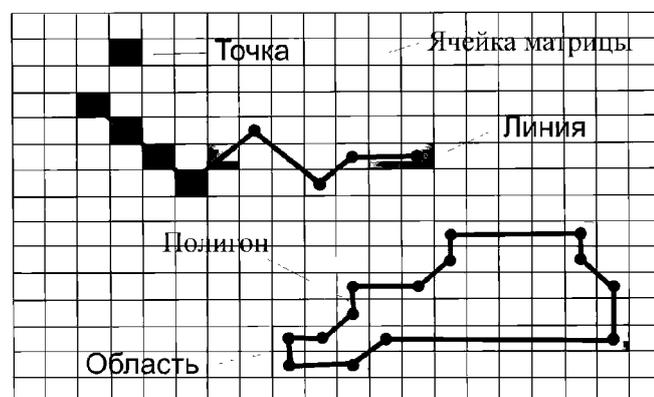


Рис. 15. Матричное и векторное представление данных

Матричные слои характеризуются разрешением, значением и ориентацией.

Разрешение – минимальный линейный размер наименьшего участка земной поверхности, отображаемый одной ячейкой матрицы или растра. Более высоким разрешением обладает матрица с меньшим размером ячеек. Высокое разрешение позволяет отобразить большее количество мелких деталей, но занимает большой объем памяти и требует значительно большего времени на обработку матрицы.

Значение – элемент информации определенного типа, хранящийся в ячейке матрицы или растра. Типы значений могут быть символьными и численными. Численные значения, в свою очередь, различаются по типам шкал измерения на качественные (номинальная и порядковая шкалы) и количественные (интервальная, отношений и циклическая шкалы). Непрерывные grids содержат только численные количественные значения, тематические могут содержать любые.

Ориентация – угол между направлением на север и положением колонок матрицы.

Одним из основных достоинств матричной модели является то, что равномерно распределенные значения атрибутов позволяют на основе статистических методов обработки получать объективные характеристики изучаемых объектов и выявлять скрытые связи атрибутов, то есть новую информацию, также возможно дать дифференциальную характеристику частей объекта, выявить и исследовать вариации свойств внутри него. Кроме того, матрица – представление данных в форме, удобной для решения классификационных и прогнозных задач.

Векторные модели. Основой векторной модели являются геометрические данные, но в ее состав также входит атрибутивная нагрузка (набор характеристик, привязанных к объектам) и связи между объектами.

При построении векторных моделей объекты создаются графическими примитивами и их комбинациями: точками, линиями и полигонами (см. рис. 15). Особенность точечных объектов состоит в том, что они хранятся как в виде графических файлов, так и в виде таблиц, содержащих наборы атрибутов (идентификационные номера, геоморфологические характеристики и т.д.) и пару координат. В таких таблицах каждая строка соответствует точке – в ней собрана вся информация о данной точке. Каждый столбец – это признак, содержащий типизированные данные: координаты или атрибуты. Каждая точка независима от всех остальных точек, представленных отдельными строками.

Линейные объекты, как и точечные, имеют свои атрибуты. Это может быть геологический возраст, характер геологической границы, количественные данные (например, протяженность границы, отметка изолинии и др.).

Существует две разновидности векторных моделей: модель «спагетти» и топологическая модель. Модель «спагетти» оперирует только геометрическими данными и атрибутами объектов. Топологическая модель отражает также и взаимное положение (пространственные связи) геометрических объектов и их частей.

Топологическая информация описывается набором узлов и дуг. Дуги образуются последовательностями отрезков, соединенных промежуточными (формообразующими) точками. Узел – пересечение двух или более дуг. Для каждого узла существует специальная характеристика, называемая валентностью, определяемая количеством дуг, соединенных в узле. Концы обособленных линий одновалентны. Для уличных сетей (пересечения типа "крест") наиболее характерны четырехвалентные узлы. В геологии чаще всего встречаются трехвалентные узлы (рис. 16).

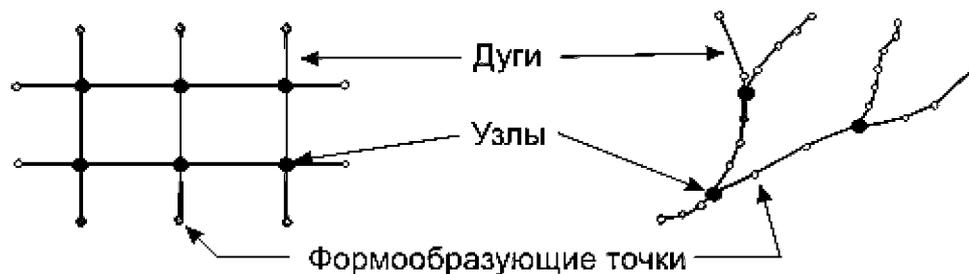


Рис. 16. Элементы топологической модели векторных данных

Топологические модели в ГИС задаются совокупностью следующих характеристик:

- ✓ связанностью векторов (векторы хранятся не как независимые наборы точек, а как взаимосвязанные друг с другом объекты);
- ✓ пересеченностью векторов (хранится информация о валентности пересечений);
- ✓ заданием областей (хранится информация об общих точках полигонов и их взаимном расположении);
- ✓ близостью (хранится информация о пространственной близости линейных или полигональных объектов).

Связанность важна для моделирования и трассировки потоков в линейных сетях, задание областей и близость позволяют находить и объединять смежные

полигоны, определять буферные зоны и комбинировать объекты из разных слоев при операциях наложения.

В топологической модели атрибуты имеют и узлы, и дуги, и полигоны. Причем, кроме обычных атрибутов, свойственных точкам и линиям, здесь появляются дополнительные атрибуты: идентификаторы и информация о связях (рис. 17).

Необходимая процедура при работе с топологической моделью – подготовка топологического каркаса. К сожалению, этот процесс не может быть полностью автоматизирован уже для данных средней сложности и требует значительных дополнительных затрат труда.

Главным достоинством векторной модели является то, что она позволяет легко оперировать отдельными частями изображения – объектами. Поэтому ее называют объектно-ориентированной графикой. Одним из недостатков векторной модели является тот, что пространство между графическими примитивами не определяется явным образом, то есть игнорирует поверхности.

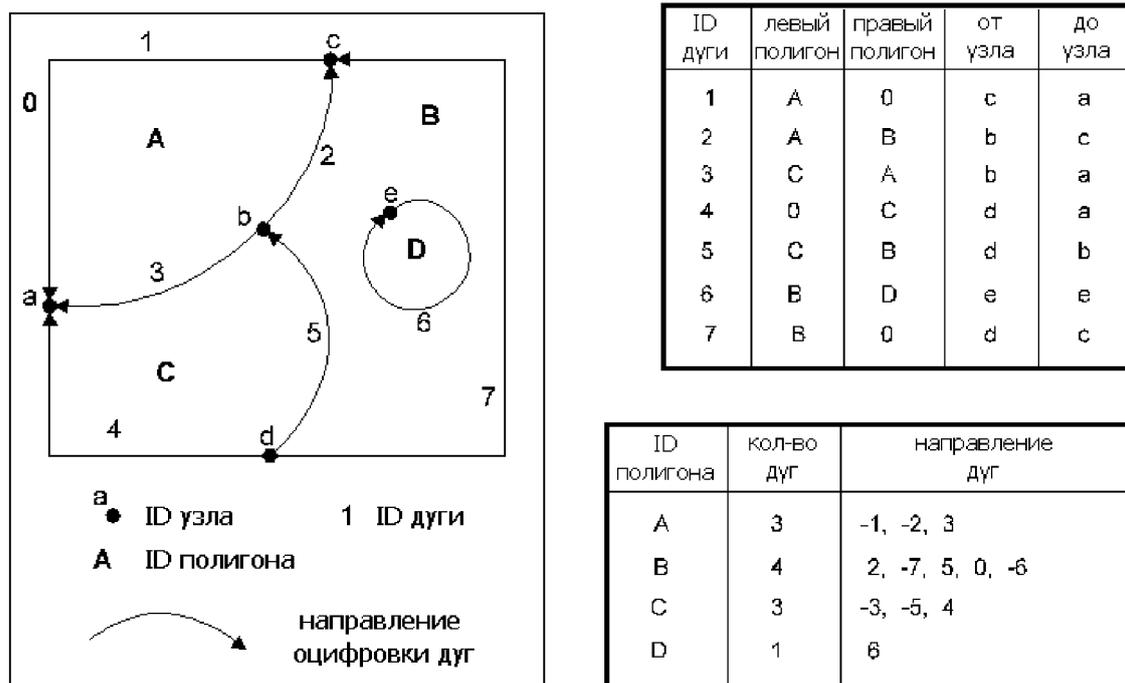


Рис. 17. Топологическая векторная модель данных

Возможность отобразить непрерывную поверхность векторной моделью реализована через построение *полигональных мозаик*. По своей структуре они могут быть регулярными и нерегулярными. Нерегулярная мозаика лучше, чем регулярная, отражает характер реальной поверхности. Среди нерегулярных мозаик чаще всего используют треугольные сети неправильной формы (Triangulatid

Irregular Network – TIN) и полигоны Тиссена (рис.18). При построении TIN-модели неравномерно расположенные точки соединяются линиями, образующими треугольники. В пределах каждого треугольника поверхность представляется плоскостью. Поскольку плоскость каждого треугольника задается высотами его вершин, обеспечивается точное прилегание каждого участка мозаичной поверхности друг к другу, то есть непрерывность поверхности. При этом каждый треугольник рассматривается как полигон с атрибутами угла наклона, экспозиции и площади. Каждая вершина имеет атрибут высоты, а сторона – атрибуты угла наклона и направления. При заданном объеме хранимых данных триангуляционная поверхность позволяет более точно, чем грид, моделировать неоднородные поверхности, которые могут резко менять форму на одних участках и незначительно – на других. Это связано с тем, что можно поместить больше точек там, где значения меняются резко, и меньше – где поверхность меняется плавно.

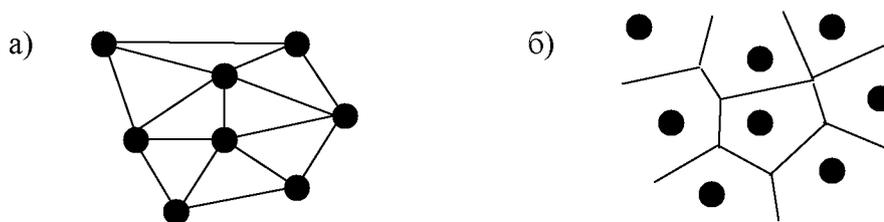


Рис. 18. Структура нерегулярных векторных мозаик:
а) – треугольная мозаика неправильной формы (TIN); б) – полигоны Тиссена

Полигоны Тиссена (диаграммы Вороного) представляют собой геометрические конструкции, образуемые относительно множества точек таким образом, что границы полигонов являются отрезками перпендикуляров, восстанавливаемых к линиям, соединяющим две ближайшие точки. Полигоны Тиссена удобны для производства пространственного анализа на соседство, близость и достижимость.

Другим недостатком векторных моделей является то, что изображение видится не «как есть», а через формирование зрительных образов посредством графических примитивов, то есть является весьма условным. В то же время границы реальных геологических тел также являются условными. Эта особенность геологических тел легко трансформируется в сознании геологов в зрительные образы векторной модели, которая похожа на привычную бумажную карту. Поэтому векторные модели являются эффективным способом картографического отображения и широко используются в компьютерной картографии.

Табличные данные. По своей сути ГИС являются базами данных, воспринимающими геометрическую информацию и позволяющими связывать вместе таблицы и пространственные данные. Любую таблицу можно связать с существующим классом объектов векторной модели или растром, если у них есть общий атрибут. Другой способ размещения табличных данных на карте – отображение точек, соответствующих координатам, содержащимся в таблице.

3.2. ОРГАНИЗАЦИЯ ДАННЫХ ПРИ ЦИФРОВОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Цифровые модели полотна карты, геологических разрезов, легенды, стратиграфической колонки и других элементов листов представляются в виде набора слоев (ГИС-покрытий), которые являются тематическими объединениями геолого-картографических объектов.

Многослойная организация изображений при наличии гибкого механизма управления слоями позволяет не только объединить и отобразить гораздо большее количество информации, чем на обычной карте, но и существенно упростить картографический анализ с помощью селекции данных и пространственных преобразований.

В технологии¹ создания карты участвуют следующие виды данных:

- ✓ Топографическая основа.
- ✓ Карты геологического содержания.
- ✓ Первичные геологические данные (фактическая основа).
- ✓ Результаты обработки геофизических данных, опережающих геохимических работ, аэрокосмических съемок.

Источником первичных геологических данных является первичная геологическая документация и результаты аналитических исследований, полученных в результате проведения различных видов работ.

Вся используемая в технологии информация представляется следующими слоями (табл. 5), каждый из которых является некоторой моделью геологического пространства.

В геоинформационных системах *векторные данные* могут быть представлены комплексными слоями, накладками и топологическими покрытиями.

Каждый *комплексный слой* может содержать линейные объекты различной тематической принадлежности. В частном случае линия может вырождаться в точку. Тематическая принадлежность каждой линии представлена набором ее

¹ Терминология, основные понятия и технологические операции базируются на ГИС ПАРК (GeoShaper)

внутренних атрибутов. В разных системах этот набор может быть различным, но основные атрибуты везде повторяются. Это количественная характеристика (значение), индивидуальное имя, графический тип и цвет. Одним из важнейших атрибутов линии является ее код – описание объекта по совокупности оснований классификации. Код содержит номера оснований классификации и шифры значений по каждому основанию. Кроме того, каждой линии может соответствовать строка внешней таблицы данных, содержащей дополнительный набор атрибутов. В пределах одной линии атрибуты остаются неизменными. Поэтому визуально единая на карте линия может быть представлена несколькими фрагментами, концевые точки которых совпадают, но атрибуты различны.

Таблица 5

Геоинформационная структура картографического представления данных

<i>Вид данных</i>	<i>Картографическое представление</i>	
Элементы карт: Площадные, линейные, точечные объекты; поверхности; надписи, знаки	Комплексные слои	Векторные слои
	Топологические покрытия	
	Текстовые слои	
	Качественные слои	Растровые слои Матричные слои
	Количественные слои	
Легенды	Списки градаций	Легенды карт
	Списки атрибутов	
	Графические типы линий	Библиотеки
	Знаки, крапы, индексы	
Дополнительная информация	Аналитическая информация	Таблицы
	Кадастры фактических данных	

Комплексный векторный слой создается при первичном вводе или при векторизации растровых данных. Набор атрибутов позволяет с помощью специальных запросов производить селекцию линий по атрибутивной принадлежности и разбивать комплексный слой на тематические составляющие.

Накладки представляют собой контурные слои, в которых линии не имеют атрибутов. В основном они используются для построения топологических каркасов и в качестве простого графического оформления (рамок, сеток, штриховок и т.п.)

Топологические покрытия содержат сведения, отражающие пространственную связность объектов. Они, как правило, создаются автоматически по топологическим каркасам и отражают пространственное распределение областей на площади карты. Для присвоения областям атрибутов используются «представляющие точки», вводимые в комплексный векторный слой. Минимально необходимыми атрибутами представляющих точек, а соответственно и областей, являются код, значение, имя и цвет.

Растровые данные в геоинформационных системах представлены обычно материалами дистанционного зондирования (спектрозональными снимками) и сканированными изображениями бумажных карт предшественников. Гриды представлены *матричными слоями*. Матричные слои создаются путем тематической обработки спектрозональных снимков, пересчета поверхностей (количественная матрица) или преобразованием данных из векторных слоев (качественная матрица), при этом выполняется кодирование по списку возможных значений выбранного основания классификации. Матричная форма представления карт площадных объектов создается по соответствующим топологическим покрытиям. В любом случае каждый матричный слой соответствует одному основанию классификации данных.

Надписи – вид картографической нагрузки, содержащей названия, цифровые значения, индексы, знаки элементов залегания, внемасштабные знаки точечных объектов, крап. Все типы надписей могут храниться в одном слое или могут быть распределены по нескольким. Ввод надписей может производиться автоматически или вручную. Надписи имеют произвольно задаваемые размеры, пропорции, ориентировку и местоположение. Сформированные надписи удобно хранить в библиотеках образцов для последующей многократной расстановки.

Все типы слоев имеют собственные имена и связаны между собой единой системой координат в одной графической базе данных.

Геометрическое представление минимального перечня объектов полотна геологической карты приведено в табл. 6.

Легенды карт вводятся и хранятся в виде списков оснований классификации объектов карты и перечней возможных значений по каждому основанию. Основаниями классификации являются:

- ✓ возрастные подразделения стратифицированных и интрузивных образований с соответствующим им кодом;
- ✓ литолого-петрографические разности пород с соответствующим им кодом;

3. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ КАРТИРОВАНИИ

- ✓ морфологические и генетические разновидности линейных объектов с соответствующим им кодом;
- ✓ семантические типы линий, описывающие разграничительные функции;
- ✓ графические типы линий;
- ✓ цвета линий и точек.

Все возможные значения этих оснований классификаций используются в атрибутах картографируемых объектов. Каждому объекту также могут соответствовать одна или несколько строк таблицы внешней базы данных, содержащей характеристики, не отображенные условными знаками.

Таблица 6

Геометрическое представление геолого-картографических объектов полотна геологической карты

<i>Картографические объекты</i>	<i>Геометрическое представление</i>		
	<i>Надписи</i>	<i>Линейное</i>	<i>Площадное</i>
Топографическая основа	+	+	
Стратиграфические подразделения (возрастные)	+		+
Интрузивные и субвулканические образования (возрастные)	+		
Стратиграфические подразделения (вещественные)	+		
Интрузивные и субвулканические образования (вещественные)	+		+
Разрывные нарушения		+	
Геологические границы		+	
Элементы залегания	+		
Объекты наблюдения	+		
Линии разрезов		+	
Рамка карты	+	+	
Зарамочное оформление	+		

Количественные характеристики по каждому основанию классификации хранятся в измеренных значениях. Для качественных характеристик каждому основанию классификации соответствует список градаций – перечень возможных свойств объектов. Градации идентифицируются шифрами в виде того или иного целого числа.

Код описывает свойства картографируемых объектов по одному или нескольким основаниям классификации одновременно и образуется комбинацией шифров.

Логическая структура модели цифровой геологической карты

Таблица 7

Смысловые слои	Картографическое представление	Изобразительные средства легенды
<p>Базовый слой. Отражает пространственное разбиение тел, соотнесенных с геологическими возрастными подразделениями легенды.</p> <p>1. Стратиграфические подразделения, расчлененные по возрасту.</p> <p>2. Нестратиграфические (интрузивные, субвулканические и метаморфические) подразделения, расчлененные по возрасту и составу.</p> <p>3. Четвертичные образования, расчлененные по возрасту и генезису.</p>	<p>Топологическое покрытие</p> <p>Комплексный векторный слой</p> <p>Слой надписей</p>	<p>Цвет площадных образований</p> <p>Графические типы линий</p> <p>Геологические индексы</p>
<p>Слой вещественно-генетической принадлежности. Содержит данные о площадях, соотнесенных с различными литологическими, петрографическими и структурными разновидностями базового слоя.</p>	<p>Топологическое покрытие или накладка</p> <p>Слой надписей</p>	<p>Крап или штриховка</p>
<p>Слой разрывных нарушений. Все разрывные нарушения и зоны потери корреляции (по геофизическим данным) вне зависимости от значимости, достоверности, морфокинетических особенностей и положения относительно перекрывающих отложений.</p>	<p>Комплексный векторный слой</p>	<p>Графические типы и цвет линий</p>
<p>Слой изолиний. Количество слоев соответствует видам изолиний. Каждый слой включает изолинии, несущие один геологический смысл (например, глубину залегания кристаллического фундамента).</p>	<p>Комплексный векторный слой</p> <p>Слой надписей</p>	<p>Графические типы и цвет линий</p> <p>Подписи значений</p>
<p>Слой элементов залегания. Включает все сведения об элементах залегания пластов и других структурных элементах (кливаж, полосчатость и т.п.).</p>	<p>Слой надписей</p>	<p>Точечные внемасштабные знаки. Подписи значений</p>
<p>Слой объектов наблюдения. Включает опорные обнажения, буровые скважины, горные выработки, стратотипические и литразрезы, петротипические массивы.</p>	<p>Комплексный векторный слой</p> <p>Слой надписей</p>	<p>Графические типы линий</p> <p>Знаки, порядковые номера</p>
<p>Слой линий геологических разрезов. Содержит линии всех прилагаемых к карте геологических разрезов.</p>	<p>Накладка</p> <p>Слой надписей</p>	<p>Буквенные обозначения</p>

Логическая структура цифровой модели геологической карты определяется смысловыми слоями, которые представляют собой тематические объединения геолого-картографических объектов. Каждый слой несет информацию об одном из аспектов строения исследуемой территории. Рекомендуемый перечень смысловых слоев цифровой модели полотна геологической карты и их картографическое представление приведены в табл. 7.

3.3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ЦИФРОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Собственно картографический процесс осуществляется в 4 этапа (рис. 19). Начинается процесс с разработки базовой карты, на которой размещаются собранные данные. При этом выбираются система координат и картографическая проекция представления данных, определяются пространственные границы карты, размеры ячеек матричных слоев, производится координатная привязка листов топографической разграфки.

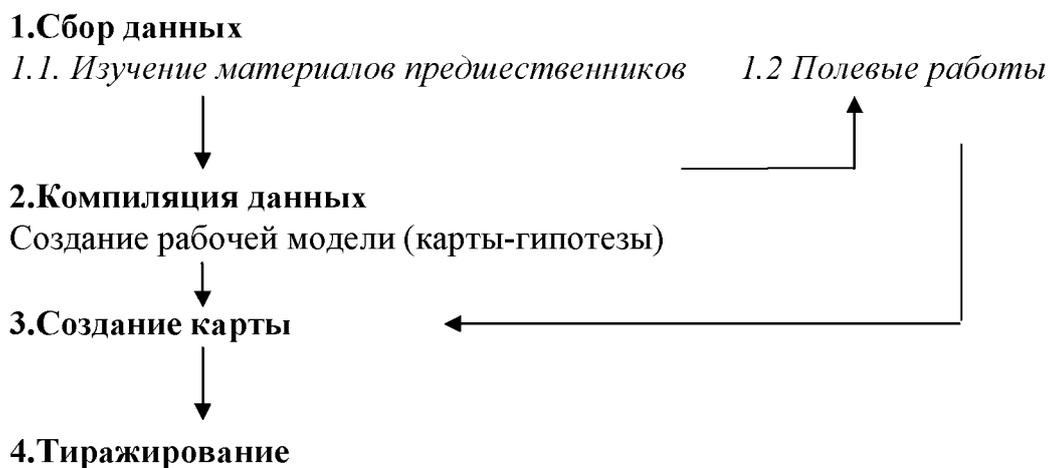


Рис. 19. Структурно-логическая схема картографического процесса

Сбор данных производится в результате изучения текстовых, табличных и графических материалов предшественников и в результате собственных полевых работ (геологической съемки). Опыт показывает, что данные предшественников в настоящее время существуют преимущественно в бумажном виде и гораздо реже в цифровом. Перевод данных с бумажной основы в цифровую осуществляется:

- в интерактивном режиме в рабочем слое от опорных точек с известными координатами;
- ручным способом с помощью дигитайзера;
- сканированием с последующим преобразованием растра и векторизацией.

Преобразование растров включает в себя ряд графических операций:

- ❖ перенос – перемещение графического объекта в другое место на координатной плоскости (добавление определенных величин к каждой точке растра);
- ❖ масштабирование – изменение размера растра на координатной плоскости (умножение координат каждой точки растра на масштабные коэффициенты);
- ❖ поворот – умножение координат каждой точки растра на тригонометрическую функцию угла поворота;
- ❖ обрезку и сшивку растров;
- ❖ географическую привязку растра способами *трансформирования, калибровки или конфляции*.

Под трансформированием понимается процесс преобразования изображения с целью приведения его к заданному масштабу и проекции. В результате процедуры трансформирования создается новое покрытие, координаты пикселей которого пересчитаны в координатной системе проекции и совпадают с реальными координатами на местности.

Калибровка заключается в расстановке на изображении точек, связанных с какими-либо объектами, координаты которых известны. В результате калибровки новое покрытие не создается, а параметры привязки сохраняются вместе с файлом покрытия или в отдельном файле. Преимущество второго метода состоит в том, что можно изменить привязку, не затрагивая сами данные, но при трансформировании можно открывать растры в других программах без дополнительной привязки.

Конфляция – процесс «натягивания» части растра на опорные точки наподобие резинового листа. Опорные точки при использовании такого способа являются фиксированными и не меняют своих координат. Положение остальных точек вычисляется на основе интерполяции координат.

Первые два способа используются обычно для привязки космических и аэрофотоснимков. Последний – для привязки сканированных карт, поскольку при хранении бумага деформируется неравномерно и пропорции изображения нарушаются.

Как следует из вышеприведенной схемы (см. рис.19), данные, собранные при изучении материалов предшественников и в процессе полевых работ, подвергаются картографической компиляции, включающей операции отбора, сортировки, символизации, группирования. В результате создается рабочая легенда, включающая операции:

- ✓ определения перечня и тематического содержания слоев карты;
- ✓ составления списка оснований классификации и возможных значений свойств по каждому из них;
- ✓ определения количества и качественных характеристик градаций по каждому основанию классификации;
- ✓ составления списка возможных атрибутов, отражающих тематическую принадлежность, разграничительные роли и масштабные типы линий;
- ✓ создания библиотеки индексов, точечных немасштабных знаков и крапов.

В процессе компиляции данных также осуществляется графическое упрощение. Конечной целью упрощения является обеспечение читабельности карты. Здесь используются два основных методических приема: *удаление и сглаживание* объектов.

Удаление объектов осуществляется уже в процессе отбора пространственных данных, поскольку только зарегистрированные во время сбора данных объекты будут помещены в базу данных картографического документа. Возможность регистрации объектов является функцией состояния научного знания и регистрирующей техники на момент сбора данных.

Кроме пассивного удаления, обусловленного возможностями и схемой отбора данных, при создании карты осуществляется также и активное удаление данных. В этом случае ограничителем является, прежде всего, масштаб изображения. Так, целый ряд объектов может присутствовать в картографической базе данных, но не показываться на карте из-за недостатка места. Такая возможность упрощения изображения легко реализуется в цифровых моделях карт, когда некоторым объектам присваивается масштабный тип. Такие объекты появляются на карте только при увеличении масштаба изображения до порогового значения, заложенного в масштабном типе.

Сглаживание уменьшает детальность геометрических объектов, но при этом важные геометрические характеристики должны сохраняться в виде упрощенных геометрических форм.

Создание цифровой модели карты включает в себя процедуры ввода новых данных и редактирования существующих. Ввод (оцифровка) векторных

данных производится поточечным методом с использованием процедур сглаживания и упрощения. Густота вводимых точек (дискретизация кривой линии) зависит от масштаба изображения и требуемой точности представления информации. Теоретически векторные данные могут кодироваться с любой мыслимой степенью точности, которая ограничивается лишь возможностями метода внутреннего представления координат. Практически только некоторые данные, получаемые в процессе измерений, соответствуют точности векторных данных. Это данные, полученные точной съемкой (координатной геометрией), карты небольших участков, составленные по топографическим координатам, политические границы, определенные точной съемкой. Обычно линии на карте имеют толщину 0,4 мм и отражают неопределенность положения объекта. В растровой системе эта неопределенность задается размером ячейки. Поэтому следует помнить, что в ГИС действительное представление о точности дают размер растровой ячейки и неопределенность положения векторного объекта, а не точность координат.

Возможен ввод контурной нагрузки карты через импорт данных, подготовленных в разных геоинформационных системах разными исполнителями.

Атрибуты вводятся с клавиатуры или извлечением из заранее подготовленных библиотек и списков возможных значений.

Процесс оцифровки, к сожалению, всегда сопровождается ошибками. Некоторые из них просто ухудшают качество карты, но не препятствуют машинным преобразованиям. Например,

- оцифрованы не все объекты или оцифрованы лишние;
- искажена форма или местоположение объектов;
- легендные атрибуты объекта не соответствуют реальной принадлежности.

Эти ошибки обнаруживаются исключительно экспертным путем и устраняются методами редактирования.

Другой класс ошибок приводит к сбоям работы программы в процессе графических преобразований. Главным образом это относится к расчетам топологических покрытий. Это:

- висящие концы линий (недоввод);
- отсутствие узлов в местах пересечений (перехлест);
- незамкнутые полигоны;
- наличие сдвоенных точек и двойных линий;
- отсутствующие или сдвоенные представляющие точки полигональных объектов;

- возникновение осколочных полигонов в местах примыкания при двойной оцифровке границ;
- возникновение «странных» полигонов в связи с нарушением порядка ввода точек.

Эти ошибки должны обнаруживаться и устраняться программными средствами.

Процесс редактирования векторных данных предусматривает изменение формы линий и местоположения надписей и внесмасштабных знаков, размеров, ориентировки, атрибутов и включает в себя следующие операции:

1. Выделение, перемещение, добавление или удаление отдельной точки линии.
2. Выделение, перемещение, копирование или удаление всей линии (то же с группой линий).
3. Сглаживание или разряжение линии.
4. Изменение направления линии на противоположное.
5. Разрезка и сшивка линий.

Компьютерная технология собственно создания карты представлена на рис. 20.

Под классификацией понимается разделение рассматриваемой совокупности объектов на однородные группы, либо отнесение каждого из объектов к одному из заранее известных классов. В качестве классифицируемых объектов выступают ячейки матричного слоя, каждая из которых описана набором качественных или количественных признаков, или пиксели раstra. В последнем случае непрерывное растровое изображение разделяется на ряд категорий на основании файловых спектральных значений пикселей.

Классификация растровых и матричных изображений происходит при решении следующих задач:

- ✓ распознавание объектов по совокупности их признаков (диагностика);
- ✓ отбор ячеек матрицы в заданных границах объектов для последующего определения статистических параметров;
- ✓ уточнение границ объектов на основе статистических различий многомерных данных (анализ соседства);
- ✓ проверка априорных гипотез о структуре данных.



Рис. 20. Рекомендуемая схема обработки информации при создании карты

Качество классификации во многом зависит от исходной информации. Лучшие результаты получаются при использовании многомерных данных. Но при этом необходимо четко представлять, что вряд ли можно получить сколь угодно значимый результат классификации при использовании данных, собранных в разных шкалах измерений.

Существуют два основных метода классификации: автоматическая и классификация с обучением. В первом случае задаются основные руководящие принципы для модели классификации в виде некоторых статистических характеристик, но само определение классов и отнесение ячеек матрицы к одному из них происходит полностью автоматически. Метод классификации с обучением основан на использовании готовых эталонов. Эталоны создаются пользователем путем распознавания и идентификации характерных объектов изображения (эталонных выборок ячеек матрицы) непосредственно или с использованием дополнительной информации, источниками которой могут служить другие изображения.

Фильтрация данных предусматривает наложение фильтра матричных коэффициентов, на основе которых пересчитываются значения растра, находящиеся в «окне» под фильтром. После выполнения операций с одной группой ячеек фильтр смещается на одну ячейку в сторону, и операция повторяется, то есть выполняется обработка в скользящем окне. Фильтрация данных используется главным образом при обработке непрерывных растров (материалов дистанционного зондирования или поверхностей) для подчеркивания или сглаживания деталей изображения, то есть как средство оценки и конфигурации границ.

Различают фильтры высоких частот (ФВЧ), низких частот (ФНЧ) и анизотропные фильтры. Фильтр высоких частот предназначен для выделения деталей в растровом изображении (краев областей или линейных объектов). Фильтр низких частот, наоборот, удаляет все мелкие флуктуации, представляя изображение в сглаженном виде. Анизотропные фильтры подчеркивают группировку и ориентацию удлиненных объектов и могут быть использованы для выделения линейных элементов. Большинство геоинформационных систем, выполняющих фильтрацию, позволяют менять размер фильтра и значения коэффициентов. Чем больше размер фильтра, тем большее сглаживание можно получить при использовании ФНЧ. При использовании ФВЧ, наоборот, с ростом его размера может быть получено более качественное подчеркивание мелких деталей растра.

Тематическая обработка данных включает в себя построение производных карт, пространственный анализ и интерпретацию данных. Построение производных карт выполняется преимущественно на матричных моделях и предпо-

лагают создание новых карт путем алгебраических, тригонометрических или логических вычислений по произвольному набору исходных матричных слоев с любыми типами количественных и качественных шкал. Алгоритм вычислений задается путем ввода формулы обработки данных. В случае работы с полигональными покрытиями тематическая обработка предусматривает операции пространственного наложения слоев, в том числе объединение, пересечение, слияние, объединение по атрибуту и вырезание.

Пространственный анализ предполагает выполнение процедур поиска и идентификации объектов, измерения пространственных характеристик, анализа пространственного распределения.

Процедура поиска объектов по группе атрибутов по сути аналогична отбору данных.

Результаты измерений картографических объектов важны как сами по себе, так и для использования их в различных аналитических функциях. Поскольку точки не имеют пространственной протяженности, осуществляются измерения длин линий, периметров и площадей полигонов. В геоинформационных системах все эти операции, как правило, автоматизированы. Несложная математическая обработка элементарных измеряемых характеристик позволяет получить новую информацию. Например, можно получить характеристику извилистости линии путем вычисления отношения ее длины к расстоянию между крайними точками. Некоторой условной характеристикой сложности формы площадного объекта является отношение периметра к его площади.

Кроме описанных простых измеряемых характеристик объектов существуют и более сложные, требующие специальных программных модулей. Например, мера кривизны линий, мера пространственной целостности полигонов, мера развитости границ площадных объектов и т.п.

Кроме измерений величины и формы объектов, важно измерение расстояний между ними как для пространственного анализа, так и для непосредственной оценки движения к ним, от них и вокруг них (например, при составлении организационного плана полевых работ). *Простое расстояние* определяется элементарно как в векторных, так и в растровых моделях и представляет собой прямую линию между двумя точками. Но довольно часто продвижение по такой прямой затруднено природными факторами и даже ограничено естественными или искусственными барьерами, поэтому требуется определение *функционального расстояния*, то есть пути по наименьшему сопротивлению. Реальной задачей такого класса является определение направления стока по топографической поверхности.

Пространственное распределение – это порядок, концентрация или рассеянность, соединенность или бессвязность многих объектов в пределах заключающего их географического пространства. Простейшей мерой распределения точечных объектов является *плотность* (число точек на единицу площади). Сравнивая плотности точечных объектов в разных областях (например, точки минерализации), можно получить количественное представление об их пространственном распределении. При осуществлении процессов мониторинга можно сравнивать плотности точек в разные моменты времени. Другой мерой распределения точечных объектов является статистический показатель ближайшего соседства, характеризующий рассеянность точек. Сравнивая этот показатель с индексом случайного распределения (единица, деленная на удвоенный квадратный корень из плотности), можно получить представление о характере распределения (равномерном, регулярном, случайном, группированном) и искать причины группирования.

Аналогично можно рассчитать плотность линейных и полигональных объектов как отношение к определенной площади суммарной длины линий или суммарной площади полигонов. Но ввиду абстрактности этого показателя он мало чего дает для пространственного анализа.

Традиционные представления о закономерностях размещения полезных ископаемых и прогнозные оценки базируются на выявлении пространственных связей одних геологических объектов относительно других. Одним из способов выявления таких связей является построение буферных зон относительно предполагаемых рудоконтролирующих объектов и расчет плотностей пунктов минерализации (рудопроявлений, месторождений и т. п.) в этих зонах. Либо строится дискретная карта ближайших расстояний до предполагаемых рудоконтролирующих объектов с последующим расчетом плотностей в каждой равноудаленной зоне.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Что такое дискретные образы? Приведите примеры таковых для точечных, линейных и площадных объектов. Чем дискретные образы отличаются от непрерывных объектов реального мира?*
- 2. В чем сущность растровой модели данных? Как влияет размер ячеек на точность определения местоположения объектов?*
- 3. В чем заключаются основные преимущества и недостатки растровых моделей данных?*
- 4. Чем отличается грид от растра, тематический грид от непрерывного?*

5. В чем заключается принципиальная разница между простым набором графических примитивов и векторной геоинформационной моделью?
6. Почему векторную модель называют объектно-ориентированной?
7. Как векторная модель описывает пространство между объектами?
8. Как организуются данные при цифровом картографировании? В чем состоит сущность слоевой структуры данных?
9. Каким образом осуществляется пространственная привязка раstra к рабочей системе координат?
10. В чем заключается смысл картографической компиляции?
11. Какие ошибки сопровождают процесс оцифровки данных? Как они классифицируются?
12. Какие операции предусматривает процесс редактирования векторных данных?
13. Какие технологические операции позволяют извлечь новую информацию из цифровой модели карты?
14. Какие задачи решают процедуры классификации и фильтрации?
15. Что включает в себя тематическая обработка данных?
16. С помощью каких процедур осуществляется пространственный анализ? Что такое пространственное распределение данных?

4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

4.1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ПОКРОВНЫХ ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

По определению, данному ранее, покровные вулканогенно-осадочные комплексы пород представляют собой умеренно дислоцированные преимущественно осадочные образования с ясно выраженной стратификацией, слагающие осадочные бассейны. В палеогеографическом плане осадочный бассейн представляет собой единую область седиментации в рассматриваемый интервал времени и с естественно выделяющимися границами. С морфологической точки зрения осадочный бассейн представляет собой часть геологического пространства, заполненную преимущественно плоскими геологическими телами – слоями осадочных пород. Слой или пласт – термин свободного пользования, объединяющий отложения, имеющие общие литологические или палеонтологические признаки.

4.1.1. Стратиграфические основы картирования

Геологические процессы прошлого прямому наблюдению недоступны и познаются только по их результатам, запечатленным в составе и строении земной коры. Точно так же недоступно прямому наблюдению течение геологического времени. Оно познается только по смене геологических тел. Выделение естественных группировок геологических тел и соответствующих им этапов развития составляет суть естественной периодизации геологического развития земной коры, т.е. стратиграфии. Восстановление последовательности геологических событий прошлого Земли составляет задачу геохронологии.

В узком понимании этого слова термин стратиграфия означает описание слоев и используется при описании последовательности накопления осадочных пород в конкретных разрезах. На основе множества таких частных описаний восстанавливается геологическая история сначала отдельных участков, затем крупных регионов, а потом земной коры в целом. Таким образом, простые геологические тела (слои) являются элементарными стратиграфическими единицами. Каждое тело отражает отдельное событие в истории Земли. Но образование отдельно взятого геологического тела – только краткий эпизод в истории развития Земли. Элементарные стратиграфические единицы объединяются в региональные стратиграфические комплексы, принадлежащие одному этапу формирования.

4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Акро- тема	Эоно- тема	Эра- тема	Система	Возраст, млн.лет назад	Отдел и подотделы	
	Фанерозой	Кайно- зойская	Четвертичная Q	1,8	Голоцен Н	
			Неогеновая N	23	Плейстоцен P	Неоплейстоцен NP
КZ	Палеогеновая-P		165			
Протерозой PR	Верхний протерозой PR ₂	Мезо- зойская	Меловая K	135	Эоплейстоцен E	Миоцен N ₁
			MZ	Юрская J		
	Триасовая T	235				
Нижний протерозой PR ₁	Палеозойская PZ		Пермская P	280	Плиоцен N ₂	Олиго- цен P ₃
			Каменно- угольная C	345	Эоцен P ₂	
Девонская D			400	Палео- цен P ₁		
Силурийская S			435			
Ордовикская O			490			
Кембрийская Є			570			
Докембрий			4700			

Рис. 21. Общая стратиграфическая шкала

Законодательным органом стратиграфической службы в нашей стране является Межведомственный стратиграфический комитет (МСК), объединяющий ведущих специалистов в области стратиграфии из разных геологических учреждений. По стратиграфическим схемам, принятым МСК, составляются геологические карты территории страны. В частности, Межведомственным стратиграфическим комитетом России принята, постоянно совершенствуется и уточняется общая стратиграфическая шкала, использование которой обязательно при проведении федеральными геологическими службами любых геологических работ на территории России (рис. 21).

Расширенное заседание бюро МСК 31 января 1991г. своим постановлением утвердило второе издание Стратиграфического кодекса как свода правил и рекомендаций, обязательных при проведении геологических работ на территории страны. В отечественной геологии кодексом предусматривается деление стратиграфических подразделений (стратонов) на основные и специальные (рис. 22). Категории основных подразделений отражают их географическое распространение, причем подразделения более низкого ранга в сумме составляют полный объем подразделений более высокого ранга. Специальные подразделения являются единицами частного обоснования и используются в качестве вспомогательных по отношению к основным при расчленении и корреляции разрезов.

Местные подразделения — это свиты, серии и комплексы, набор которых может быть различен в разных частях одного бассейна осадконакопления. Основным подразделением местной стратиграфической шкалы является свита — совокупность развитых в пределах какого-либо геологического района отложений с устойчивыми литолого-фациальными характеристиками, палеонтологическими особенностями и ясными границами. Свита обычно выделяется как естественный интервал разреза, отвечающий определенному этапу геологического развития района или его части. Нередко границы свиты представляют собой стратиграфические перерывы. Свитам дается название, как правило, по географическому местонахождению стратотипа. Хронологическим аналогом свит является время. Свиты могут подразделяться на подсвиты. Несколько свит, характеризующихся общими признаками, объединяются в серию. Две или несколько серий составляют комплекс. Из специальных подразделений наиболее важным для полевой работы является маркирующий горизонт. Это слой, отличающийся от других горных пород какими-то легко узнаваемыми литологическими особенностями: цветом, составом, минеральными включениями или палеонтологическими остатками. Отличительные признаки маркирующего горизонта должны быть устойчивыми на большой площади. Узнавание маркирующего горизонта на

новых участках работ дает возможность сопоставления и прослеживания разрезов, быстрого определения, какой части разреза принадлежит изучаемое обнажение.

<i>Основные стратиграфические подразделения</i>		
Общие	Региональные	Местные
Акротема Эонотема Эратема Система Отдел Ярус (подъярус) Зона Раздел <i>Звено</i> <i>Ступень</i>	Горизонт (подгоризонт) Лона Слои с гео- графическим названием	Комплекс Серия Свита (подсвита) Пачка
<i>Специальные стратиграфические подразделения</i>		
<p><i>Литостратиграфические:</i> толща, пачка, слой (пласт), маркирующий горизонт, органогенные массивы, стратогены.</p> <p><i>Биостратиграфические:</i> биостратиграфические зоны различных видов (зона распространения таксона – бизона, зона совместного распространения, филозона, интервал-зона, акмезона, комплексная зона); ареальные зоны (провинциальная зона, местная зона); вспомогательные подразделения (слои с фауной или флорой).</p> <p><i>Климатостратиграфические:</i> климатолит, стадиал, наслой.</p> <p><i>Магнитостратиграфические:</i> магнитозоны (мегазона, гиперзона, суперзона, ортозона, субзона, микрозона).</p> <p><i>Сейсмостратиграфические:</i> сейсмокомплексы.</p>		

Рис. 22. Классификация стратиграфических подразделений

4.1.2. Расчленение и корреляция разрезов

Картирование осадочных бассейнов начинается с общих процедур – выявления и проведения границ геологических тел. Здесь эти процедуры получили специфические названия *расчленения и корреляции* разрезов. Главным способом организации точек наблюдения является способ пересечений.

Под *расчленением* разрезов понимаются какие-либо операции, позволяющие на основании одного или нескольких генетически связанных признаков подразделять стратифицированную толщу, вскрытую обнажениями или горными выработками, на ряд однозначно определяемых интервалов. Эти интервалы мо-

гут быть последовательными, но могут характеризовать и отдельные участки разреза.

Существенное значение при выделении границ имеет обычно задаваемое заранее требование к детальности изучения разрезов и соответственно мощности выделяемых слоев. Как правило, эта детальность определяется масштабом съемки, элементами залегания пород, расчлененностью рельефа и обнаженностью территории. Например, в инструктивных документах по геологической съемке масштаба 1:200000 указывается, что плотность наблюдений должна обеспечивать обоснованность (достоверность) не менее 50 % показанных на карте геологических границ, мощность наименьшего по рангу выделяемого на карте подразделения не должна превышать для дислоцированных отложений 1,5 км, а для горизонтально и полого залегающих – 150–200 м. Геологическая граница будет считаться достоверной, если она зафиксирована через каждые 2–5 км по простиранию или установлена между обнажениями, удаленными друг от друга не более чем на 500 м. Независимо от масштаба опорные разрезы расчленяются с максимально возможной детальностью.

Границы осадочных тел могут быть резкостными (явными) и условными и определяются многими факторами:

- ✓ изменениями состава пород;
- ✓ структурно-текстурными особенностями;
- ✓ перерывами в осадконакоплении;
- ✓ тектоникой.

Соответственно расчленение разреза может осуществляться несколькими способами, достаточно подробно описанными в учебной литературе:

1. Литологический способ – геологические границы выделяются на основе различий в составе и структурно-текстурных признаков пород, слагающих наблюдаемый разрез. Этот способ весьма эффективен и прост в исполнении, если разрез представлен контрастными по составу телами большой мощности.

Но достаточно часто бывает, что разрез сложен либо часто повторяющимися типами пород небольшой мощности, либо малоконтрастными литологическими разностями. В этом случае однозначный выбор границы весьма затруднителен и многовариантен, так как будет основан на частных, недостаточно выдержанных в пространстве признаках. Тогда может быть использован геофизический способ расчленения и корреляции разрезов. Способ основан на том, что сравниваются не непосредственно минеральные и петрографические особенности пород, а их физические свойства: электрические, магнитные, плот-

ность, радиоактивность и др., отраженные на геофизических профилях и каротажных диаграммах. По этим диаграммам расчленяют разрезы на пачки, выделяют пачки с одинаковыми свойствами и коррелируют их.

Наконец, в геологической практике часто встречаются мощные монотонные толщи, которые не испытывают каких-либо заметных и закономерных изменений в составе. В этом случае применение литологического способа расчленения разреза резко ограничено наличием маркирующих горизонтов.

2. Способ анализа перерывов и несогласий. Перерывы и несогласия осадочного чехла связаны с различными геологическими процессами и имеют различное пространственное распространение. Седиментационные перерывы возникают за счет процессов либо препятствующих отложению осадков, либо способствующих их уничтожению. При этом возникают несогласия.

Эрозионные несогласия образуются в результате эрозии давно сформировавшихся толщ, размыва пород, но не осадка. Обычно причиной формирования таких перерывов служат тектонические процессы, связанные с поднятием региона, когда перерывы формируются в субэральных условиях. С ними прямо связаны границы картографируемых подразделений, по ним можно судить об истории тектонического развития региона. Кроме того, с перерывами этого типа связаны некоторые месторождения полезных ископаемых, например фосфоритов.

Одной из разновидностей эрозионных несогласий являются угловые (структурные) несогласия, которые выражаются в отсутствии параллелизма между слоями, перекрывающими друг друга в вертикальном разрезе. Возраст слоев, разделенных угловым несогласием, определяет интервал геологического времени (*гаптус*), в течение которого происходили деформации.

Другой тип перерывов фиксируется, когда из вертикального разреза выпадают отложения, отвечающие более или менее продолжительному интервалу времени, но между сформировавшимися толщами не существует структурного несогласия. В этом случае подстилающая и перекрывающая толщи разделяются неровной эрозионной поверхностью с различными новообразованиями. *Поверхность несогласия* обладает рядом признаков, позволяющих отличать их от обычных границ между слоями: это кора выветривания, карстообразование, трещины усыхания, ископаемые почвы, базальные конгломераты в основании вышележащего комплекса, аллювиальные размывы, накопление пород эолового или ледникового происхождения, резкая смена фауны, не обусловленная сменой фаций.

Все перечисленные признаки служат основой для определения нормальной стратиграфической последовательности пачек слоев даже в случае их вертикального или опрокинутого залегания.

Понятно, что для формирования перерыва было необходимо общее поднятие местности, но ни величина поднятия, ни реальный ход соответствующего процесса не могут быть установлены точно. Причиной формирования такого рода перерывов являются эпейрогенические движения, которые определяют смену областей аккумуляции и денудации.

Дифференциация по латерали эпейрогенических движений отрицательного знака приводит к расширению площади осадочного бассейна. Более молодые слои последовательно налегают на поверхность подстилающей толщи и создают несогласия последовательного (трансгрессивного) налегания. Эвстатические колебания уровня моря также формируют поверхности трансгрессивного подошвенного налегания на больших по протяженности участках осадочного бассейна, например вдоль пассивной окраины континента.

Несогласия могут не фиксироваться какой-либо эрозионной поверхностью, однако их присутствие может быть обнаружено по резкой литологической границе между толщами. Это – *скрытые* несогласия.

Перерывы и несогласия осадочного чехла связаны с различными геологическими процессами и имеют различное пространственное распространение. Их длительность колеблется в широких пределах и может достигать десятков и сотен миллионов лет. В случае перерыва осадконакопления между двумя комплексами могли произойти либо тектонические движения, изменившие элементы залегания нижнего комплекса, либо размыв его поверхности. В этом случае поверхность несогласия имеет региональное распространение и позволяет судить о возрастных взаимоотношениях и тектонической истории развития структур крупного ранга. Если размывается еще не литифицированный осадок, перерыв и поверхность несогласия имеют локальное распространение.

Существуют перерывы заведомо синседиментационного характера, возникающие в процессе осадконакопления. Такие перерывы широко распространены в мелководных карбонатных толщах. Их формирование связано с фазами ненакопления осадка, что приводит к образованию поверхностей типа *твердого дна*, либо с фазами растворения карбонатного вещества без остановки процесса седиментации, что приводит к формированию специфических прослоев глин, значительно сокращающих мощность отложений.

Под твердым дном понимаются поверхности, возникающие на морском дне бассейна с преимущественно карбонатной седиментацией при полной оста-

новке или замедлении осадконакопления. В таких условиях мягкие карбонатные илы быстро литифицируются на глубину в несколько сантиметров, и поверхность дна становится твердой. Эти образования обычно легко фиксируются в обнажениях, так как часто фосфатизированы, ожелезнены и сопровождаются следами жизнедеятельности роющих организмов. Протяженность поверхностей твердого дна может достигать десятков и даже сотен километров, что позволяет их использовать в качестве корреляционных маркеров.

Прослой специфических глин в карбонатных толщах достигают мощности в 10 – 30 см и представляют собой скопления сильно разрушенных раковин фораминифер в смеси с монтмориллонитом. Такие прослой формируются вследствие растворения карбонатного вещества угольной кислотой. По-видимому, причиной формирования таких прослоев является резкое возрастание биопродуктивности пелагической области бассейна, в результате чего на дне скапливалось большое количество органики, при окислении которой образовывалась кислота. Условия, благоприятные для накопления незахороненной органики, провоцирующей возникновение глинистых прослоев, возникают в достаточно длительные периоды с пониженной скоростью осадконакопления. Они могут охватывать значительные площади, а глины так же, как и поверхности твердого дна, могут быть использованы для корреляции отложений.

Стратиграфические перерывы и несогласия существенно сокращают осадочную летопись, сохраняя часто не более четверти накопленных осадков.

Каждое достаточно мощное поднятие сопровождается эрозией и образованием региональной поверхности несогласия. Такая поверхность становится репером, по которому можно проводить сопоставление соседних разрезов так же, как по маркирующему горизонту. Более надежные выводы можно делать по толщам, заключенным между двумя поверхностями несогласия. Они рассматриваются как одновозрастные, несмотря на то, что могут включать слои в разном количестве и разного состава.

Ритмостратиграфический способ. Несогласия могут быть скрытыми и не фиксироваться какой-либо эрозионной поверхностью, однако их присутствие может быть обнаружено по резкой смене литологического состава пород, связанного с глубиной бассейна осадконакопления. В периоды поднятия накапливались мелководные отложения, в периоды опускания – более глубоководные. Выделение этих пачек позволяет наметить ритмы в разрезе осадочной толщи. Сопоставление ритмов позволяет коррелировать разрезы в пределах одного бассейна осадконакопления.

В результате выделения и прослеживания конкретных геологических тел и определения их относительного и изотопного возраста составляется местная схема стратиграфии. Разрез, на котором впервые выделено стратиграфическое подразделение, называется *стратотипом*, а район, где находится стратотип и дополняющие его разрезы, – *стратотипической местностью*. Стратотип служит эталоном для последующего сравнения с ним того же стратиграфического подразделения в других районах. Стратотип может быть составным. Составным стратотипом называется совокупность близко расположенных разрезов, дающих в сумме полный типовой разрез данного стратона. Разновидностью составного стратотипа является ареальный стратотип – совокупность разрезов, расположенных в пределах стратотипической местности и обеспечивающих определение границ и возрастной последовательности слоев как стратиграфическими, так и геоморфологическими методами. Ареальный стратотип применяется для региональных и местных подразделений четвертичной системы и континентальных неогеновых отложений.

Общими требованиями, предъявляемыми к стратотипам, являются:

- ✓ типичность разреза для данного стратиграфического подразделения;
- ✓ полнота разреза, ясная последовательность и возможность наблюдения границ с непосредственно подстилающими и перекрывающими отложениями;
- ✓ доступность и сохранность для многократного осмотра и изучения.

Корреляция разрезов подразумевает их сопоставление с целью выяснения đồngовозрастности соответствующих отложений. Корреляция местных стратонов в пределах всего бассейна осуществляется с помощью региональной шкалы. Основным подразделением последней является горизонт. По названию и отчасти по смыслу горизонт не имеет аналогов в западноевропейской и американской стратиграфической номенклатуре. Горизонт — это хроностратиграфическое подразделение, объединяющее одновозрастные свиты или их части, т.е. его границы могут сечь границы свит, особенно в краевой зоне бассейна. Имея биостратиграфический стандарт, определяющий его полный объем, горизонт прослеживается по всей площади бассейна любыми доступными методами. Отечественный стратиграфический кодекс признает, что горизонт фактически представляет собой региональный ярус или подъярус. Его функция заключается в создании надежного временного каркаса для одного бассейна или палеобиогеографической провинции. Такой каркас отражает естественные рубежи в развитии биоты и изменении условий данного бассейна и заменяет для него общую шкалу.

Из приведенного выше определения свиты следует, что в соответствии с принципом Головкинского – Вальтера о возрастной миграции границ фаций границы свит на площади не будут оставаться изохронными, а будут несколько скользить во времени. Такое скольжение границ литостратонов обычно называется *диахронностью*. Обычно степень диахронности не очень велика, но иногда она может достигать одного – двух ярусов. Для геосторического анализа бассейнов необходимо всегда иметь в виду диахронный характер границ свит, особенно если эти границы совмещены с крупными перерывами, так как в различных разрезах подошва и кровля одной и той же свиты будут иметь довольно разный возраст, и при геосторическом анализе в процессе картирования это следует обязательно учитывать.

Корреляция литостратонов по площади бассейна основывается, прежде всего, на биостратиграфических данных. Продуктом биостратиграфических работ являются зональные шкалы различных рангов, составленные на базе опорных разрезов.

Разнообразие пространственно-временных соотношений органических остатков (рис. 23) вызвало создание большого числа зональных подразделений, но только часть из них прошла испытание временем и достаточно прочно вошла в геологическую практику. В нашей стране Стратиграфическим кодексом рекомендованы к использованию следующие биостратиграфические зоны: биозона (зона распространения таксона), зона совместного распространения, филозона, интервал-зона, акме-зона (эпиболь) и комплексная зона.



Рис. 23. Пространственно-временные соотношения организмов:

А – Е – поля распространения одного таксона

Из [Геосторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов, 1999]

Комплексная зона устанавливается по всему комплексу или части комплекса фоссилий, заключенных в стратоне. Исходя из определения, этот термин включает в себя и *зону совместного распространения*, которая устанавливается по формальным признакам перекрытия зон таксонов в частных разрезах. Подобные зоны устанавливаются, скорее, для удобства сопоставления каких-либо стратиграфических интервалов по признаку присутствия тех или иных таксонов, а не для целей региональных корреляций, поскольку надежность корреляций этих зон сравнительно невысока. *Зона распространения* соответствует полному стратиграфическому распространению ископаемой формы во всех разрезах, где она встречается. Применение этих зон обычно ограничивается конкретными регионами и разрезами.

Акме-зона соответствует расцвету и наибольшему количественному распространению таксона. Такие зоны эффективны лишь при местных корреляциях. *Филозоны* удобно использовать в монотонных разрезах, поскольку они устанавливаются по морфологическим признакам, появляющимся у той или иной группы организмов. *Интервал-зоны* используются только для целей корреляции и устанавливаются как интервалы распространения каких-то ископаемых между двумя отчетливыми биостратиграфическими зонами. Сюда же могут быть отнесены и *интразоны* – интервалы отсутствия ископаемых.

Процедура установления региональных биостратиграфических подразделений и их корреляции с общими подразделениями завершается выделением *хронозон*. Какими бы универсальными не были группы органических остатков, границы стратиграфических подразделений не могут быть прослежены по ним повсеместно и в разных фациях. Положение идеальных хронологических границ и реальных стратонов обычно не совпадает (рис. 24).

Поэтому в последнее время предложено определять изохронные границы по изменению физических характеристик Земли (магнитного поля) и геохимических параметров (изотопного соотношения).

Палеомагнитный метод основан на предположении о сохранении в породах естественной остаточной намагниченности — слепка направления и интенсивности магнитного поля Земли, существующего в момент образования осадочной или изверженной породы. Магнитное поле Земли неоднократно меняло свое направление, что соответствующим образом зафиксировано в породах. Переход магнитного поля из одного состояния в другое называется инверсией. Инверсия представляет собой довольно сложный, но в масштабах геологического времени весьма кратковременный процесс, занимая около 5 тыс. лет. Малая длительность инверсий и их глобальный характер делают границы магнитозон по

существо изохронными. Они могут быть выявлены как в морских карбонатных породах, так и в терригенных континентальных и различных вулканических толщах. Это позволяет широко использовать палеомагнитный метод для корреляции разрезов как в пределах одного бассейна, так и в его обрамлении. Негативные моменты применения данного метода связаны с тем, что при нагреве выше $400 - 500^{\circ}\text{C}$ прежнее направление магнитного поля стирается, перемагничивание происходит и при химическом выветривании пород, и при смене знака магнитного поля. Поэтому выявление первичной компоненты далеко не всегда возможно.



Рис. 24. Пространственно-временные соотношения организмов:

1 — идеальная изохронная граница, 2 — здесь жили граптолиты, 3 — здесь жили граптолиты, но их остатки не сохранились, 4 — верхний предел первичного присутствия остатков граптолитов, 5 — верхняя граница отложений с остатками граптолитов (верхняя граница известной в настоящее время граптолитовой зоны).

Из [Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов, 1999]

Для палеомагнитного анализа требуется специальная высокочувствительная аппаратура и отбор большого числа ориентированных с помощью обыкновенного компаса по современному магнитному полю невыветрелых образцов пород. Наилучшие результаты дают породы, содержащие много магнитных минералов — красноцветные терригенные толщи и базальты, а также дайки и интрузивные породы. В последние годы получило широкое распространение изучение только магнитной восприимчивости пород, что менее трудоемко, но хорошо отражает тончайшие колебания в составе осадков.

Стратиграфическим кодексом регламентируется таксономическая шкала соподчиненных магнитополярных подразделений, которым соответствуют таксономические единицы магнитохронологической шкалы:

Мегазона	Мегахрон – более 100 млн.лет
Гиперзона	Гиперхрон -100 – 30 млн.лет
Суперзона	Суперхрон -30 – 5 млн.лет
Ортозона	Ортохрон -5 – 0,5 млн.лет
Субзона	Субхрон - 0,5 млн.лет
Микрозона	Микрохрон – менее 0,5 млн.лет

Ортозона (ранее использовался термин «эпоха») – основное подразделение общей магнитостратиграфической шкалы, представляющее собой монополярный интервал разреза или сочетание разнополярных субзон. По объему ортозона сопоставима с ярусом или его частью. Ортозоны нумеруются отдельно по полярности и часто имеют имена собственные.

В настоящее время в интервале от средней юры до современности разработаны весьма детальные номерные палеомагнитные шкалы. Существенным недостатком метода является отсутствие «собственного лица» у каждой магнитозоны, поэтому без дополнительной информации, обычно биостратиграфической или геохронологической, невозможно в конкретной последовательности зон провести их идентификацию с общей шкалой. Если в разрезе имеются перерывы, то легко сбиться в определении зон, поскольку нередко происходит лишь их последовательный счет.

Несмотря на отмеченные сложности и недостатки, палеомагнитный метод — один из немногих, который является универсальным, позволяя расчленять и коррелировать разнофациальные морские и континентальные отложения глобально.

Другим методом, получившим весьма широкое применение в последние годы, является *хемотратиграфия*. Метод основан на использовании стабильных изотопов и применим только к морским карбонатным толщам. Основными изотопными соотношениями являются $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Изменения этих отношений определяются процессами, протекающими в атмосфере, гидросфере и биосфере. Климатические колебания, изменения скорости эрозии континентов, изменения продуктивности морских экосистем, быстрое захоронение органического вещества приводят к глобальным сдвигам этих отношений. Установлены два типа таких сдвигов. Одни из них носят медленный направленный и закономерный характер. Возраст и корреляция по ним получаются путем совмещения выявленной кривой для данного разреза или района со стандартным графиком. Другие сдвиги весьма кратковременны и носят характер

внезапных отклонений от более или менее стабильных фоновых значений. Такие сдвиги могут использоваться как идеальные реперы глобальной корреляции.

Геологическая карта районов с преимущественным развитием покровных комплексов представляет собой в основном изображение площадных объектов – полей распространения литостратонов. Генерализация таких карт осуществляется в основном по двум направлениям – по возрасту и литологическому составу (табл. 8).

Таблица 8

Изменение содержания геологических карт в зависимости от масштаба

<i>Содержание карт</i>	<i>Масштабы карт</i>			<i>Изобразительные средства</i>
	<i>Крупный</i>	<i>Средний</i>	<i>Мелкий</i>	
<i>Стратиграфия</i>				
Подразделения основной шкалы			+	Индекс
Подразделения местной шкалы	+	+		Цвет с оттенками
Подразделения специальной шкалы	+	+		
<i>Литология и петрография</i>				
Обобщенная характеристика	+	+	+	Крап
Дробная характеристика				

Определение возраста стратиграфических подразделений должно базироваться на использовании палеонтологического, изотопно-геохронологического и палеомагнитного методов с учетом взаимоотношений с подстилающими и перекрывающими отложениями. Возраст свит и толщ должен быть определен палеонтологическими или геохронометрическими методами до отдела и яруса. При невозможности выделить местные стратиграфические подразделения выделяются литостратиграфические таксоны – толщи (подтолщи), в необходимых случаях выделяются органогенные массивы. Состав на картах показывается только при необходимости отражения существенных особенностей осадочной толщи. Состав вулканических подразделений показывается всегда.

В последние десятилетия при картировании осадочных бассейнов широко применяются методы анализа сейсмических профилей. Главное достижение интерпретации сейсмических профилей – возможность увидеть реальную геометрию геологических тел, прослеженных непрерывно на десятки километров. Та-

ким образом, сейсмические данные могут использоваться для анализа стратиграфии и фаций осадочных бассейнов.

Техника сейсмостратиграфического анализа состоит в следующей процедуре: 1) анализ сейсмического профиля и выделение сейсмических секвенций (последовательностей, серий), т.е. выделение границ тел в полях волновой картины; 2) корреляция с данными имеющихся скважин и привязками волновой картины к реальным геологическим границам; 3) выделение и анализ сейсмических фаций; 4) интерпретация литофаций в связи с сейсмическими секвенциями. *Секвенция* – это трансгрессивно-регрессивная серия осадков, ограниченная снизу и сверху несогласиями. При этом во время повышения уровня океана и трансгрессии, а затем падения уровня океана и регрессии в областях перехода от континента к океану сильно меняются пути, по которым транспортируется обломочный материал с суши в моря. Системы путей транспорта осадочного материала с суши в моря вместе с накопившимися осадками называются *системами трактов*.

В колебаниях уровня водной поверхности в бассейнах осадконакопления во время трансгрессивно-регрессивных циклов выделяются: низкое стабильное стояние, подъем уровня, высокое стабильное стояние, падение уровня. На рис. 25 показана принципиальная схема строения осадочного комплекса, сформированного в условиях низкого, а затем высокого стояния уровня моря. Схема построена на базе интерпретации сейсмических профилей.

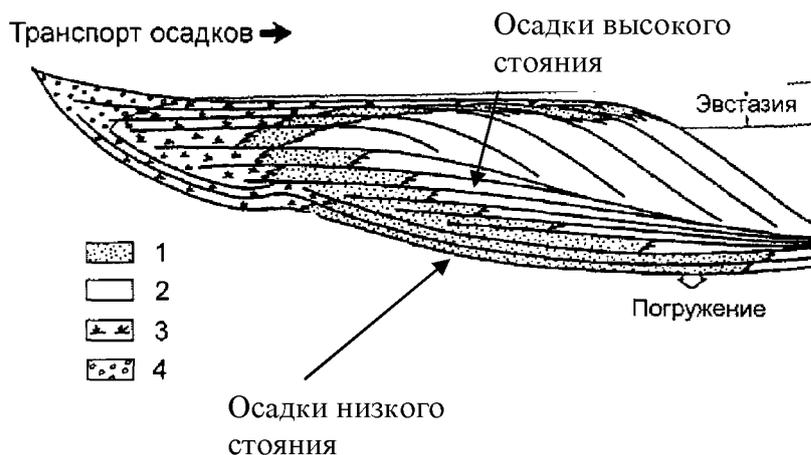


Рис. 25. Принципиальная схема строения серии осадков, сформированных в условиях трансгрессивно-регрессивного цикла:

- 1 – прибрежный пояс песков; 2 – морские тонкозернистые осадки;
- 3 – осадки прибрежной равнины; 4 – осадки аллювиальной равнины

Из [Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов, 1999]

Граничные поверхности элементов слоистости образуются в результате перерыва в осаднении осадка и вследствие эрозии. Геометрические соотношения между граничными поверхностями геологических тел, образуемых косыми сериями, могут быть самыми разнообразными. Если эти поверхности наблюдать в разрезе, то их можно описать такими терминами, как плоские, вогнутые, выпуклые, волнистые, неровные, непрерывные, параллельные, сходящиеся и т.д. Многочисленные наблюдения геометрии и соотношений граничных поверхностей на сейсмических профилях позволили выделить несколько основных типов этих соотношений (рис. 26):



Рис. 26. Основные типы соотношений граничных поверхностей, принятые в сейсмостратиграфии.

Стрелки показывают окончания рефлекторов (отражающих поверхностей).

Из [Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов, 1999]

эрозионное срезание – залегание вышележащих отложений параллельно поверхности эрозии. Встречается чаще всего в связи с угловыми несогласиями;

подошвенное прилегание – прислонение толщи слоев на моноклиналиную поверхность, наклоненную в ту же сторону, что и слои, но более круто;

подошвенное налегание – несогласие, когда слои наклонены книзу и утыкаются в более пологую поверхность;

кровельное утыкание – срезание моноклиналино залегающих слоев сверху более пологой эрозионной поверхностью.

4.1.3. Геоисторические реконструкции

Геоисторические реконструкции при картировании осадочных бассейнов заключаются в проведении фациальных и палеотектонических исследований.

Понятие «фация» было введено в геологическую практику швейцарским геологом А. Грессли в 1938 г. для отложений одного стратиграфического горизонта, отличающихся друг от друга составом пород и заключенных в них органических остатков. Прослеживая каждый стратиграфический

горизонт, А. Грессли выделял виды отложений, подразумевая под фаціальным анализом сравнение этих видов. В более широком смысле осадочная фация – это геологическое тело, которое отличается от других по геометрии, литологии и ископаемым остаткам.

Учитывая, что различные виды отложений образуются в различных условиях, важной задачей является изучение первичных признаков отложений, отражающих условия их образования. Такие признаки называются фаціальными. Фаціальные признаки осадочной породы, в свою очередь, зависят как от характера процессов осадконакопления и диагенеза, так и от обстановки протекания этих процессов (рис. 27).



Рис. 27. Структурно-логическая схема фациального анализа осадочных пород

Для фациального анализа важно прослеживание изменения состава отложений и условий их образования как по площади, так и в разрезе. Трехмерная масса горной породы с постоянными литофациальными свойствами называется *литосомой* (от греч. *lithos* – горная порода и *soma* – тело), причем понятие литосомы касается прежде всего геометрической формы тела и его границ. Поскольку литосомы выделяются прежде всего на сейсмических профилях, с ними тесно связано понятие *сейсмофации*.

В общем смысле понятие «сейсмофация» идентично обычным геологическим фациям, то есть это часть геологического пространства, отличающаяся от других частей (фаций) некоторыми особенностями. Этими особенностями сейсмофаций являются геометрия и внутренний рисунок секвенций, наблюдаемых в сейсмических профилях. Очевидно, что выделение сейсмофаций обязательно должно сопровождаться реальной геологической интерпретацией, подтвержденной данными бурения.

В настоящее время выделяются следующие виды сейсмофаций:

параллельная слоистость – толща с параллельно залегающими слоями. Такие сейсмофации характерны для осадков на шельфах или на ложе глубоководных бассейнов;

осадочные призмы (клинья) – серия осадков, равномерно утолщающихся в каком-либо направлении. Такие сейсмофации с близкой к параллельной стратификацией также характерны для осадков на шельфах или в глубоководных бассейнах;

пластовое облежание – серия осадков облегает выступы основания. Такие сейсмофации связаны, вероятно, с неравномерностью постседиментационного уплотнения осадка на топографически неровной поверхности;

банка – сейсмофация с внешними границами в виде субплоского тела с пологим склоном;

клиноформная проградация (клиноформа) – сейсмофация, обусловленная внутренним клиноформным расчленением и продвижением осадков (см. рис. 25);

заполнение канала – сейсмофация заполнения эрозионного канала. Внешние границы сейсмофации обычно выделяются четко, а внутренняя структура бывает очень сложной;

холм – сейсмофация с внешними границами в виде холма и сложным внутренним строением. Обычно это карбонатные или вулканические постройки, реже – скопления обломочных пород;

линза – сейсмофация с линзовидными внешними ограничениями и сложной внутренней структурой;

бугристая сейсмофация – сейсмофация с внутренним бугристым строением и неясными внешними контурами. Характерна для толщ со сложной внутренней структурой, связанной с быстрым перемещением обломочного материала;

прозрачная сейсмофация – сейсмофация, в которой не наблюдаются отражающие площадки. Это может быть однородная толща с тонкой параллельной слоистостью, один мощный слой, или сложноустроенная толща.

При геологической интерпретации сейсмофаций широко используется понятие «энергия седиментации»: осадки с высокой энергией седиментации – это те, которые осаждаются из быстрых потоков, а осадки с низкой энергией седиментации – осажденные в условиях спокойной гидродинамики. Наиболее четко на сейсмических профилях видны границы переслаивания осадков с высокой и низкой энергией седиментации.

Основным способом представления результатов фациального анализа является составление литофациальных и палеогеографических карт, при этом необходимо все палеогеографические реконструкции производить в строго определенных хроностратиграфических единицах. Совокупность фациальных карт и их палеогеографическая интерпретация в разрезе позволяет получить картину развития данной территории во времени.

Создание литофациальных и палеогеографических карт базируется на данных анализа внутреннего строения отложений конкретного стратиграфического интервала в разрезах обнажений и скважин. Чаще всего этот анализ носит количественный характер. Как бы ни была густа сеть наблюдений, анализу всегда подвергается конечный и неполный объем материала, а недостаток его восполняется путем интерполяции и экстраполяции, а также собственными представлениями автора. В результате палеогеографические реконструкции всегда содержат элементы субъективности.

Наиболее распространены литофациальные карты, позволяющие представить состав и внутреннюю изменчивость литологически неоднородных стратиграфических подразделений. К этой группе карт относятся карты процентного содержания двух литологических компонентов (например, относительной угленосности) и карты количественных отношений между различными осадками. На эти же карты обычно выносятся мощность стратиграфических подразделений в виде изопахит. Часто показываются элементы тектонической структуры района,

активные во время формирования отложений рассматриваемого стратиграфического интервала: разломы разного типа, консолидационные деформации и др.

Менее распространены карты литологической однородности (энтропии) стратиграфических единиц. Понятие энтропии многокомпонентной системы связано со степенью неупорядоченности этой системы. Применительно к фациальному анализу литофациальная энтропия в определенной точке седиментационного бассейна означает степень смешивания чистых литологических компонентов в разрезе конкретного стратиграфического подразделения. Области, в которых преобладает один компонент, имеют низкие значения энтропии, а их литологическое состояние четко определено. Области с нечетким литологическим состоянием имеют высокие значения энтропии. Поскольку сами низкие значения энтропии не показывают, какие именно чистые литологические компоненты преобладают, обычно для пространств с энтропией ниже 60 применяют цветовые или штриховые обозначения (рис. 28).

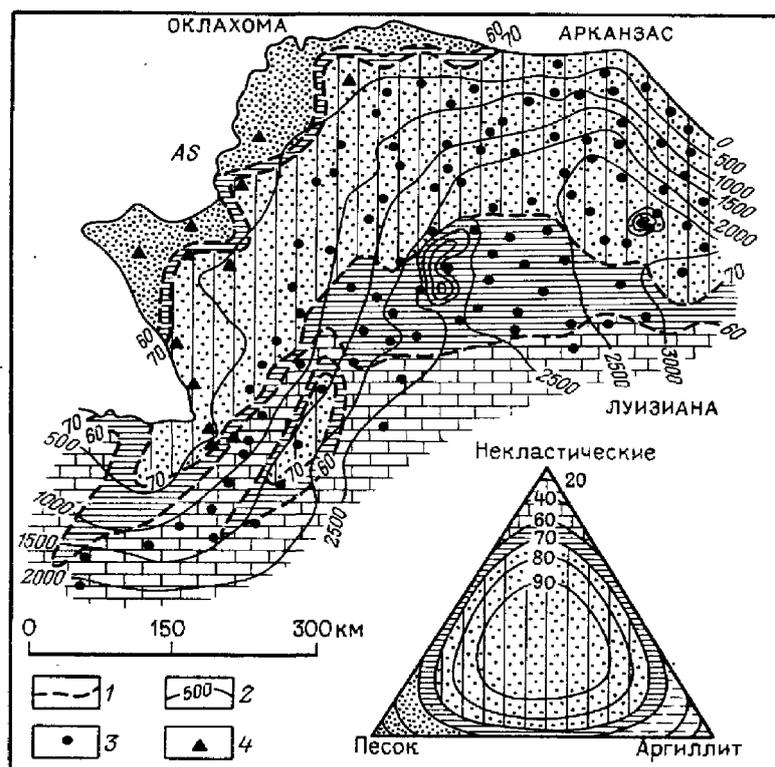


Рис. 28. Фациальная карта относительной энтропии меловой группы Тринити.
Изолинии: 1 — значений энтропии, 2 — мощности стратиграфического подразделения; Точки наблюдения: 3 — скважины, 4 — обнажения.

Справа внизу – классификационный треугольник для графического изображения энтропии трехкомпонентной системы.

Из [Седиментология..., 1980]

Переход от литофациальных карт к палеогеографическим осуществляется путем реконструкций физико-географической обстановки накопления различных типов отложений. При этом определяются направления сноса обломочного материала, морских течений и т.д. При исследовании таких особенностей седиментации, как глубины бассейнов, солености, динамики среды, температурного режима, важное значение приобретает распределение в осадках органических остатков, которые схематически изображаются на схемах фактического материала. По возможности восстановлению подлежат не только обстановки осадконакопления, но и характер рельефа размываемых областей в пределах прилегавшей суши.

Значение палеогеографических построений для целей геологического картирования и восстановления истории геологического развития картографируемой области велико. Распределение мощностей совместно с фациальной зональностью дают возможность судить о характере и интенсивности вертикальных движений. Совмещение отложений различных структурно-фациальных зон в складчато-надвиговых областях позволяет реконструировать горизонтальное смещение по тектоническим покровам и сдвигам. Практическое значение палеогеографических карт заключается в возможности прогнозирования по ним расположения месторождений осадочных полезных ископаемых, образование которых тесно связано с особенностями осадконакопления древних пород.

Вулканогенно-осадочные покровные комплексы в своем составе довольно часто содержат вулканические образования. Специфика вулканической деятельности подразумевает формирование геологических тел как на земной поверхности, так и в глубине (рис. 29).

Первая группа тел образуется в условиях действия силы тяжести и, несмотря на специфические особенности, подчиняется закону Стенона. Поскольку при вулканических извержениях магма достигает дневной поверхности и частично дезинтегрируется, вулканические породы несут в себе многие черты осадочных пород. Соответственно аналогичны способы расчленения и корреляции разрезов.

Главные отличия обломочных вулканических пород от осадочных обусловлены особенностями дезинтеграции, переноса и отложения и сводятся к следующему:

- ✓ обломки вулканических пород имеют сложную, иногда остроугольную форму и пористую необработанную поверхность;
- ✓ в составе обломков преобладает магматический материал, нередко обилие препарированных кристаллов и вулканического стекла;

4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

- ✓ вулканические толщи гораздо более неустойчивы и подвержены быстрому разложению с образованием опаловидного или глинистого цемента;
- ✓ слоистость обломочной толщи обусловлена порционностью поступления вулканического материала в соответствии с многократными извержениями. Слои отличаются друг от друга размерностью и составом обломков, слоистость горизонтальна, граничные поверхности ровные.



Рис. 29. Фации и генетические типы вулканических пород

Все эти признаки относятся к первичному непереотложенному вулканическому материалу. В случае переотложения новообразованные толщи дополнительно к описанным приобретают фациальные признаки обычных осадочных пород.

Фациальные различия эксплозивных потоков и покровов вызваны различной удаленностью места накопления обломочного материала от центра извержения. Фация прикратерной зоны в отличие от фаций промежуточной и удаленной зон характеризуется, прежде всего, накоплением более крупного материала. Преобладают здесь обломки размером до 30 см, но встречаются вулканические бомбы диаметром до 1 – 2 м. Типично для прикратерных отложений и отсутствие сортировки по крупности обломков. Довольно часто здесь наблюдается примесь обломков пород фундамента вулканической постройки. Поскольку они по-

ступают на дневную поверхность в первые фазы извержения, то накапливаются в основном в нижних горизонтах толщи, достигая по количеству 30 – 40 %. Интересно, что эти обломки как более плотные и тяжелые по сравнению с вулканическим материалом того же размера способны преодолевать сопротивление воздуха и отлетать от кратера дальше, чем пористый легкий шлак, образуя на определенном горизонте своеобразный шлейф кольцевой формы.

Поскольку фация прикратерной зоны характеризуется наиболее расчлененным рельефом, для вулканических тел характерна более короткая линзовидная форма и резкое выклинивание. Еще одним важным признаком является высокая температура вулканических газов и обломков (до 450⁰ С). Поэтому именно в этой зоне наиболее часты отложения типа "палящих туч" и пирокластических потоков. Вторичный перегрев отложений пирокластических потоков приводит либо к полному спеканию обломков с образованием игнимбритов, либо к частичному спеканию, образованию зон закалки и покраснению мелкообломочного материала.

Вторая группа тел несет в себе все характерные черты интрузивных образований. Особенности их картирования будут описаны ниже. В то же время в жерловой зоне ниже дневной поверхности встречаются своеобразные генетические типы пород, свойственные исключительно вулканическому процессу. Это разнообразные брекчии закрытых эксплозий (туффизиты).

Под закрытой эксплозией понимается инъецирование газовой-флюидной составляющей вулканического процесса в осадочную толщу и взрывообразное расширение вследствие резкого падения давления, которое приводит к раздроблению и интрузивному движению минерального вещества. Эруптивные, эксплозивные и гидротермальные брекчии сменяют друг друга в пространстве по мере удаления от магматического очага или вулканического центра (рис. 30).

Как петрографическая разность все эти брекчии представляют собой агрегат обломков, сцементированный магматическим, обломочным и гидротермальным цементом в различных количественных сочетаниях. У эруптивных брекчий преобладает магматический цемент, у эксплозивных и гидротермальных – обломочный и гидротермальный соответственно. Это один из признаков, отличающих брекчии от туфов. Есть еще ряд существенных отличий. Образование брекчий происходит не путем разбрызгивания лавы, а механическим дроблением ранее сформированных жестких пород. Поэтому форма образующихся обломков определяется существующими структурными элементами вмещающих пород – слоистостью, сланцеватостью и др. Обломки часто содержат остатки прожилков, рудную минерализацию. Состав обломков неоднороден, но, как правило, не от-

личается от состава вмещающих пород. Поскольку брекчии образуются ниже дневной поверхности и по мере движения преодолевают значительное сопротивление среды, обломки подвергаются значительной механической обработке. Острые углы скалываются, обломки вязких пород приобретают изометричную форму, хрупких – дробятся с расположением осколков вблизи друг друга. Для многих обломков характерна внутренняя реакционная кайма, образующаяся под воздействием цемента.

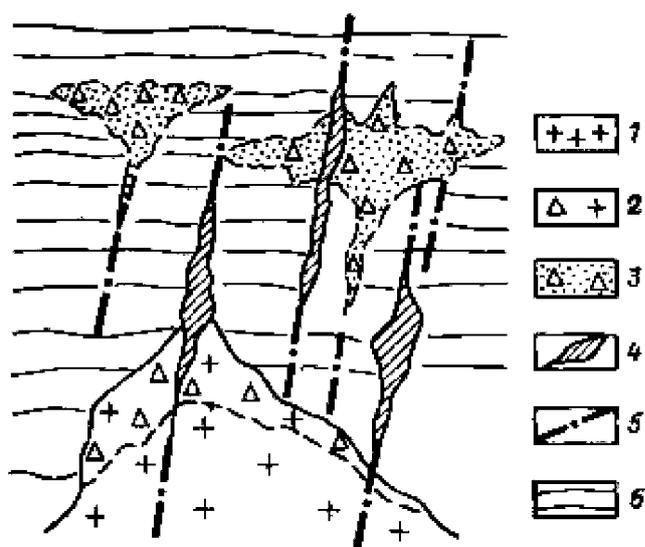


Рис. 30. Вулканические брекчии жерловой и прикратерной зоны:

1 – магматическое тело; 2 – эруптивная брекчия; 3 – взрывная брекчия; 4 – гидротермальная брекчия; 5 – зоны дробления; 6 – вмещающие породы

В отличие от взрывных потоков и покровов эруптивные и гидротермальные брекчии имеют неправильную дайкообразную форму и интрузивное залегание. Для взрывных брекчий наиболее характерна грибообразная форма с интрузивным залеганием "ножки" и субсогласным залеганием "шляпки" (см. рис. 30). Такая форма вызвана специфическим механизмом становления взрывных брекчий. В более глубоких частях разреза на ранней стадии становления брекчий обломочный материал нагнетается по узким закрытым трещинам. На определенном стратиграфическом уровне при резком падении давления газы резко расширяются, дробя вмещающие породы, но теряя способность к активному перемещению.

Брекчии довольно широко распространены в вулканических толщах и относятся к субвулканической фации жерловой и прикратерной зоны. С ними часто связано проявление рудной минерализации, поэтому их распознавание имеет большое значение.

Вопросы для самоконтроля

1. *Какие стратиграфические подразделения являются основными объектами картирования при съемке мелких и средних масштабов?*
2. *Как преобразуются процедуры выявления и проведения границ геологических тел при съемке вулканогенно-осадочных комплексов?*
3. *Какими факторами определяются границы осадочных тел?*
4. *Какие признаки отличают поверхность несогласия от других геологических границ?*
5. *Какой разрез называется стратотипическим? Какие виды стратотипов Вам известны?*
6. *Какие данные являются основой корреляции литостратонов? Охарактеризуйте основное подразделение региональной стратиграфической шкалы.*
7. *В чем заключается основное достоинство сейсмических профилей при картировании осадочных бассейнов? Что такое литосома?*
8. *Какие разновидности фациальных карт Вам известны? Каково практическое значение палеогеографических построений?*
9. *Чем отличаются обломочные вулканические породы от осадочных?*
10. *В чем состоит особенность фациального анализа вулканических пород?*

4.2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ СКЛАДЧАТЫХ И СКЛАДЧАТО-МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

4.2.1. Объекты картирования

Главное отличие складчатых комплексов от покровных заключается в степени насыщенности их магматическими образованиями и в степени дислоцированности и метаморфизованности пород. Следовательно, кроме стратифицированных объектов картирования, описанных в предыдущем параграфе, необходимо выделять на карте магматические и метаморфические образования. По общности петрографических признаков и пространственно-временных связей они объединяются в различные региональные петрографические подразделения.

Основными картографируемыми региональными петрографическими подразделениями (объектами) являются магматические и метаморфические комплексы.

Магматический комплекс – конкретный парагенез магматических пород, слагающих геологические тела и их совокупности в пределах структурно-формационной зоны, обладающие общими особенностями состава, морфологии, строения и соотношения с вмещающей средой. Все члены магматического комплекса близки по возрасту, связаны фазовыми и фациальными отношениями, отражающими динамику единого магматического процесса. Как общий собирательный термин магматический комплекс включает понятия «вулканический комплекс», «плутонический комплекс» и «гипабиссальный комплекс малых интрузий».

Под фазой магматического комплекса понимается его часть, отвечающая определенному импульсу формирования, образованная породами устойчивого состава и отделенная от других фаз четкими границами, фиксирующими прерывистость магматического процесса и позволяющими установить последовательность их образования.

Магматическая фация – часть фазы или комплекса в целом, характеризующаяся однородностью структурно-вещественных признаков, обусловленных различными факторами: положением геологических тел относительно дневной поверхности и центра извержения, температурной неоднородностью застывающего расплава, его гравитационной и ликвационной дифференциацией и другими.

Следует подчеркнуть, что фациальные отличия связаны с изменяющимися в пространстве признаками, отражающими обстановку возникновения одновре-

менно формирующихся тел, а фазы – разновременные объекты, отражающие последовательность формирования. Соответственно фации можно выделять как для комплекса в целом, так и внутри фаз.

Таким образом, магматический комплекс картографируется как совокупность тел конкретной ассоциации магматических пород и является ключевой петрографической единицей, которую рекомендуется выделять на геологической карте и в ее легенде и использовать как основу при описании магматических образований региона. Каждый комплекс имеет индивидуальное название, которое отражает петрографический облик в сочетании с географическим названием, так как он всегда локализован в ограниченном пространстве.

Метаморфический комплекс – ассоциация глубоко метаморфизованных пород, возникающих за счет преобразования в твердом состоянии ранее существовавших осадочных или магматических тел, которые утратили признаки своего первичного состава и строения.

Выделение петрографических объектов производится на уровне геологических тел, слагаемых видами и разновидностями горных пород, и составляет сущность расчленения петрографических образований. Выделение границ петрографических объектов осуществляется в первую очередь на структурно-вещественной основе по особенностям их вещественного состава, строения и соотношения с вмещающей средой. Поскольку эти тела имеют сложную неправильную форму, их границы на карте также имеют сложную конфигурацию. Соответственно на первый план выступает организация точек наблюдений способом прослеживания границ.

Границы тел магматических пород определяются следующими факторами: различиями в составе и структуре картографируемых тел и вмещающих пород; особенностями прототектоники; наличием тектонических нарушений. Соответственно выявление этих границ осуществляется изучением вещественных и структурных особенностей тел и их контактов.

Особенности состава, структуры и прототектоники магматической породы определяются процессами, которые протекают в магме и приводят к ее кристаллизации, и средой, в которой магма локализуется. Магма характеризуется определенным химическим составом и газонасыщенностью. Последняя в свою очередь определяет подвижность магмы, ее проникающую способность, теплоотдачу и, в конечном итоге, форму образующегося тела, глубину становления и степень изменения вмещающих пород. Среда локализации также характеризуется определенным химическим составом, плотностью, проницаемостью и также существенно влияет на глубину становления магматического тела. Таким обра-

зом, и свойства самой магмы, и свойства вмещающих горных пород в первую очередь находят свое выражение в глубине становления магматического тела, т.е. определяют фацию глубинности.

Выделяются следующие фации глубинности магматических тел: абиссальная (глубинная), гипабиссальная (средней глубины), субвулканическая (приповерхностная) и эффузивная. Глубина становления магматических тел определяет их структуру, текстуру, форму и размеры тела, форму и характер контактов, зональность и характер приконтактных изменений, наличие и состав ксенолитов. Определение фации глубинности магматических тел имеет большое значение для расчленения и корреляции магматических комплексов.

В отличие от осадочных пород магматические состоят преимущественно не из обломков, а из кристаллов, и *структура* магматической породы определяется кристалличностью, размером кристаллов и характером их срастания.

Под кристалличностью понимается степень правильности кристаллов, т.е. степень идиоморфизма. Образование кристаллов правильной формы связано с длительностью их роста, с влиянием ранее выделившихся минералов на те, которые выделялись позже, с процессами одновременной кристаллизации нескольких минералов. Естественно, что в одной горной породе не могут быть одинаково идиоморфными все минералы. Тем не менее наличие хорошо различимых кристаллов позволяет называть такую структуру полнокристаллической. Она образуется в ходе медленной кристаллизации при обилии в магме летучих компонентов.

При быстром остывании на небольшой глубине часть магмы может застыть в виде стекла. Структура такой горной породы называется неполнокристаллической. При наименее благоприятных условиях кристаллизации (быстрое остывание, отсутствие газов) образуется стекловатая структура. Зернистая структура характеризуется тем, что все кристаллы горной породы имеют приблизительно одинаковый размер и неправильную кристаллическую форму.

В зависимости от условий кристаллизации образуются крупнозернистые (размер зерен более 10 мм), среднезернистые (от 1 до 10 мм) и мелкозернистые (менее 1 мм) структуры. Крупно- и среднезернистые породы образуются обычно при медленном остывании на значительной глубине. Образование мелкозернистой структуры связано с быстрой кристаллизацией. При изменении условий кристаллизации после начала этого процесса может образоваться порфировая структура. Такие изменения чаще всего происходят на небольшой глубине.

Текстура магматической породы может быть однородна и неоднородна. В первом случае все структурные характеристики породы равномерно распределены

по ее объему. Такая текстура образуется при кристаллизации породы в стабильных условиях. Образование неоднородной текстуры связано с неодинаковыми условиями застывания магмы как в пространстве, так и во времени, с неравномерным распределением по объему магмы газовой составляющей. Такие условия возникают в более мелких слоях земной коры и приводят к расслоению магмы, образованию полосчатости и пятнистости. Еще ближе к поверхности, при подвижках в процессе кристаллизации, отдельные кристаллы или фрагменты основной массы ориентируются по направлению движения, образуя *флюидальную* текстуру или флюидальность. Эти текстуры течения обычно параллельны боковым стенкам тела и помогают восстановить его форму и положение среди вмещающих пород, но не всегда отражают истинное направление движения магмы. Следовательно, при изучении текстур движения желательно производить замеры в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Магматические породы легче диагностируются и расчленяются при изучении их соотношений с вмещающими породами, чем по их структурам. Детальное изучение *контактных поверхностей* весьма важно как для изучения формы тел, так и для восстановления фации глубинности. Форма контактной поверхности восстанавливается на основании изучения многих обнажений. В пределах одного обнажения возможно выяснить тип и характер контакта.

По своему типу контакты (границы) магматических тел могут быть резкими, постепенными и условными. *Резкие контакты* возникают при быстрой кристаллизации магмы без явлений ассимиляции ею материала вмещающих пород. *Постепенные контакты* образуются при медленном остывании магмы и сопровождаются ассимиляцией вмещающих пород. В этих случаях могут происходить приконтактные изменения структуры и состава пород. *Условные контакты* характеризуются постепенным переходом одной контактирующей породы в другую вследствие взаимного обмена материалом между ними, при этом положение контактной поверхности становится неопределенным и устанавливается условно по заметному преобладанию какой-либо вещественной или структурной характеристики породы.

Приконтактные изменения происходят как в самих магматических телах, так и во вмещающих породах, образуя соответственно зоны *эндоконтакта* и *экзоконтакта*. Образуются эти изменения, во-первых, вследствие большой разницы температур во внедрившемся теле и вмещающей породе, во-вторых, вследствие химического воздействия растворов и газов, покидающих тело и проникающих во вмещающие породы. В первом случае приконтактные изменения связаны с охлаждением приконтактной зоны магматического тела и нагре-

вом вмещающих пород. Быстрое охлаждение влечет за собой образование более мелкозернистой структуры в зоне эндоконтакта. Нагрев вмещающих пород способствует протеканию метаморфических явлений, например ороговикованию. Во втором случае происходит приконтактовый метаморфизм со всем комплексом характерных для него химических и физических процессов. Эти приконтактовые изменения могут быть разной мощности, протекать равномерно в обеих средах или преобладать в одной из них.

Качественная характеристика этих изменений не может быть использована для определения фации глубинности, но их мощность и соотношение между зонами эндо- и экзоконтакта отчасти могут помочь в решении этой задачи. Рассмотрим это на примере температурных изменений, хотя такие же закономерности приемлемы для изменений других типов (рис. 31).

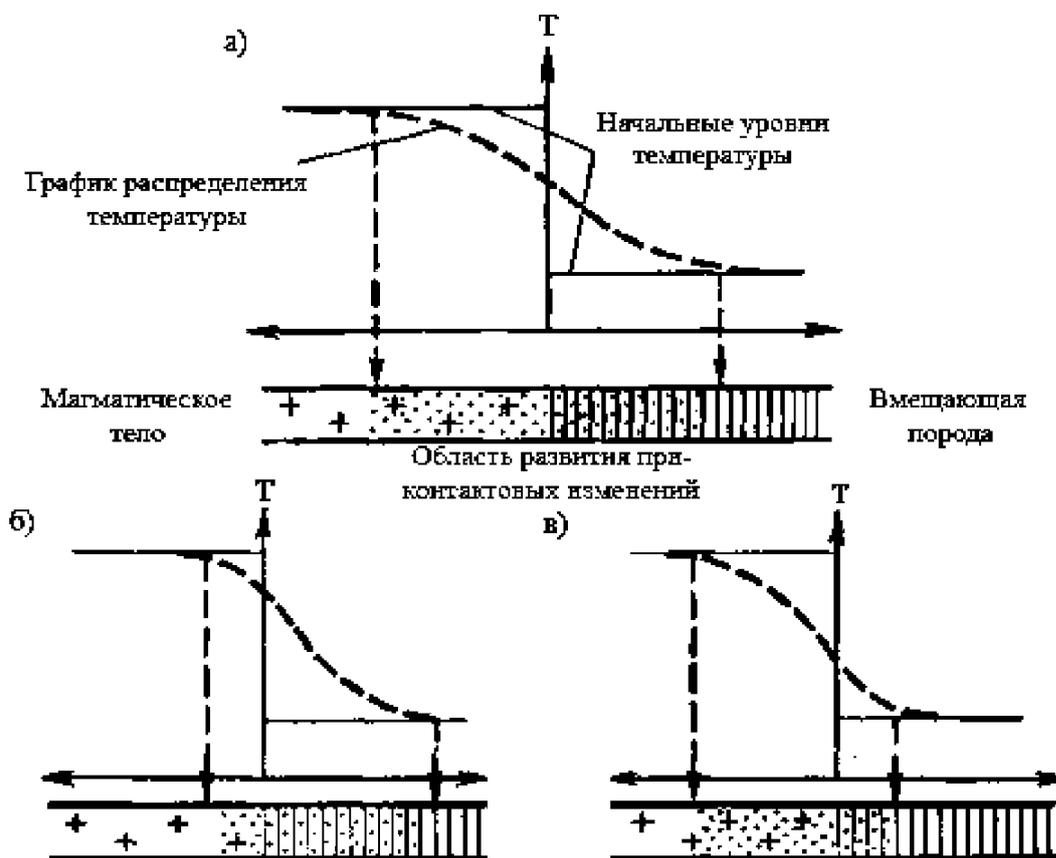


Рис. 31. Приконтактовые изменения под воздействием температуры интрузивных тел:

а – идеальная модель; б – модель для крупного тела абиссальной фации;

в – модель для мелкого тела субвулканической фации

По [Б.Бэйли, 1972] с упрощениями

Можно предположить, что в идеальном случае температура на контакте двух сред должна стать средней между начальными уровнями магматического тела и вмещающей породы, постепенно приближаясь к этим уровням в стороны от контакта. Пространственный интервал между точками начала и конца изменения температуры будет являться областью приконтактных изменений. Причем эти изменения будут распространяться на одинаковое расстояние в стороны от контакта, постепенно теряя свою интенсивность. В случае внедрения крупного тела на большой глубине с большим запасом тепла логично предположить, что вмещающие породы нагреются в большей степени, чем остынет само тело. Соответственно зона экзоконтакта будет мощнее зоны эндоконтакта. В случае локализации небольших тел в гипабиссальных и субвулканических условиях вероятно обратная картина. Большие изменения температуры будут происходить в зоне эндоконтакта, соответственно там же будет более мощной зона эндоконтактных изменений.

Кроме типа контактовой поверхности следует различать и ее характер. По своему характеру контакты могут быть пассивными и активными, а последние, в свою очередь, интрузирующими и инъецирующими. Пассивные контакты характерны для излившихся пород эффузивной фации. Их конфигурация определяется формой подстилающей поверхности. Интрузивные тела вынуждены были «завоевывать» себе место среди вмещающих пород, поэтому их контакты активны.

Существует ряд признаков, свойственных активным контактам:

- ✓ линия контакта занимает секущее положение по отношению к структурным элементам вмещающих пород;
- ✓ наличие приконтактных изменений, интенсивность которых уменьшается с удалением от контакта;
- ✓ присутствие в магматической породе ксенолитов вмещающих пород, особенно пород кровли.

Интрузирующие контакты обычно более прямолинейны и пересекают структурные элементы вмещающих пород на всем своем протяжении. Они более характерны для крупных тел абиссальной и гипабиссальной фации (рис. 32). Инъецирующие контакты отличаются прежде всего тем, что приспособляются к мелким структурным элементам вмещающих пород. Это приводит к тому, что в отдельных частях они принимают облик пассивного контакта. Но при внимательном изучении почти всегда можно обнаружить небольшие апофизы и зоны дробления, сопровождающие контакт. Инъецирующие контакты чаще бывают у тел субвулканической и гипабиссальной фации.

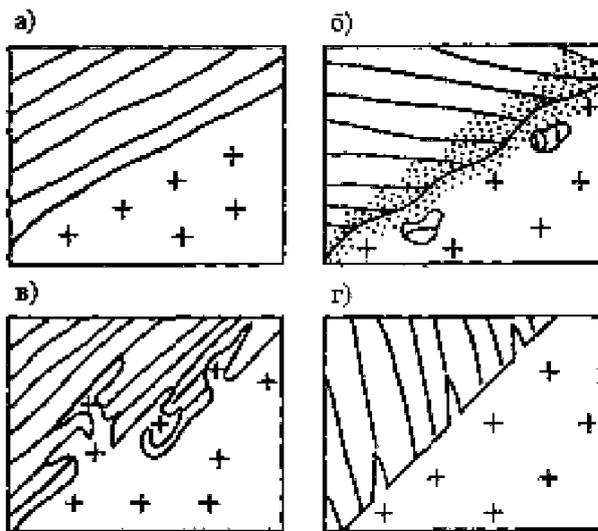


Рис. 32. Разновидности контактов магматических тел:
 а – пассивный; б – активный интрузирующий; в, г – активный инъецирующий

Форма и размер тела. Когда мы говорим о форме магматических тел, то подразумеваем в первую очередь форму интрузивов. Эффузивные тела в самом общем виде имеют форму потоков и покровов, конкретные детали которых обусловлены рельефом поверхности. Форма интрузивных тел в каждом конкретном случае определяется структурой вмещающего пространства и особенностями распределения ориентированного давления во вмещающих породах, а также общим давлением, связанным с глубиной. По этому принципу все интрузивные тела можно разделить на интрузии, форма которых подчинена структуре вмещающего пространства, и на независимые интрузии неправильной формы. К первой группе относятся такие знакомые всем тела, как дайки, силлы, лакколиты, кольцевые интрузии и т.д. Все эти тела объединяются тем, что при их образовании магма заполняет области геологического пространства, которые характеризуются пониженным давлением (зоны отслоения, дробления), или зияющие трещины и пустоты. Естественно, что эти области могут существовать только на относительно небольшой глубине. При поднятии магмы из глубоких частей коры с падением давления магма как бы впрыскивается в эти зоны, образуя инъецирующие контакты (см. рис. 32). Размеры таких тел от нескольких метров до первых десятков километров. Форма второй группы (батолиты, штоки) не зависит от структуры вмещающего пространства. Характер внедрения этих тел до конца неясен. По крайней мере, нигде не удавалось наблюдать признаки раздвижения или поднятия пород кровли. Подошва этих тел обычно не наблюдается, размеры достигают сотен километров. Контакты тел, как правило, интрузирующие. Очевидно, что такие тела образуются на большой глубине. Обобщенная характеристика основных особенностей магматических тел различных фаций глубинности приведена в табл. 9.

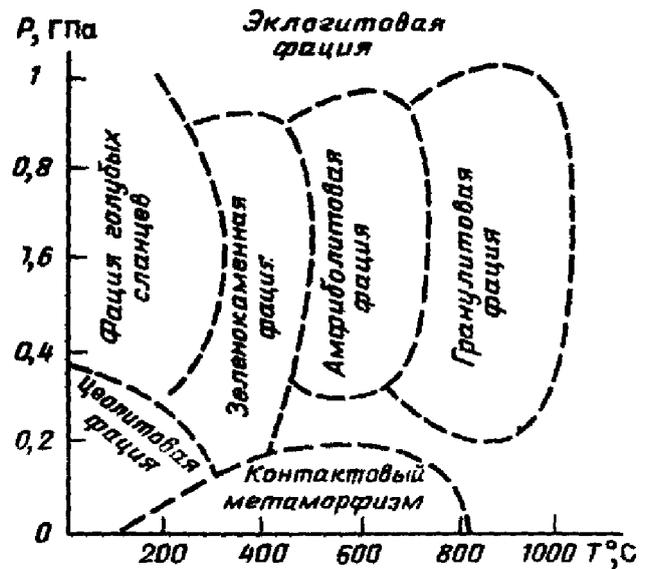
Особенности магматических тел различных фаций глубинности

Признаки	Фации глубинности			
	<i>Абиссальная</i>	<i>Гипабиссальная</i>	<i>Субвулканическая</i>	<i>Эффузивная</i>
Форма и размеры тел	Крупные тела неправильной формы (батолиты, штоки)	Крупные тела пласто- и линзообразной формы (силы, лакколиты, дайки и др.)	Средние тела линзовидной и неправильной формы (дайки, штоки, кольцевые интрузии)	Потоки, покровы, купола, компенсирующие эродированную поверхность
Характер контакта	Резко секущий, интрузирующий, мощная зона экзоконтакта	Секущий и согласный, чаще интрузирующий; узкая зона экзоконтакта	Секущий и согласный, инъецирующий; мощная зона эндоконтакта	Согласный
Текстура	Однородная, массивная	Однородная, полосчатая	Неоднородная, полосчатая, флюидальная	Неоднородная, полосчатая, флюидальная, пористая
Структура	Полнокристаллическая, крупнозернистая	Среднезернистая, порфировая	Мелкозернистая, порфировая, скрытокристаллическая	Скрытокристаллическая, стекловатая, порфировая
Другие признаки	Плитообразная отдельность, связанная с напряжениями разгрузки. Минералы-индикаторы: мусковит, турмалин, канкринит	Наличие ксенолитов с оплавленными нечеткими границами	Высокая степень автометаморфизма, зеленокаменные изменения, многочисленные ксенолиты с четкими границами	Отдельность в связи с охлаждением. Зональность от подошвы к кровле. Минералы-индикаторы: лейцит, тридимит, кристобалит

Выделение и картирование метаморфических комплексов так же, как и магматических, производится на основе реально наблюдаемых структурно-вещественных признаков. Это минеральный состав пород, определяющий фацию метаморфизма, структура, текстура, полихронность (время образования субстрата и время метаморфизма). Под фацией метаморфизма понимается совокупность горных пород отдельных ступеней изоградного метаморфизма (рис. 33).

Минеральные ассоциации фаций метаморфизма	
<i>Фа́ция мета-морфизма</i>	<i>Краткая характеристика, минеральная ассоциация</i>
Цеолитовая фа́ция	При небольших давлениях и температуре в осадочных и вулканогенных породах развиваются водные силикаты преимущественно кальция и натрия. Цеолитами замещаются преимущественно полевые шпаты, нефелин. Их образование возможно в результате взаимодействия иловых вод и алюмосиликатного терригенного материала
Зеленокаменная фа́ция	В большом количестве образуются минералы зеленой окраски - хлорит и эпидот, вместе с кварцем, альбитом и мусковитом. Эпидотизации подвергаются главным образом плагиоклазы, роговая обманка, пироксены. Хлорит также замещает темноокрашенные минералы. Зеленокаменным изменениям подвержены магматические породы, туфы, многие осадочные породы, за исключением пород чисто кварцевого и карбонатного состава. Зеленокаменные изменения обычно сопровождаются сланцеватостью
Амфиболитовая фа́ция	При дальнейшем повышении давления и температуры из хлорита образуется биотит и появляются мелкие кристаллы граната. Потом биотит замещается роговой обманкой, а кристаллы граната увеличиваются в размере. Эта стадия метаморфизма сопровождается возникновением метаморфических алюмосиликатов: ставролита, кордиерита, андалузита, кианита и др. Но простой агрегат амфиболитовой фации состоит главным образом из роговой обманки и граната с некоторым количеством кварца, плагиоклаза и мусковита. Одним из характерных признаков является гнейсовая текстура
Гранулитовая фа́ция	Гранулит представляет собой разномасштабную метаморфическую породу преимущественно полевошпатового состава с пироксеном, кварцем, гранатом гнейсовидной или массивной текстуры. Весьма характерно прораствание зерен друг в друга во время перекристаллизации. Породы цеолитовой – гранулитовой фаций представляют собой естественный ряд продуктов прогрессивного метаморфизма по мере повышения температуры и давления и способны последовательно сменять друг друга и образовывать полифациальные зональные метаморфические комплексы
Фа́ция голубых сланцев	Фа́ция голубых сланцев получила свое название из-за присутствия в породе голубых амфиболов щелочного состава: глаукофана, жадеита, лавсонита. Они образуются под воздействием низких температур и высокого давления. Сочетание таких условий возможно при настолько быстром погружении на большую глубину и последующем быстром поднятии, что породы не успевали прогреться. Возникновение таких условий вероятно в процессе субдукции при столкновении литосферных плит
Эклогитовая фа́ция	Эклогит – порода по химическому составу аналогичная базальтам, но состоящая из граната и пироксена. Кроме них может присутствовать кианит, алмаз, рутил, корунд, оливин и др. Эклогиты представляют собой породу большой плотности, образующуюся в условиях высокого давления и температуры

Рис. 33. Фации метаморфизма
(по Ф.Тернеру, 1968)



Как правило, минеральный состав метаморфических пород упрощается по сравнению с составом субстрата. Количество вновь образованных минералов, устойчивых в одинаковых условиях одной степени метаморфизма, обычно не превышает 2 – 6. Эти минералы образуют типоморфные парагенетические ассоциации, фактически являющиеся фациальным признаком метаморфизма (табл. 10).

Следует производить четкие различия между геологическим возрастом ассоциации горных пород субстрата и возрастом метаморфизма. Время метаморфизма определяется радиологическими методами, а возраст субстрата устанавливается по комплексу геологических признаков.

Корреляция магматических и метаморфических образований является обязательной процедурой региональных геологических исследований. Она может производиться на уровнях отдельных геологических тел, магматических и метаморфических комплексов, временных рядов и парагенезов магматических комплексов. Основной является корреляция на уровне магматических и метаморфических комплексов как основных объектов, необходимых и достаточных как для картосоставительских работ, так и для регионального металлогенического анализа.

Различают два аспекта корреляции:

1. Возрастной (пространственно-временной), устанавливающий соответствие пространственно разобщенных петрографических подразделений по их геологическому возрасту и положению в региональной стратиграфической схеме.

2. Структурно-вещественный (формационный), который устанавливает соответствие региональных петрографических подразделений на основе аналогий их вещественного состава, строения и соотношения с вмещающей средой, то есть по принадлежности к одной магматической или метаморфической формации.

В практике работ возрастная и структурно-вещественная корреляции проводятся совместно. Следует отметить, что возрастная корреляция метаморфических комплексов базируется преимущественно на их стратиграфическом положении в смежных структурно-формационных зонах, а структурно-вещественная – на уровне современных минеральных ассоциаций.

Результат корреляционных работ выражается в составлении схем корреляции, которые должны отражать положение магматических и метаморфических комплексов в общей стратиграфической шкале, соотношение временных и латеральных рядов комплексов в различных частях региона.

4.2.2. Структурный анализ

Основой геологической съемки складчатых комплексов так же, как и покровных, является составление нормального стратиграфического разреза. Но ситуация осложняется тем, что к дислоцированным осадочным породам не применим закон Стенона. То же самое относится и к магматическим и метаморфическим породам, составляющим значительный объем складчатых и метаморфических комплексов, поскольку их тела представляют собой неслоистые образования разнообразной неправильной формы.

В складчатых комплексах нельзя отрывать задачу составления нормального стратиграфического разреза от изучения структуры. Эти две задачи должны решаться одновременно, дополняя и контролируя друг друга. Хорошо известно, что применение стратиграфического принципа при определении последовательности образования геологических тел ограничено углом падения пород не более 15° , поскольку это тот максимальный угол наклона земной поверхности, при котором пласты осадков могут удержаться в ненарушенном состоянии. На рис. 34 изображена пачка слоев, смятых в изоклинальные складки. Эти три слоя образовались последовательно один за другим, но какой из этих слоев первоначально занимал нижнее положение – определить невозможно, и появляется два варианта стратиграфической последовательности.

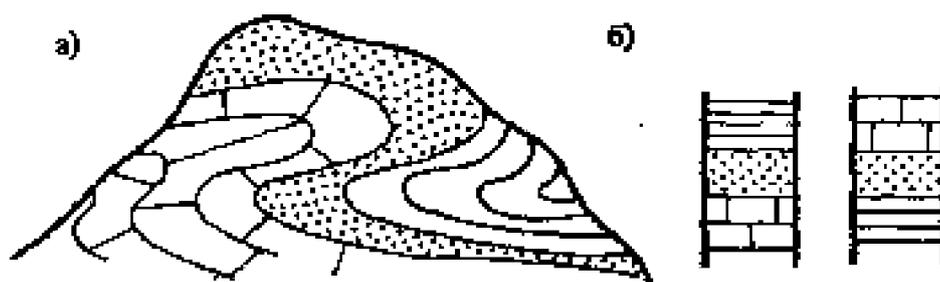


Рис. 34. обнажение со складчатым залеганием слоев:

а – слои в коренном залегании; б – варианты стратиграфической последовательности

На рисунке изображен крайний случай. Гораздо чаще обнажение представлено просто моноклиной. Для определения стратиграфической последовательности пород в нарушенном залегании необходимо найти доказательства однозначной направленности событий во времени, т.е. определить подошву и кровлю пласта.

Рассмотрим пример, представленный на рис. 35. Первоначально можно предположить четыре варианта стратиграфической последовательности. Первые два отвечают моноклиальному залеганию, вторые – складчатому. Если при изучении минерального и петрографического состава пород оба слоя известняка оказались идентичны друг другу, то с большой вероятностью можно утверждать складчатое залегание и сократить число вариантов возраста до двух – третьего и четвертого. Предположим, что дальнейшее изучение петрографических особенностей центрального пласта обломочных пород позволило обнаружить вблизи контакта с известняками гальку таких же известняков, сменяющихся по мере удаления от контакта все более мелким материалом с проявлениями кривой слоистости. Совершенно ясно, что до того как стать обломком, известняк сначала должен был образоваться в пласте. Следовательно, пласт известняка более древний по отношению к песчанику (кривая слоистость также это подтверждает), а пласт справа от него может быть только еще более древним. Таким образом, в нашем примере единственно верным оказался четвертый вариант стратиграфической последовательности. Для получения однозначного ответа были использованы особенности минерального состава и текстуры.

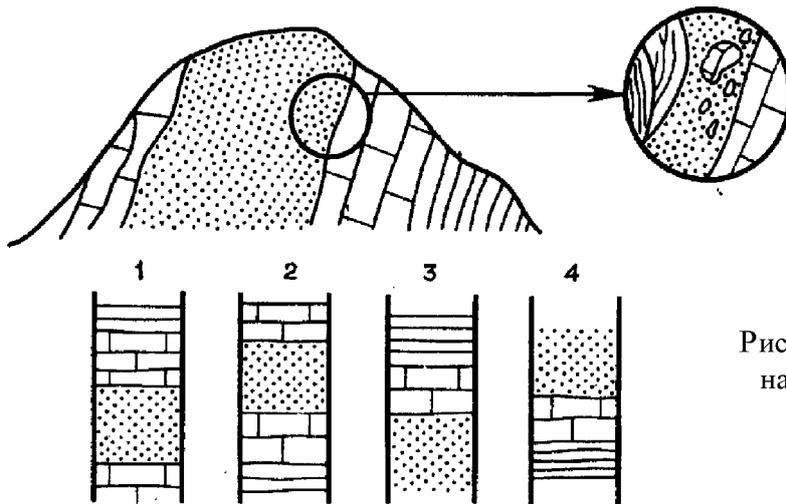


Рис. 35. Обнажение с монокли-нально залегающими слоями

Аналогично определяется относительный возраст магматических тел. При этом надо помнить, что магматические породы могут быть эффузивными, т.е. образовываться на поверхности совместно с осадочными породами и подчиняться закону горизонтального залегания, а могут быть интрузивными. Следовательно, первая задача, которую необходимо решить геологу на обнажении, это определить – интрузивное или эффузивное тело он наблюдает. Затруднения возникают, когда магматическое тело имеет пластообразную форму (рис. 36). Например, на первом обнажении тщательное петрографическое изучение не обнаружило воздействия магмы на вмещающие породы. Наоборот, магматическая порода несет признаки поверхностного образования. Следовательно, мы имеем дело с эффузивом, и возраст его определяется теми же методами, что и осадочных пород. На втором обнажении рвущие контакты, приконтактовые изменения, ксенолиты указывают на интрузивный характер залегания тела. В этом случае нельзя пользоваться методами определения относительного возраста осадочных пород.

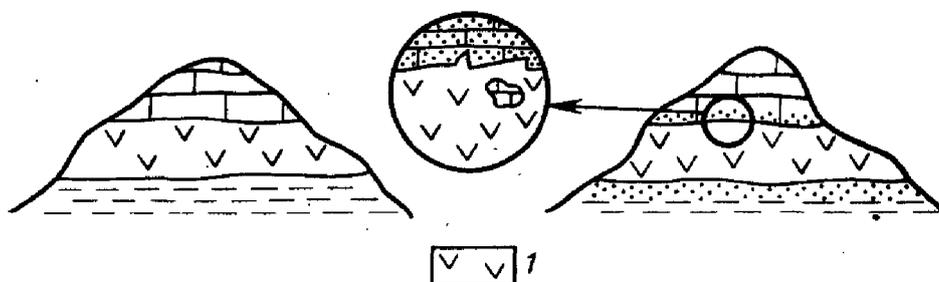


Рис. 36. Обнажения со стратифицированными магматическими телами:
1 – магматические породы

Часто на обнажениях или участках документации горной выработки встречается совместное нахождение пород осадочных и магматических. В этом случае для определения возраста геологических тел используется правило, включающее элементы всех рассмотренных ранее приемов: *каждое древнее тело либо пересекается более молодым, либо несет на себе следы его воздействия, либо содержится в обломках в более молодых породах* (рис. 37). На рисунке самыми древними являются известняки, так как их поверхности напластования пересекаются границами всех других геологических тел. Кроме того, они несут на себе следы контактового метаморфизма от гранитов. Песчаники залегают с угловым несогласием на известняках и содержат обломки гранитов, следовательно, они моложе. Если бы в них отсутствовали обломки гранитов, то возраст последних по отношению к песчаникам был бы не определен. Поскольку диабазы пересекают песчаники, они – самые молодые из всего комплекса пород. Так как граниты содержат ксенолиты пород в обнажении отсутствующих, можно предположить, что эти породы где-то рядом и что они древнее гранитов.

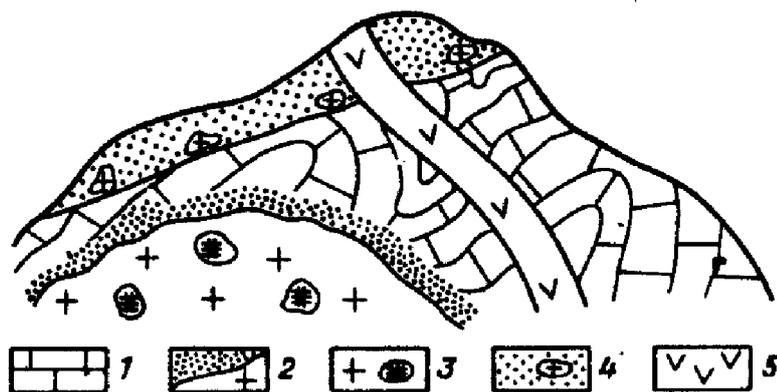


Рис. 37. Обнажение с осадочными и магматическими породами:
1 — известняки; 2 — экзоконтакты гранитов; 3 — граниты с ксенолитами пород;
4 — песчаники с обломками гранитов; 5 — диабазы

Наибольшие трудности возникают при составлении нормальных стратиграфических разрезов в условиях изоклиальной складчатости. В таких случаях особое значение приобретает ориентировка кливажа по отношению к граничным поверхностям. *Кливажем* называется способность горных пород раскалываться на плитки по плоским гладким поверхностям, независимо от поверхности слоистости. Кливаж проявляется исключительно в складчатых толщах и носит отчетливо выраженный проникающий характер независимо от литологии. В зависимости от степени дислоцированности кливаж сначала развивается в породах, содержащих глинистые минералы и углистые примеси, затем в обломочных породах, эффузивах и интрузивных телах и, наконец, в карбонатных породах и да-

же в кварцитах. Многочисленные наблюдения показали, что в складчатых комплексах осевые плоскости складок, кливаж и разрывные нарушения всегда параллельны друг другу, сопряжены единством происхождения и образуют «структурную триаду». Причем разломы являются причиной, кливаж – средством, а складки – следствием. Все вместе они отражают наиболее часто встречающийся вид деформации – сдвиговое ламинарное течение пород, обусловленное проволакиванием и вязким трением вследствие смещения крупных блоков пород по разломам (рис. 38).

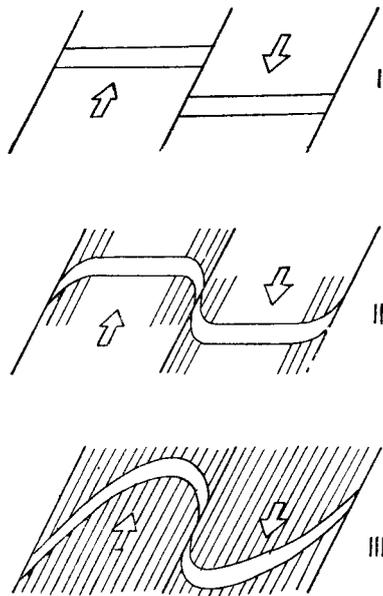


Рис. 38. Три типа дислокаций по степени смятия тектонических блоков:
 I – несмятые блоки; II – блоковые складки с реликтовыми ядрами несмятых пород;
 III – складки без реликтов
 Из [Паталаха Е.И., 1981]

В то время как пласты, образующие складку, закономерно изменяют азимуты своих простираний, кливаж по простиранию сохраняет однообразное положение. Поэтому кливаж является исключительно важным инструментом для расшифровки структуры складчатых комплексов в процессе геологической съемки:

1. Отношение простирания кливажа к простиранию слоистости указывает на положение обнажения в складке. При параллельном простирании кливажа и слоистости обнажение находится на крыле складки, при перпендикулярном – в ее замке.

2. Соотношение кливажа и слоистости позволяет установить относительное перемещение слоев и, следовательно, почву и кровлю пласта. В нормально лежащих слоях плоскости кливажа должны быть более крутыми, в опрокинутых – более пологими, чем граничные поверхности. Кливаж, параллельный напластованию, указывает на изоклиналильные складки.

3. Постоянство простирания кливажа указывает на однообразие структуры изучаемой площади, разные направление кливажа в разных частях района – на разные направления складчатых и разрывных структур. Тем самым изучение кливажа может помочь установить различные структурные зоны и их соотношения.

Складчатая структура не представляет собой какого-то беспорядочного нагромождения складок. По морфологическим признакам все складчатые дислокации могут быть разделены на два основных типа. Первый тип складчатости (сжатая, линейная и т.п.) характеризуется непрерывностью развития в пределах конкретной области (складки покрывают всю территорию), равным развитием антиклиналей и синклиналей, одинаковым простиранием и падением осевых плоскостей для серии соседних складок. Второй тип складчатости (брахиформная, раскрытая и т.п.) характеризуется локальностью, неравным развитием антиклиналей и синклиналей, отсутствием их смежности и единого простирания. При этом следует подчеркнуть, что эта морфологическая «полярность» – чисто внешнее явление. На самом деле оба типа складчатости представляют собой лишь различные стадии приразломного смятия и весьма часто можно наблюдать постепенные переходы одного типа складчатости в другой.

Наиболее достоверно расшифровывается складчатое строение района при организации точек наблюдений путем прослеживания опорных горизонтов по простиранию, когда систематически регистрируются все изменения элементов залегания пластов, подчеркивающие детали тектоники. При этом точный перенос границ выделенных геологических тел на топооснову соответствующего масштаба приобретает чрезвычайно важное значение. В случаях, когда зафиксировать границу возможно, а измерить элементы залегания – нет (задернованность собственно контакта, наложенность вторичной тектоники), анализируя соотношение геологической границы с рельефом, можно сделать однозначные выводы о характере ее залегания на данном участке. Такой структурный анализ на элементарных отрезках наиболее эффективно работает в условиях расчлененного рельефа при наличии складок, сопоставимых по размерам с формами рельефа.

Складчатые и складчато-метаморфические комплексы характеризуются широким развитием разрывных нарушений, формирующих тектонические границы между геологическими телами различного масштаба. При работе на конкретном обнажении эти границы проявлены в виде одной трещины или группы трещин, представляющих собой важнейший элемент геологической структуры.

Все разнообразие таких трещин в первом приближении можно сгруппировать в два основных класса: трещины скола и трещины разрыва.

Трещины скола образуются в условиях сжатия, представлены плоскими притертыми поверхностями. Нередко такие трещины сопровождаются милонитами. Кливаж, описанный выше, представляет собой частный случай повсеместного развития трещин скола.

Трещины разрыва образуются в условиях растяжения, формируя неровные поверхности, ограничивающие «свободное» пространство, обычно заполненное новообразованиями (магматическими, гидротермальными или брекчиями заполнения).

По отношению к складчатой структуре элементы разломной тектоники целесообразно разделять на две категории: соскладчатые (первичные, парагенетически взаимосвязанные с процессом складкообразования как элементы структурной триады) и постскладчатые (вторичные, или наложенные).

Соскладчатые разрывы сопровождаются многочисленными трещинами скола и представлены, как правило, взбросами, надвигами и сдвигами. Постскладчатые разрывы более разнообразны. Они могут быть представлены сбросами и зонами дробления, образующимися в условиях растяжения. Реже, в условиях сжатия, они накладываются на существующую складчатую структуру, что влечет за собой образование в узких зонах приразломного смятия сжатой складчатости, дискордантно наложенной на основную.

Хотя тип трещин и служит важным признаком для определения характера перемещений, судить по одному обнажению о направлении и амплитуде смещения весьма сложно. Следовательно, предполагаемые тектонические контакты необходимо прослеживать либо по простиранию, либо методом сгущенных поперечных маршрутов. Только проследив тектонический контакт на значительном расстоянии, зафиксировав пространственное совмещение (смещение) различных геологических тел, последовательно нанося на карту линию тектонической границы, можно получить достаточно данных для определения типа разрывного нарушения и его масштаба.

Процесс создания геологических карт нового поколения включает в себя в качестве важнейшего компонента геодинамический анализ, опирающийся как на теоретический фундамент тектоники литосферных плит, так и на фактический материал, получаемый в результате картирования. При этом следует иметь в виду, что при геологической съемке любого масштаба картируются не плиты и не микроплиты, а овеященные следствия их взаимодействия, то есть структурно-вещественные комплексы (СВК), которые формируются на границах плит и

микроплит. Размеры этих комплексов на несколько порядков меньше породивших их плит, поэтому СВК вполне могут быть отражены на среднемасштабных картах в качестве самостоятельных геологических тел.

В тех случаях, когда за столкновением литосферных блоков (плит, микроплит) не следует субдукция одного из них, они сочленяются в единое целое, образуя тектоническую мозаику *террейнов* с резко различными стратиграфией и стилем тектонических деформаций (рис. 39).

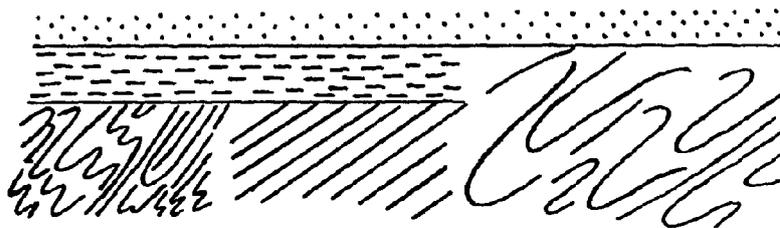


Рис. 39. Стыковка и перекрытие трех террейнов

Размеры террейнов зависят от масштаба и целей исследований и могут варьировать в широких пределах. Если не впадать в крайности, допустимо рассматривать выделение террейнов как начальную стадию геодинамического анализа.

Геологическими границами структурно-вещественных комплексов являются крупные разрывные нарушения, развивающиеся в различной геодинамической обстановке. Согласно современным представлениям, выделяются дивергентные, конвергентные и трансформные типы границ СВК. Дивергентный тип границ формируется при растяжении на границах плит или внутри них. Конвергентный тип границ формируется при сжатии и разделяется на три подтипа: субдукционный, обдукционный и коллизионный. Трансформные границы представлены крупными сдвигами, разделяющими как разнородные, так и близкие по составу и строению террейны.

Практически все крупнейшие складчатые пояса мира формировались в период континентальной коллизии. Характерным элементом коллизионных структур являются тектонические (надвиговые) покровы. Под тектоническим покровом обычно понимается геологическое тело, мощность которого значительно меньше его горизонтальных размеров, перемещенное по пологому разрывному нарушению от места накопления слагающих его пород. Снизу тектонический покров ограничивается надвигом подошвы, а сверху – надвигом кровли. По морфологии надвигов подошвы и кровли и особенностям внутренней текто-

нической структуры тектонические покровы разделяются на *чешуйчатые веера* и *дуплексы* (рис. 40).

Чешуйчатый веер – это такой набор надвигов, в котором все соседние разломы имеют сходные геометрические характеристики и близкие амплитуды перемещения, при этом все они ответвляются от надвига подошвы и затухают внутри тектонического покрова. Дуплексом называется линзовидный блок, ограниченный со всех сторон надвигами. Размеры чешуйчатых вееров и дуплексов весьма разнообразны и колеблются от нескольких сантиметров до нескольких километров.

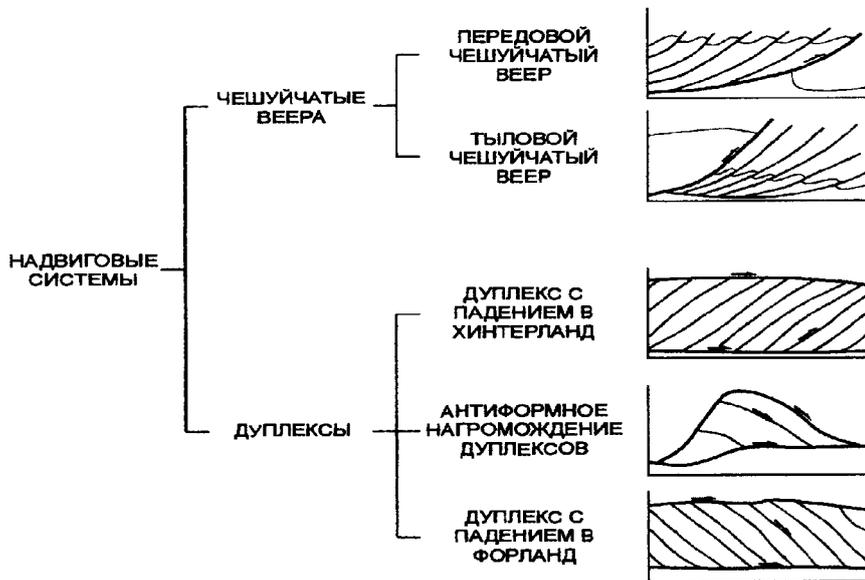


Рис. 40. Классификация надвиговых систем (по С.Бойеру, Д.Эллиоту)

Диагностические признаки покровно-надвиговых структур условно можно разделить на три группы: стратиграфические, структурные и формационные. Стратиграфические признаки основаны на фиксации нарушений нормальной стратиграфической последовательности слоев. Для их надежного использования необходимы наличие хорошо разработанных местных стратиграфических схем и достаточная фаунистическая охарактеризованность толщ.

Структурные признаки основаны на сопоставлении структурных характеристик изучаемых комплексов пород. К ним относятся характер контакта, интенсивность деформаций и структурные различия. Контакт можно считать тектоническим, если контактная поверхность срезает внутренние структуры контактируемых тел. Признак надежен, когда контакт срезает складки, в которые смят вышележащий комплекс, или когда при моноклиналином залегании слои вышележащего комплекса срезаются под углами не менее чем в $10 - 20^{\circ}$.

По мере приближения к тектоническому контакту возрастает степень деформированности как вышележащих, так и нижележащих толщ. Наиболее распространены следующие показатели: появление около контакта зеркал скольжения, тектонических брекчий, складок волочения с однообразно ориентированными осевыми плоскостями, локальное развитие наложенного кливажа, рассекающего более древние структуры. Структурные различия проявляются прежде всего в различной степени деформированности контактирующих комплексов, но применение этого признака возможно лишь в больших эрозионных врезках, дающих обзор достаточно большой мощности контактируемых тел.

Формационные признаки в отличие от предыдущих основаны не на непосредственных наблюдениях, а на интерпретации обстановок формирования пород и являются косвенными. При изучении осадочных комплексов важным индикатором наличия крупных тектонических покровов является пространственное совмещение разновозрастных толщ, формирование которых происходило в различных палеогеографических обстановках.

Наряду с покровно-надвиговыми структурами в складчатых поясах широко распространены сдвиги. При диагностике сдвиговых перемещений важную роль играют не отдельные структуры, а их ассоциации. Косая ориентировка структурных элементов по отношению к главному разлому и многократное наложение их друг на друга приводят к появлению у зон сдвигов характерных геометрических особенностей:

- ✓ Кулисообразное положение разломов и складок в пределах узкой зоны около главного разлома. Прямым следствием кулисообразной ориентации разломов и складок является резкая изменчивость разрезов, ориентированных вкрест простирания как по стилю структур, так и по составу пород.

- ✓ Совместное нахождение примерно разновозрастных структур сжатия (взбросы, надвиги) и растяжения (сбросы, раздвиги). Они ориентированы под острым углом к главному разлому и в идеальном случае составляют между собой угол, близкий к 90° .

- ✓ Пересечение более молодым кливажом под острым углом осевых плоскостей складок.

- ✓ На концах сдвига, где амплитуда перемещений заметно сокращается, он распадается на серию более мелких разломов, образуя структуры «конского хвоста». В средней части сдвигов широко развиты линзовидные блоки-дуплексы, которые могут быть подняты, опущены или в различной степени развернуты.

- ✓ Для сдвигов не характерно проявление магматизма.

Принципиальная схема ориентации напряжений и структур в зоне сдвига показана на рис. 41.

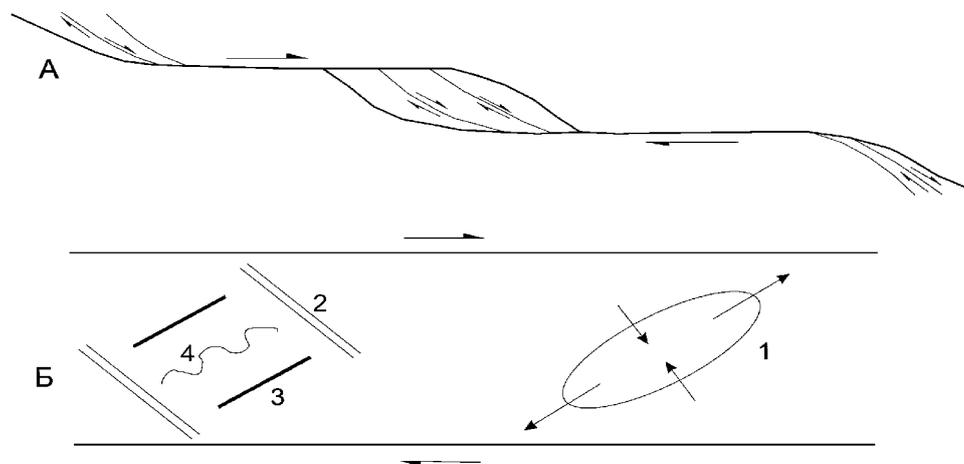


Рис. 41. Принципиальная схема строения зоны сдвига:
 А – структура сдвига в плане; Б – ориентация напряжений и
 основные типы структур в зоне сдвига; 1 – эллипсоид деформации;
 2 – сбросы; 3 – надвиги; 4 – складчатость

Вопросы для самоконтроля

1. Что является региональными петрографическими объектами картирования? Дайте им характеристику.
2. На какой основе производится выделение границ петрографических объектов? Какими факторами определяются границы магматических тел?
3. Какие признаки свойственны активным контактам магматических тел? Укажите отличия интрузирующих и инъецирующих контактов.
4. Какие факторы определяют выделение границ метаморфических комплексов?
5. Охарактеризуйте два аспекта корреляции магматических и метаморфических комплексов. Изобразите формат корреляционной схемы.
6. Какие структурно-вещественные признаки помогают восстановить нормальную стратиграфическую последовательность геологических тел, подвергшихся интенсивной складчатости?
7. Какие элементы составляют структурную триаду складчатых комплексов? В чем заключается значение кливажа для расшифровки складчатых структур?
8. Как элементы разломной тектоники соотносятся со складчатой структурой?
9. Охарактеризуйте основные типы границ структурно-вещественных комплексов.
10. Охарактеризуйте диагностические признаки покровно-надвиговых структур.
11. Охарактеризуйте диагностические признаки сдвигов.

4.3. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплекс четвертичных образований включает в себя рыхлые недислоцированные осадочные отложения и эффузивы четвертичного и плиоцен-четвертичного возраста. В истории развития Земли между четвертичным периодом и неогеном прослеживается полная преемственность. Особенно тесную связь четвертичный период обнаруживает с поздним плиоценом. В настоящее время продолжительность четвертичного периода принята в объеме около 1,8 млн. лет – с начала первого проявления похолодания климата в фауне морских слоев плиоцена (на юге Италии).

Четвертичный период от предшествующих отличается рядом характерных черт:

1. По своей продолжительности четвертичный период соответствует лишь части обычного геохронологического века и даже фазы. Выделяемые в пределах четвертичной системы стратиграфические подразделения по таксономическому рангу не соответствуют подразделениям более древних систем. В связи с тем, что эволюция органического мира идет медленнее, чем это необходимо для фиксации столь кратких отрезков времени, биостратиграфический метод не позволяет произвести достаточно дробное расчленение отложений и, следовательно, не может служить для разделения четвертичного периода.

2. Крайняя геологическая молодость четвертичных образований проявляется в повсеместности их распространения и в преобладании рыхлых отложений, часто не прошедших даже начальных стадий диагенеза. Господствуют не дислоцированные отложения малой мощности. Все это обуславливает хорошую сохранность первичных признаков осадка и обеспечивает надежность палеогеографических реконструкций, что имеет принципиальное значение для стратиграфического расчленения системы.

3. В составе четвертичного комплекса господствуют фациально и литологически изменчивые континентальные отложения, тесно связанные с рельефом земной поверхности и процессами его формирования. Осадконакопление происходит в многочисленных понижениях рельефа и на их склонах при большом разнообразии экзогенных процессов. Соответственно, важнейшее значение приобретает выявление генетических типов отложений и их взаимоотношений между собой и с рельефом, палеогеографических условий их образования.

Сложное сочетание на суше процессов аккумуляции и денудации находит свое отражение в следах размыва и прислонения толщ. В связи с неоднократным

врезанием речных долин характерно гипсометрически более низкое положение более молодых отложений по сравнению с более древними, что не позволяет применять метод последовательности напластований для определения относительного возраста отложений и затрудняет их корреляцию (рис. 42).

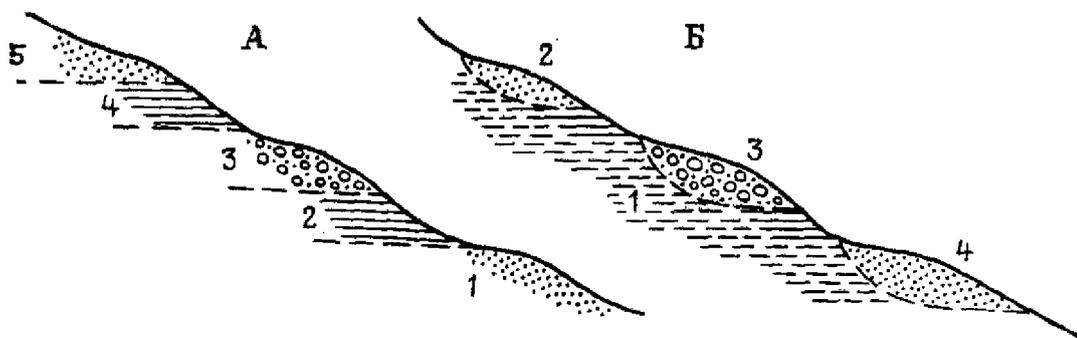


Рис. 42. Определение относительного возраста:

- А — морских отложений на основе стратиграфической последовательности;
 Б — континентальных отложений на основе геоморфологического анализа
 (цифры отвечают возрастной последовательности отложений)

4. Важнейшей особенностью четвертичного периода были крупнейшие глобальные колебания климата, которые выражались в неоднократной смене холодных (гляциалы) и теплых (интергляциалы) эпох. В холодные эпохи в условиях влажного климата возникали материковые оледенения, в сухом климате формировалась многолетняя мерзлота. Длительные потепления климата выражались в отступании ледников и деградации вечной мерзлоты. В аридной зоне и в субтропиках в связи с изменением климата чередовались эпохи увлажнения (плювиалы) и иссушения (ариды).

Чередование климатических изменений дает палеоклиматическую основу для стратиграфического расчленения четвертичных отложений, что нашло отражение в стратиграфическом кодексе в виде климатостратиграфических специальных подразделений.

5. Уникально специфической особенностью четвертичного периода является формирование человечества и его материальной культуры. Широкое распространение человеком создаваемых им каменных изделий, прогрессивные их изменения создают предпосылки для использования археологических находок в четвертичной стратиграфии.

При картировании четвертичных отложений решаются три основных задачи: стратиграфическое расчленение и корреляция отложений; выяснение генезиса и обстановки образования, новейших тектонических движений; палеогеографические реконструкции условий соответствующего времени.

4.3.1. Особенности четвертичной стратиграфии

С 1982 года Межведомственным стратиграфическим комитетом по четвертичной системе в нашей стране введены специальные ряды терминов для подразделений антропогена. Как и в системе дочетвертичных терминов, различаются ряды общих стратиграфических и геохронологических подразделений (табл. 11).

Таблица 11

Подразделения общей шкалы четвертичных образований

<i>Стратиграфические подразделения</i>	<i>Геохронологические подразделения</i>
Раздел	Этап
Звено	Пора
Степень	Фаза
Стадиал	
Наслой	

К разделам как наиболее крупным стратиграфическим подразделениям относятся эоплейстоцен, плейстоцен и голоцен. Важнейшее значение для стратиграфического расчленения четвертичного периода имеет свойственная ему климатическая периодичность, позволяющая выявлять геологические ритмы климатического содержания, устанавливать их ранг и проводить корреляцию отложений. Звено отвечает сложному климатическому ритму, состоящему из двух частей – более теплой с отдельными фазами похолодания и более холодной с незначительными потеплениями. Степень соответствует отдельной фазе похолодания или потепления. По более мелким климатическим колебаниям ступени подразделяются на стадиалы с хронологическим объемом 5 – 10 тыс. лет и на слои объемом 1 – 5 тыс. лет.

Стратиграфия четвертичных отложений базируется на палеонтологических, археологических, климатостратиграфических, радиологических и палеомагнитных методах.

Палеонтологическое обоснование стратиграфии континентальных четвертичных отложений основывается на выявлении фаунистических комплексов млекопитающих и родового состава флоры, тесно связанных с изменениями климата. Особое значение при этом имеет споро-пыльцевой (палинологический) анализ. Имеют значение также наземные, пресноводные и морские моллюски. Для отложений дна морей и океанов важны планктонные и бентосные фораминиферы и нанопланктон.

завершенный цикл изменения состава растительности во времени. Во внеледниковой области – это отложения, надежно прослеживающиеся на больших расстояниях по литологическим особенностям, условиям залегания и геоморфологической позиции, имеющие достаточно четкую индивидуальную палеонтологическую характеристику и другие признаки их принадлежности к климатической эпохе.

Поскольку находки остатков материальной культуры древнего человека достаточно многочисленны не обширных территориях, для датировки возраста отложений и внутрирегиональной стратиграфической корреляции широко используется археологический метод. К руководящим археологическим остаткам относятся в первую очередь орудия труда и следы поселения (остатки кострищ, жилищ и изделий). Этот культурный слой может быть хорошо привязан к разрезу отложений, к формам рельефа и нередко точно датирует их возраст (табл. 12).

Из всех региональных схем наибольшее практическое значение для отечественной геологии имеют стратиграфические схемы Альп, Европейской части России, Западной Сибири, Черноморского и Каспийского бассейнов. Первые три основаны на климатостратиграфическом принципе, две последние – в большей степени биостратиграфические (табл. 13).

Основной задачей стратиграфического изучения четвертичных отложений отдельных районов является выработка местных стратиграфических схем, которые должны быть строго увязаны с региональными стратиграфическими схемами. Местные стратиграфические схемы должны содержать описание реальных геологических тел с присвоением им географических названий в соответствии с правилами стратиграфической номенклатуры и с указанием стратиграфических взаимоотношений по разрезу и по простираанию. Неотъемлемой частью работы является корреляция тел, которая преследует две цели: сопоставление тел в разобщенных разрезах и поиски стратиграфических аналогов, отличающихся условиями образования.

Основным подразделением местных схем в соответствии со стратиграфическим кодексом является свита. В общем определение свиты применительно к четвертичным отложениям не противоречит кодексу, но небольшой размер геологических тел, их фациальная изменчивость, приуроченность к отдельным формам рельефа вызывает большие трудности и противоречия в использовании этого термина при стратификации четвертичных отложений. В этих случаях

4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

уместнее использовать термин комплекс в сочетании с географическим названием и, при необходимости, с соответствующей генетической характеристикой. Однако последнее замечание не исключает использование термина «свита» для идентификации близко фациальных четвертичных отложений, занимающих большую площадь.

Таблица 12

**Археологические данные о развитии материальной культуры человека
в соотношении с геологическим временем**

Геологический возраст		Время, тыс. лет	Вид человека	Этапы развития материальной культуры		
				Эпохи	Века	Руководящие остатки
Голоцен		5	Неантропы <i>Homo sapiens</i>	Металл	Железо Бронза	Изделия из железа Изделия из бронзы
		10		Энеолит Неолит		Изделия из меди Шлифовка и сверление камня, керамика
		30		Мезолит		Микролиты, изобретение лука и стрел
Плейстоцен	Поздний	100	Палантропы Неандертальцы	Палеолит		Изделия из кости и рога, наконечники, удлиненные резцы, скребки, скобели, проколки
		200				Средний
	300	Ранний	Древний			Ручные рубила с односторонней и двусторонней обработкой, скребла, отщепы
	500					
Эоплейстоцен		1700	Австралопитеки	Археолит		

Региональные стратиграфические схемы четвертичных отложений

Таблица 13

Общая стратиграф. шкала			Хронологическая шкала, тыс. лет	Региональные стратиграфические шкалы						Биостратиграфические подразделения	
Система	Раздел	Эпоха		Альпы	Европейская часть РФ	Западная Сибирь	Каспийское море	Черное море	Фаунистические комплексы	Современный	
Четвертичная (антропоген)	Эоплейстоцен	Верхн.	900	Гюнц	Морозовский	Кочковский	Верхние	Верхние	Чаудинские	Таманский	
					Ногайский						Средние
		Нижнее	1300	Дунай-Гюнц	Жеваховский	Кочковский		Средние	Средние		
					Скифский						
		Плейстоцен		780	Гюнц - Миндель	Михайловский	Талагайкинский	Тюркянские	Тюркянские	Нижнечаудинские	Тираспольский
						Днепровский					
				730	Гюнц - Миндель	Плаговский	Талагайкинский	Нижнебакинские	Нижнебакинские	Нижнечаудинские	Тираспольский
						Линевский					
				380	Миндель-Рисс	Окский	Тобольский	Шайтанский	Урунджикские	Верхнечаудинские	Сингильский
						Колотовский					
275	Рисс 1			Днепровский	Самаровский	Самаровский	Нижнехазарские (Косожские)	Древнеэвкийские (Верхние)	Хазарский		
				Среднеурский							
130		Рисс 2	Московский	Тазовский	Тазовский	Верхнехазарские	?	Средний			
			Одинцовский						Ширгинский	Узунларские	Ранний
		95	Вюрм 1	Калининский	Ермаковский	Ермаковский	?	Послекарантагские	Мамонтовья		
				Валдайский						Валдайский	Средний
		10	Голоцен	Вюрм 3	Осташковский	Сарганский	Сарганский	Новокаспийские	Черноморские	Современный	
					Валдайский						Валдайский

Главным методом создания местных схем является картирование геологических тел различных генетических типов (табл. 14). А.П. Павлов определял генетические типы как «совокупности отложений, образовавшихся в результате работы определенных геологических агентов». Однако в состав одного генетического типа могут входить тела, существенно отличающиеся друг от друга по динамике накопления, поэтому геологическая съемка четвертичных отложений базируется в первую очередь на изучении литогенетических разновидностей отложений, так как именно они являются составной частью генетических типов. Отсюда возникает необходимость тщательного фациального анализа четвертичных отложений с использованием как полевых, так и лабораторных методов изучения.

Опыт составления карт четвертичных образований разных масштабов показывает, что в зависимости от масштаба съемки существенно меняется содержание карты (табл. 15). Как видно из таблицы, генерализация карт осуществляется параллельно по трем самостоятельным, но взаимосвязанным направлениям: в отношении генезиса, возраста и литологического состава отложений.

На картах определенного масштаба могут сосуществовать две – три классификационные категории, конкретное содержание которых в значительной степени определяется разрешающими возможностями масштаба, а также зависит от степени изученности четвертичных образований.

Легенда карты четвертичных образований, как правило, строится в форме вертикального ряда условных обозначений картографируемых подразделений, расположенных в стратиграфической последовательности сверху вниз от молодых к древним образованиям. Внутри единого стратиграфического подразделения отложения различных генетических типов располагаются в последовательности, указанной в табл. 14.

Результаты изучения стратиграфических взаимоотношений и корреляции тел различных генетических типов выражаются в составлении, кроме конкретных разрезов, схемы соотношений и схемы корреляции четвертичных образований. Обе схемы сопровождают полотно карты и являются ее неотъемлемой частью. Схема соотношений четвертичных образований представляет собой обобщенный разрез, ограниченный сверху схематизированным гипсометрическим профилем, отражающим основные геоморфологические элементы рельефа, а снизу – поверхностью дочетвертичных образований, на котором показаны со-

4. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

отношения всех выделенных стратиграфо-генетических подразделений друг с другом и с рельефом. Схема корреляции составляется в виде таблицы, в которой в качестве строк выступают стратиграфические подразделения общей и региональной шкалы, а столбцами являются генетические типы отложений.

Таблица 14

Основные генетические типы отложений

<i>Основные генетические типы отложений</i>	<i>Индекс</i>	<i>Генезис отложений</i>
Элювий	e	Топографически несмещенные продукты выветривания
Иллювий	i	Инфильтрационная кора выветривания. Результат вымывания вещества
Делювий	d	Продукты выветривания, смытые со склонов дождевыми и тальными водами
Коллювий	c	Нерасчлененные продукты выветривания, перемещенные вниз по склону под действием силы тяжести (обвальные и осыпные отложения)
Деляпсий	dl	Оползневые образования
Десерпций	dr	Продукты крипа – медленного движения грубообломочного материала по уклону вследствие многократных изменений объема при замерзании или колебаниях температуры и влажности
Солифлюксий	s	Материал, образованный вследствие течения переувлажненного мелкозема
Селий	sl	Отложения катастрофических грязекаменных потоков
Аллювий	a	Речные образования
Проллювий	p	Отложения временных потоков, образующие конусы выноса или шлейфы
Лимний	l	Нерасчлененные озерные образования
Палюстрий	pl	Болотные образования
Тилл	g	Ледниковые (гляциальные) образования
Эолий	v	Эоловые образования
Мариний	m	Нерасчлененные морские образования
Вулканиит	vl	Неразделенные на генетические типы вулканогенные образования
Техноген	t	Техногенные образования

Примечание: существует большое количество смешанных (сложных) типов, образующихся в переходных условиях или в результате совместного действия различных агентов.

**Изменение содержания карт четвертичных образований
в зависимости от масштаба**

<i>Содержание карт</i>	<i>Масштабы карт</i>			<i>Изобразительные средства</i>
	<i>Крупный</i>	<i>Средний</i>	<i>Мелкий</i>	
<i>Генезис</i>				
Парагенетические группы	+	+	+	Индекс
Генетические типы (основные)	+	+	+	Цвет
Генетические типы (сложные)	+	+		Цветные штриховка и крап
Фации	+			
<i>Стратиграфия</i>				
Основные подразделения			+	Индекс
Нерасчлененные комплексы			+	Оттенки цвета
Горизонты	+	+	+	
Слои	+	+		
<i>Литология</i>				
Обобщенная характеристика		+	+	Крап
Дробная характеристика	+			

Индексация картографируемых подразделений строится в соответствии с общими правилами и должна отражать генетический тип, возраст и название. Возраст обозначается только римской цифрой степени. Слева от возрастного индекса проставляется индекс генетического типа, справа – индексы региональных горизонтов или местных подразделений. Уточняющие детали индексации регламентируются инструктивными документами.

**4.3.2. Краткая характеристика фациальных особенностей
и генетических типов четвертичных образований**

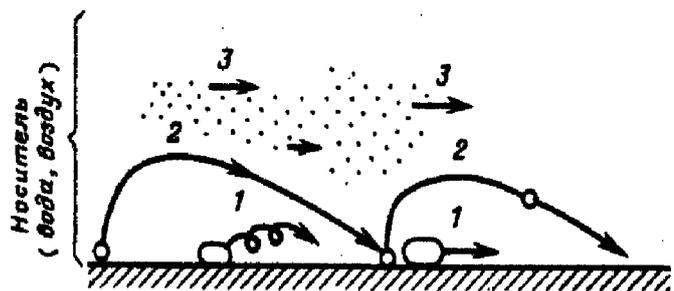
Облик любой осадочной породы зависит как от характера процессов осадконакопления и диагенеза, так и от обстановки протекания этих процессов. Процессы образования осадочных пород включают в себя процессы разрушения исходной материнской породы, переноса осадочного материала и частичного отложения его по пути перемещения, осаждения материала в местах накопления, преобразования осадка в горную породу. Главными критериями различия обстановок образования осадочных тел являются рельеф и климат. Именно они оп-

ределяют способы разрушения, скорость и характер перемещения вещества и его накопления, наличие водоемов, характер растительности и другие факторы.

Любая горная порода разрушается (дезинтегрируется) путем расчленения на обломки и минеральные зерна и путем растворения под воздействием экзогенных геологических процессов: выветривания физического и химического, экзарации, абразии, эрозии и корразии и других процессов. Тем самым порода приводится в мобильное (способное к перемещению) состояние.

Переносится вещество в виде растворов и механических взвесей. Обломочные частицы переносятся разными способами и разными носителями. Носителями могут быть воздух, вода и лед. Способов переноса известно три: а) волочение или перекачивание; б) во взвешенном состоянии; в) сальтация (скачкообразный перенос, когда частица короткое время переносится во взвешенном состоянии, затем по мере движения падает, отскакивает и т.д.). Перекачиваются наиболее крупные частицы. Очевидно, что размер их тем больше, чем больше плотность и скорость перемещения носителя. Так, лед как наиболее плотный носитель способен перемещать обломки любого размера. Во взвеси могут одновременно находиться как крупные, так и мелкие обломки, но не крупнее определенного размера – минимального для перекачивания. Максимальный размер взвешенных обломков также определяется скоростью перемещения и плотностью среды. Сальтации подвержены обломки строго определенного размера для данной скорости движения. Эта форма переноса очень неустойчива и с изменением скорости легко переходит либо в волочение, либо во взвесь. В реальных условиях перенос может осуществляться всеми способами одновременно (рис. 44).

Рис. 44. Способы переноса обломочных частиц:
1 – перекачивание; 2 – сальтации
3 – во взвеси



В процессе переноса в зависимости от состояния носителя и способа переноса происходит частичное разделение и отложение вещества. Растворы отделяются от взвешенных обломочных частиц, обломочные частицы разделяются по крупности зерна и по минералогическому составу (сортируются). Так, по мере падения скорости потока наиболее крупные частицы из взвеси оседают на дно

и сначала катятся по поверхности (естественно, с меньшей скоростью, отставая от взвешенных), а потом накапливаются, формируя рыхлый осадок. Таким же образом, но в другом месте могут накапливаться более мелкие частицы. И те, и другие при увеличении скорости потока способны опять разрушаться и транспортироваться, т.е. будут находиться в мобильном состоянии до тех пор, пока не будут захоронены (перекрыты другой порцией осадка) на путях миграции или в конечном месте накопления (рис. 45).

Процесс осаждения в неподвижной среде в идеальном случае представляет собой постепенное падение обломочных частиц вниз на дно под действием силы тяжести. В случае подвижной среды осаждения процесс значительно усложняется. Движения среды перемешивают частицы, удлиняют время их падения на дно и разносят их по всей площади бассейна. Опустившиеся на дно частицы при усилении возмущения среды способны опять перейти во взвешенное состояние и отложиться снова, удалившись от первоначального места осаждения. Они также способны волочиться по дну, прежде чем зафиксироваться на нем прочно.

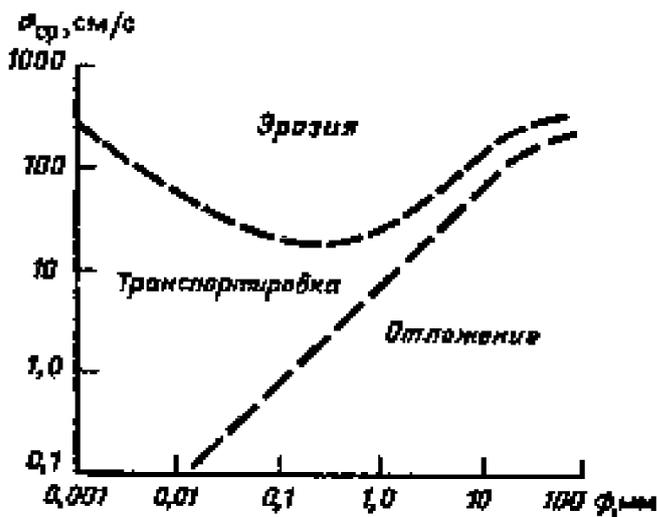


Рис. 45. Зависимость размыва, переноса и отложения от диаметра зерен и средней скорости потока (по Хьюлстрому)

Время осаждения частиц в зависимости от формы, размеров и веса, типа среды и глубины бассейна накопления меняется от нескольких минут до десятков тысяч лет. Но в конечном итоге весь взвешенный материал выпадает в осадок, причем по геологическим меркам мгновенно. При этом так же, как и при переносе, происходит его разделение и сортировка, тем лучшая, чем более длителен процесс осаждения.

Четвертичные отложения отличаются от древних осадков тем, что в настоящий момент времени наблюдатель имеет возможность фиксировать их накопление на путях миграции. Морфологически это выровненные высокие уча-

стки (водоразделы), склоны и впадины. Последние могут достигать размеров, соизмеримых с классическими бассейнами накопления, среди которых различаются два типа – котловинные и плоские. Первые представляют собой глубокие понижения с крутыми склонами и плоским дном. Вторые – это мелкие понижения с выровненным дном. Котловинные бассейны, как правило, окружены горами и расположены в тектонически активных районах, где часты землетрясения. Плоские бассейны располагаются в равнинных тектонически малоактивных участках земной коры. Заметим, что соответствие рельефа областей разрушения и накопления степени тектонической активности существовало на протяжении всей истории развития Земли. Расчлененный рельеф способствует преобладанию физического разрушения, когда транспортировка все больше принимает форму переноса механических взвесей. Сглаженный рельеф, наоборот, способствует химическому выветриванию и переносу материала в виде растворов. Это означает, что различия морфологии бассейнов накопления сопровождаются четкими различиями в характере питания их осадочным материалом.

При одинаковой форме бассейнов осаднение может происходить в водной или воздушной среде. И в том, и в другом случае главной движущей силой является сила тяжести, а вода или воздух являются средой, препятствующей осаднению. Естественно, что чем больше плотность среды, тем больше ее способность к сопротивлению, чем больше сопротивление – тем меньше скорость осаднения и тем более полно протекают процессы сортировки. Кроме того, осадочный материал в водной среде легче приводится в мобильное состояние, лучше перемешивается и в конечном итоге более плотно упаковывается.

Четвертичные отложения сложены преимущественно обломочными и глинистыми породами. Это объясняется тем, что в пределах континентов задерживаются в основном начальные продукты разрушения пород – обломки и минеральные частицы, растворенные же вещества, как правило, выносятся за их пределы.

Картирование геологических тел четвертичных образований начинается в поле с анализа литологических признаков фаций и завершается привлечением палеонтологических, геохимических и геофизических методов.

По Ю.М. Миханкову, главными фациальными признаками, определяющими генетический тип отложений, являются:

- геоморфологическое положение;
- границы с подстилающими и перекрывающими породами;
- структурно-текстурные особенности отложений и их изменения по простиранию;

- петрографический, минералогический и химический состав;
- преимущественная окраска;
- органические остатки и их сохранность.

Структура осадка. Структура осадка определяется размером зерен, их формой и расположением относительно друг друга. Под зернами будем понимать обломки минералов и пород, скелеты организмов и их части, глинистые комки, растительные остатки, кристаллические компоненты эвапоритов.

1. Размер зерна выражается через его диаметр в том случае, если зерно – шар, если нет – через среднюю величину между тремя диаметрами. В повседневной практике размер зерен определяется либо визуально, либо ситовым способом, либо непосредственными измерениями. Обычно любая горная порода состоит из зерен разного размера. Чтобы составить общее представление о размерности зерен в породе проводится *гранулометрический анализ*. Под этим анализом понимают разделение слагающих породу зерен или агрегатов на классы по крупности и установление содержания каждого класса.

Изображаются результаты в виде таблиц и различных графических диаграмм: треугольных, секторных, гистограмм и т.д. Чтобы диаграммы были наиболее выразительными, границы классов подбираются таким образом, чтобы размеры удваивались. Часто по оси абсцисс откладывают не размеры в миллиметрах, а их логарифмы, отвечающие значениям какой-либо гранулометрической шкалы (рис. 46).

Фракционный состав осадков является функцией гранулометрического состава пород областей сноса, динамики среды переноса, динамики среды седиментации, физико-химических условий формирования осадков.

Размер зерен в осадке зависит в первую очередь от способа разрушения. Псефитовые и псаммитовые фракции образуются в основном при физическом выветривании путем разрушения пород на глыбы и зерна. Пелитовые фракции образуются при химическом выветривании. Поэтому полимодальный осадок, вероятнее всего, является смесью, возникающей при участии различных геологических процессов. Размер зерен зависит также от физического состояния носителя, доставившего осадок к месту отложения, и скорости переноса. Лед, например, способен переносить обломки гораздо больших размеров, чем вода или воздух.

По сортировке осадка по размеру зерен можно делать предположения об устойчивости и способе переноса, о динамике среды накопления. Так, лучшую

сортировку дает сальтация, а худшую – перенос во взвеси. Многократно перемытый осадок в движущейся среде также лучше сортирован однажды отложенного.

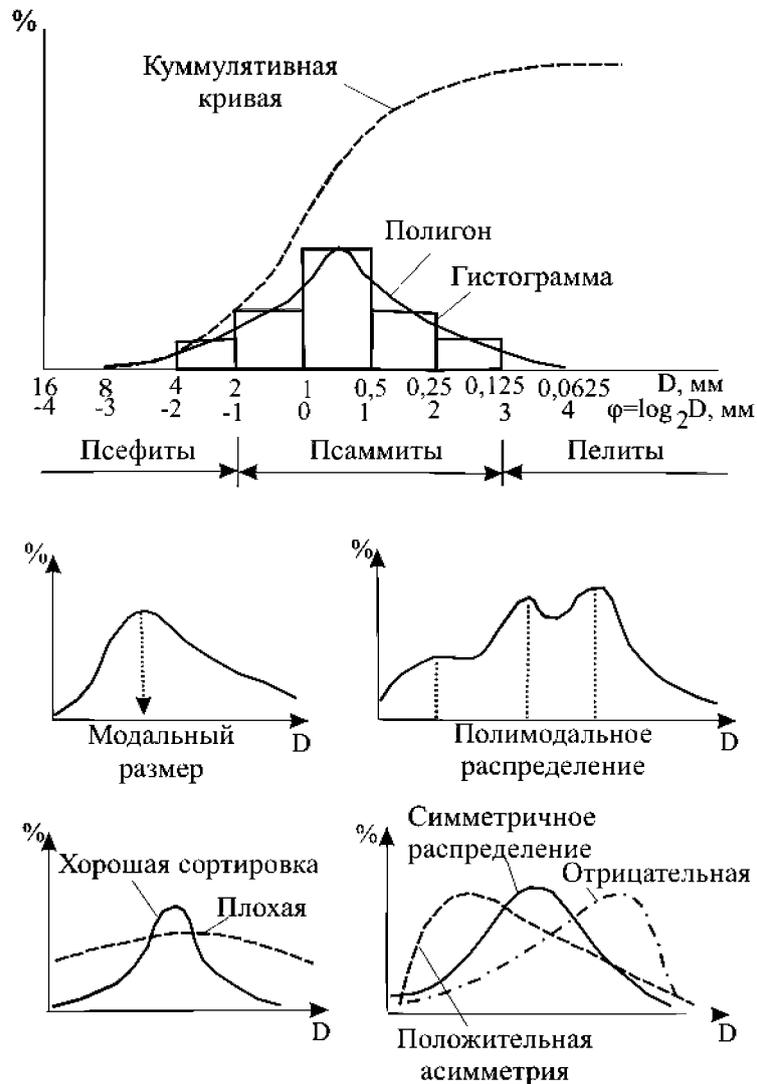


Рис. 46. Формы представления результатов гранулометрического анализа

Например, пляжевые и эоловые пески лучше сортированы, чем любые другие, так как переносятся путем сальтации. При этом у пляжевых песков отрицательная асимметрия (тонкий материал вымывается волнением), а у эоловых – положительная, поскольку грубый материал отстает при переносе ветром. Аллювий сортирован хуже, так как смешиваются разные механизмы переноса. Пролувий сортирован еще хуже, потому что материал переносится быстро и во взвеси.

Отдельным показателям распределения зерен в осадке можно приписать определенный физический смысл, но конкретное выражение связи грануломет-

рического спектра и отдельных его фракций с действием того или иного фактора неоднозначно. Поэтому использовать различные генетические диаграммы для геологической интерпретации гранулометрического анализа следует максимально осторожно.

2. Форма зерен определяется двумя главными показателями: сферичностью и окатанностью. *Сферичность* – показатель близости формы зерна к шаровидной. В практике работ сферичность определяется визуально путем сравнения с эталоном по таблице и выражается цифровым коэффициентом. Это показатель полуколичественный. *Окатанность* – это мера стирания острых углов зерен. Степень окатанности так же, как и сферичность, является полуколичественным показателем и оценивается аналогично (рис. 47).

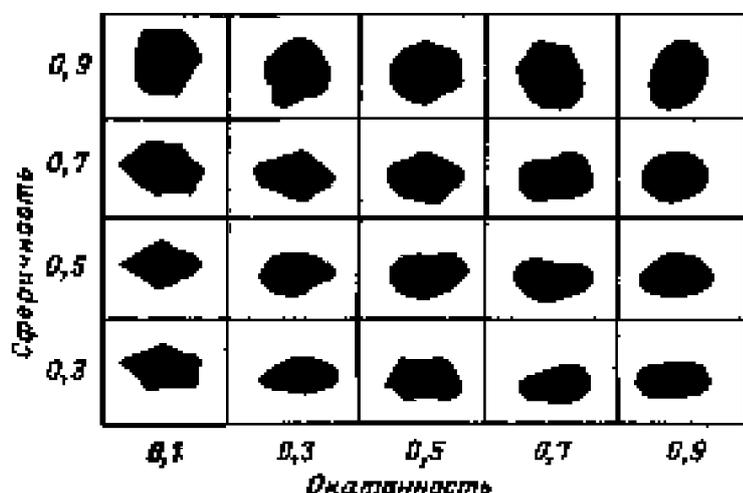


Рис. 47. Эталон для визуального определения сферичности и окатанности
(по Крумбейну, Слоссу)

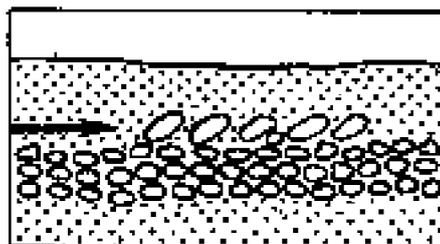
Как правило, сферичность и окатанность зависят друг от друга и от размеров зерен. Сферичность зерна отделяется в первую очередь свойствами разрушаемой породы. Естественно, что форма обломков изотропных пород заведомо будет более сферична, чем обломков сланцеватых метаморфических пород. Окатанность также в первую очередь зависит от прочности зерен, но, кроме того, и от характера носителя, способа и длительности переноса. При переносе льдом обломки всех размеров движутся с одинаковой скоростью, не соприкасаясь друг с другом, и следовательно, не подвергаются никакой механической обработке. При переносе водой во взвеси ситуация почти аналогичная, но при волочении по дну степень обработки резко возрастает. Перенос сальтацией вследствие многочисленных соударений также приводит к окатанности. Кроме того, при переносе ветром из-за отсутствия воды – смазки резко возрастает трение, и обломки принимают матовую шершавую поверхность. По форме обломков иногда можно судить о характере движения среды. Морские гальки, окатываемые в процессе

возвратно-поступательном, – симметричны. Однонаправленный перенос реками симметрии при окатанности не дает.

3. Взаиморасположение зерен включает понятия упаковки и ориентировки. *Упаковка* отражает собственно расположение зерен в породе друг относительно друга. Это расположение возникает вследствие воздействия силы тяжести и сил, связанных с транспортирующей средой во время отложения осадка. Упаковка, возникающая при этом, называется первичной. В процессе уплотнения осадка расположение зерен всегда меняется, поэтому в литифицированных породах первичную упаковку наблюдать практически невозможно. *Ориентировку* могут иметь только несферические зерна. Это векторная величина. Зерна в процессе переноса и отложения стремятся занять наиболее устойчивое положение относительно действующих сил. Обычно самая длинная ось обломка ориентируется параллельно направлению переноса, если это перенос во взвеси, и перпендикулярно – если был перенос волочением. Следовательно, если отбирать ориентированные образцы и быть уверенным, что ориентировка не менялась в процессе диагенеза, можно восстановить направление транспортировки. Поскольку все измерения ориентировки зерен имеют значение только в статистическом выражении, величина выборки для получения достоверного результата не должна быть меньше 80 – 100 измерений.

Характерной чертой осадков текучих вод является черепитчатое расположение зерен, когда плоскости наибольшего сечения наклонены против течения (рис. 48). Угол наклона уплощенных галек зависит от скорости потока и возрастает от 10 – 15 градусов при скорости порядка 0,8 – 1,0 м/с до 45 – при скорости до 3,5 м/с. Черепитчатость – гораздо лучший и более простой показатель направления переноса, чем расположение зерен в плоскости наслоения. Обычно хорошая черепитчатость характерна для речных отложений. Более-менее четкая ориентировка отмечается в отложениях пляжа.

Рис. 48. Черепитчатое расположение зерен в осадке.
Стрелкой показано направление течения



Текстура осадка. Понятие текстуры по своей сути аналогично понятию структуры. Это тоже размеры, форма и взаимное расположение, но не зерен, а их скоплений, групп, то есть это понятие более крупного масштаба. Основными текстурными признаками осадка или осадочной породы являются слоистость и особенности поверхностей напластования (граничных поверхностей).

1. Слоистость. Часто четвертичные отложения характеризуются хаотическим расположением частиц, то есть имеют беспорядочную текстуру. Но для большинства осадочных пород характерно наличие геометрически обособленных накоплений осадка, отличающихся структурой или составом. Это слои. Каждый слой отражает необычайно широкое разнообразие условий накопления. И при изменении хотя бы одного параметра этих условий может появиться новый слой. Но слоистость может возникнуть и в абсолютно одинаковых условиях в том случае, если осаждаемый материал поступает порциями. Следовательно, каждый слой также отражает отдельный этап процесса осаждения.

Наиболее общими причинами возникновения слоистости являются: а) изменения климата; б) подвижность среды в бассейне накопления; в) изменения глубины бассейна.

В практике работ при описании слоистости применяются такие термины, как слой, слойка, серия слойков, группа слоев (рис. 49). Термин пласт обычно используется как термин свободного пользования для обозначения формы геологического тела. При изучении каждого слоя как геологического тела, отражающего этап и условия процесса осаждения, анализируются мощность, латеральная протяженность и тип слоистости. Мощность говорит о том, насколько часто менялись условия осадконакопления или как долго они сохранялись. Это количественный параметр, который можно обработать статистически. Латеральная протяженность слоя зависит от выдержанности условий накопления на большой площади.

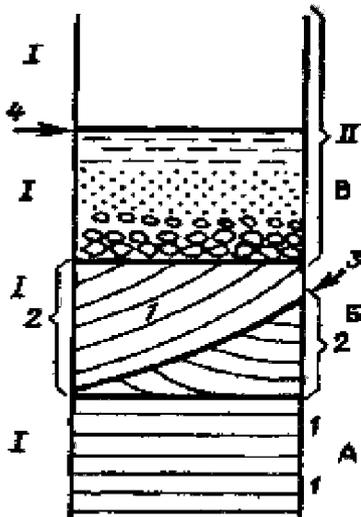


Рис. 49. Элементы слоистости:
 I – слой; II – серия слоев;
 1 – слойка; 2 – серия слойков; 3 – граничная поверхность серии; 4 – граничная поверхность слоя;
 А – параллельная слоистость; Б – косая слоистость; В – градационная слоистость

Каждый слой кроме особенностей своего состава и структуры имеет еще и характерный рисунок (геометрию). Учитывая геометрические критерии, выделяют несколько основных простых типов слоистости: параллельную, косую и градационную.

Параллельная слоистость представляет собой текстуру, состоящую из плоских параллельных слоев. Образуется она на горизонтальных или слабонаклонных поверхностях при выпадении осадка в спокойной малоподвижной среде, поэтому часто называется горизонтальной.

Косая слоистость характеризуется сериями слоев, которые косо наклонены по отношению к крупным поверхностям напластования, отражающим генеральное направление слоистости. Косая слоистость чрезвычайно разнообразна. Она бывает однонаправленной и разнонаправленной, желобчатой, сложной и обособленной. Текстуры косой слоистости являются результатом отложения зернистого материала в подвижной среде. Встречается она в породах разного состава и с разным размером зерен. Мощности серий косых слоев колеблются в очень широких пределах, от нескольких миллиметров до десятка метров. Рассмотрим несколько характерных примеров образования косой слоистости (рис. 50).

А. Образование косой серии на склонах перемещающихся форм дна. Направление угла падения слоев совпадает с местным направлением течения. Накопление слоев происходит путем лавинообразного осыпания зерен. Обособливаются слои друг от друга в результате разделения по размеру зерна. Более крупные зерна тяготеют к кровле слоев и, кроме того, к нижней части серии. Форма нижней поверхности серии определяется рельефом ложа, а верхняя граница, как правило, эродирована.

Б. Образование косых серий при боковой миграции русел. В течение такой миграции отложения размываются в одном месте и откладываются в другом. При этом количество осадков остается почти тем же, но текстура резко меняется. В своей верхней части косые слои сплющиваются и переходят в горизонтальные.

Градационная слоистость. Это такая текстура, когда в вертикальном разрезе слоя изменяется размер зерен в направлении от подошвы к кровле (см. рис. 49). В градационной слоистости можно видеть постепенные переходы от осадка с самым крупным зерном до осадка с самым мелким зерном. Например, от конгломерата через песчаники к алевроиту и аргиллиту. Иногда этот переход может быть скачкообразным. В таком случае говорят о прерывистой градационной слоистости. Образование градационной слоистости связано с распределением

частиц в соответствии с относительной скоростью их осаждения. Известно, что быстрее других осаждаются более тяжелые, более крупные и более сферичные зерна. Такое разделение может возникнуть при отложении несортированного материала в спокойной стоячей воде либо в результате осаждения из нормального потока с постепенно уменьшающейся скоростью (рис. 51).

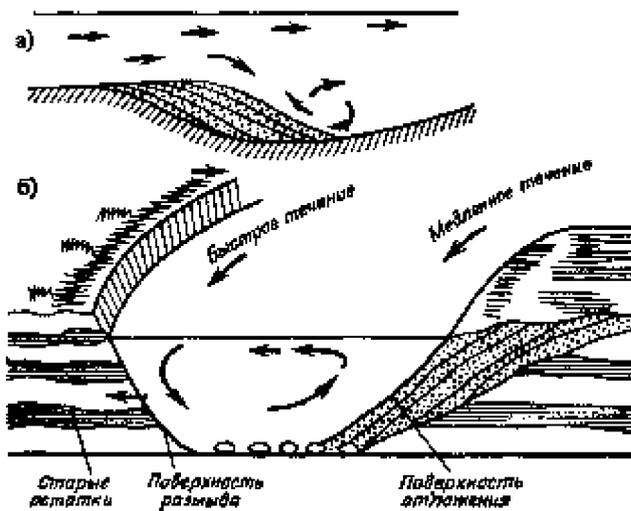


Рис. 50. Способы образования ко-сой слоистости:

- а – в результате завихрения потока на неровностях дна (по Джоулингу);
- б – в результате боковой миграции русла (по Б.Бейли)

Под простым типом понимается слоистость, формируемая каким-либо одним механизмом седиментации, однородным движением среды отложения. Но в природе часто возникают более сложные сочетания факторов, формирующих слоистость и приводящих к попеременному образованию нескольких типов слоистости, парагенетически связанных между собой. Такая слоистость называется сложной.

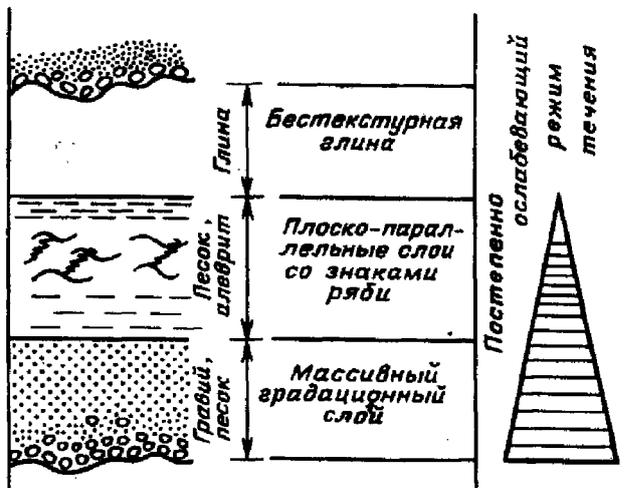


Рис. 51. Образование града-ционной серии слоев в результате чередующихся режимов течения (по Мидлтоу, Хамптону)

Анализ типов слоистости имеет большое значение. Они говорят о подвижности и направлении движения среды, характере отложения, помогают определить подошву и кровлю пластов в случае их нарушенного залегания, что важно для восстановления стратиграфической последовательности.

2. Граничные поверхности элементов слоистости образуются в результате перерыва в осаждении осадка и вследствие эрозии. Геометрические соотношения между граничными поверхностями геологических тел, образуемых косыми сериями, могут быть самыми разнообразными. Если эти поверхности наблюдать в разрезе, то их можно описать такими терминами, как плоские, вогнутые, выпуклые, волнистые, неровные, непрерывные, параллельные, сходящиеся и т.д.

Кроме линейных очертаний в разрезе, граничные поверхности различаются площадным узором, изучение которого помогает восстановить механизм их образования. Это знаки ряби, эрозионные размывы, трещины усыхания и другие. К сожалению, в большинстве четвертичных отложений знаки ряби не сохраняются.

Эрозионные размывы образуются на поверхности осадка в результате быстрого течения воды и сохраняются в ископаемом состоянии благодаря быстрому заполнению их осадками и последующему захоронению. Они имеют разные масштабы, их длина всегда во много раз больше глубины и ширины. Эрозионная поверхность, как правило, неровная. Заполняются размывы осадками со сравнительно крупным зерном, обычно местного происхождения (грубозернистым песком, гравием, внутриформационными конгломератами), рис. 52. Измерения длинных осей размывов дают материал для определения направления движения среды.

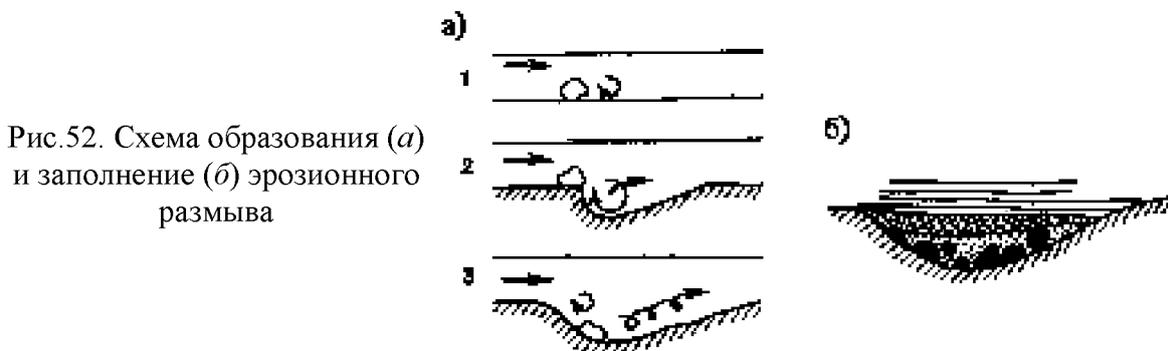


Рис.52. Схема образования (а) и заполнение (б) эрозионного размыва

Трещины усыхания образуются в результате уменьшения объема нелигифицированного осадка. Образуются они в днищах озер, на поверхности пойм рек и в других местах в илистом материале, но с соблюдением обязательного усло-

вия – периодически повторяющегося увлажнения и высыхания. Трещины усыхания сохраняются в ископаемом состоянии при заполнении их осадком. Глубина трещин обусловлена толщиной илистого слоя и длительностью высыхания. Соответственно тонкие прослои могут быть полностью разбиты трещинами, в более мощных слоях трещины имеют V-образную форму. Глубина трещин колеблется в основном от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, но известны случаи с глубиной трещин в несколько метров.

Цемент. У обломочных осадочных горных пород цемент можно характеризовать по-разному. По пространственному положению обломков и цемента выделяют следующие типы цементации: *базальный*, когда зерна как бы плавают в цементе, *поровый* и *контактный* (рис. 53), по взаимоотношению зерен и цементирующего материала: *коррозионный*, когда обломочные зерна разрушаются цементом и приобретают извилистые изъеденные очертания; *крустификационный* или обрастания – кристаллы цемента растут перпендикулярно к поверхности обломков и одевают их корочкой; *регенерационный* – цемент имеет одинаковый состав с обломочным зерном и образуется за счет его растворения. Хотя тип цемента, в первую очередь, отражает характер диагенеза, в отдельных случаях он помогает восстановить условия седиментации. Так, базальный цемент, если он первичный, образуется, вероятнее всего, непосредственно в совместном процессе накопления одновременно с обломками. Образование остальных типов цемента из этой серии, наверное, оторвано во времени. Крустификационный цемент однозначно указывает на наличие свободного пространства между обломками, что возможно при неплотной упаковке обломков в момент образования и при отсутствии дальнейшего уплотнения породы.

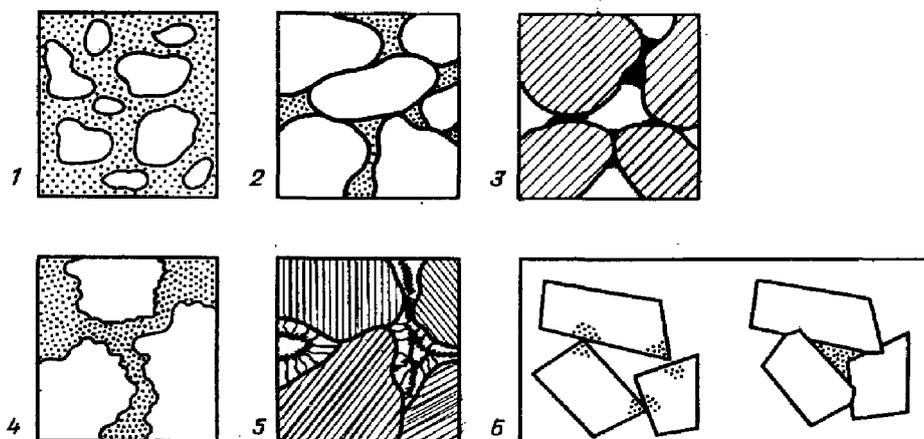


Рис. 53. Типы цементации обломков:

- 1 – базальный; 2 – поровый; 3 – контактовый; 4 – коррозионный;
5 – крустификационный; 6 – регенерационный

Состав осадка. Петрографический и минеральный состав осадка является важным фациальным признаком. Здесь следует различать состав собственно обломков основной массы породы, состав цемента и минералы-индикаторы. Наиболее доступен для анализа состав псаммитов и псефитов. Изучение состава глинистой фракции требует специальных исследований.

1. Состав обломков позволяет судить о составе материнских пород (об источниках сноса), о дальности и длительности переноса и, в конечном итоге, о тектонической обстановке в момент осадконакопления. Выводы об источниках сноса делаются на основании изучения песчинок и галек, так как эти компоненты транспортируются непосредственно из областей питания. Так, граниты при разрушении поставляют обломки кварца и полевого шпата. Эффузивы и метаморфические породы поставляют материал, состоящий из темноцветных и вторичных минералов, обломков лав и полевых шпатов. О размыве метаморфических пород свидетельствуют также минералы явно метаморфического происхождения (ставролит, дистен, глаукофан и др.). В то же время кварц и полевые шпаты – очень распространенные минералы и их значение как указателей источников сноса весьма ограничено. Поэтому практикуется отделение зерен акцессорных тяжелых минералов от легких компонентов и их изучение. Так, амфибол, биотит и сфен указывают на размыв кислых пород; авгит, ильменит, гиперстен – на размыв основных пород.

При длительном переносе состав осадка упрощается до пород, состоящих из одного – двух минералов, наиболее устойчивых к механическому разрушению и химическому разложению. Такой же результат может получиться, если источник сноса сложен не расчлененным, а сглаженным рельефом, ибо на нем более глубоко протекают процессы химического выветривания. Осадки, многократно перемытые и переотложенные, состоящие из устойчивых минералов, называют *зрелыми*, полимиктовые осадки, несущие следы быстрого захоронения, – *незрелыми*. В конечном итоге характер обломочного материала осадков зависит от интенсивности поднятий и темпа денудации на прилегающей суше и от скорости погружения и заполнения бассейна седиментации. Таким образом, зрелые осадки – это результат тектонического покоя, когда рельеф области разрушения и бассейна отложения сглажен, а процессы денудации и химического выветривания происходят медленно и глубоко. Незрелые осадки, наоборот, образуются в условиях высокой тектонической активности, когда различия высот областей разрушения и бассейнов накопления значительны, что вызывает быструю эрозию и захоронение.

Петрографический состав грубообломочного материала в полевых условиях определяется визуально. Для выяснения вещественного состава песчаной фракции производится шлиховое опробование. В результате исследований шлихов могут быть решены самые разнообразные вопросы, главными из которых являются: выяснение благоприятных минералогических ассоциаций при поисках определенных полезных ископаемых; установление соотношения состава различных генетических типов отложений с составом подстилающих пород; установление изменений минералогического состава в различных возрастных подразделениях.

2. Состав цемента и минералы-индикаторы. Наиболее распространенными минералами в составе цемента осадочных пород являются: кальцит и другие карбонаты, опал, халцедон, кварц, лимонит, гематит, глауконит, оксиды марганца, галит, гипс, ангидрит, пирит, марказит, хлорит, слюдистые и глинистые минералы. Многие из них образуются в специфических условиях и потому являются индикаторами седиментационной обстановки, если они не привнесены после литификации породы. Например, пирит и марказит встречаются в породе в виде тонкой вкрапленности, конкреций, псевдоморфоз, метакристаллов. Образуются на морском дне в условиях сероводородного заражения (без органических остатков) или в восстановительной среде (встречаются остатки бентосных организмов). Обилие тонкораспыленного пирита придает породе темно-серый цвет до черного. Гематит, лимонит в осадочных породах встречаются в виде плотных зернистых агрегатов конкреционного, оолитового, почковидного строения, часто в рассеянном виде содержатся в кристаллах других минералов, окрашивая их в красноватый цвет. Это устойчивые минералы зоны окисления как в подводных условиях, так и на суше. Они широко распространены в коре выветривания, развивающейся в условиях жаркого сухого климата. Пирролюзит, псиломелан встречаются в осадочных породах в виде зернистых порошкообразных сажи-стых масс, конкреций, псевдоморфоз. Окрашивают породы в черный цвет. Образуются в сильно окислительных условиях в прибрежных частях морских и озерных бассейнов. Сидерит образуется в осадочных породах при недостатке кислорода в слабо восстановительных условиях в ассоциации с органическим веществом. Глауконит (минерал из группы гидрослюды) образует тонкозернистые и землистые агрегаты, иногда выполняет раковины фораминифер или замещает мелкие скелетные остатки организмов. Является типичным морским образованием неритовой зоны. Образуется в спокойной тектонической обстановке. Окрашивает породу в различные оттенки зеленого цвета. Эвапориты – легко растворимые соли, осаждающиеся в результате испарения из водных растворов.

К наиболее распространенным минералам эвапоритов относятся галит, сильвин, гипс. Образуют сплошные мелкокристаллические массы и прослои среди обломочных осадков. Эвапориты, как правило, отлагаются в аридном климате в закрытых бассейнах с резко выраженной тенденцией к опусканию. Окрашивают породы в белый, розовый, сине-фиолетовый цвета. Карбонатный цемент характерен для малоподвижных водных бассейнов.

Выделение однозначно определяющих признаков генетических типов четвертичных отложений представляет большую трудность из-за большого палеоландшафтного разнообразия их накопления. Поэтому в первую очередь в определяющие признаки отложений должна входить их приуроченность к основным орографическим элементам – горам и равнинам, а внутри последних – к палеоклиматическим зонам – ледниковым и внеледниковым. Несмотря на значительное упрощение, даже такая схема позволяет зафиксировать пространственные ограничения определенных генетических типов отложений (см. табл. 14).

Элювием называют продукты выветривания, оставшиеся на месте своего образования. Они образуют характерную форму накопления вещества в виде коры выветривания. Кора выветривания формируется длительное время и не является отложениями в строгом смысле этого слова, так как в ее образовании отсутствует стадия переноса. Главную роль в образовании коры выветривания играет химическое выветривание, которое осуществляется нисходящим током воды, промывающим верхние горизонты пород. Соответственно наиболее интенсивно кора выветривания развивается в гумидном климате. В нивальном и аридном климате, где свободной воды недостаточно, коры выветривания почти не образуются и строение их элементарно – в основном они представлены щебнем. Развитие элювия является обычно показателем более или менее длительного перерыва в осадконакоплении, что важно для расшифровки палеогеографических условий формирования отложений.

Обломочный элювий располагается на современных водораздельных поверхностях и склонах с углами наклона до 5° . Эта разновидность элювия характерна для пустынных аридных и для горных областей, где происходит термическое или морозное выветривание.

Элювий характеризуется следующими признаками, вытекающими из специфики его образования:

- полное отсутствие окатанности и сортировки;
- неплотная упаковка и присутствие вторичного цемента;
- зональное строение с постепенным переходом от неразрушенных и неизмененных пород к продуктам разрушения.

Кора выветривания, наряду с этими признаками, имеет еще несколько специфических черт:

а) минеральный состав коры разнообразен и полностью зависит от состава материнских пород, хотя может существенно от них отличаться. Разница между составом коры и материнскими породами нарастает снизу вверх, обычно более высокие зоны имеют более простой состав;

б) она имеет отчетливо выраженное зональное строение, связанное со стадийностью ее образования.

Мощность коры выветривания меняется в широких пределах: иногда она достигает нескольких сотен метров, а чаще – от единиц до нескольких десятков метров. Кора достигает максимального развития в климатических условиях влажных тропиков. Наряду с климатом на развитие коры влияет рельеф территории. На сглаженной территории механический смыв происходит медленнее, чем химическое разложение пород, что способствует накоплению коры. На резко расчлененном рельефе темпы смыва опережают темпы химического выветривания, и кора смывается, не успев сформироваться. А так как расчлененный рельеф – следствие интенсивных тектонических движений, накопление коры выветривания есть свидетельство тектонически спокойного режима развития данной территории. Но как только тектонический режим территории активизируется, происходит легкое и быстрое разрушение сформировавшейся коры. Неполнота геологической летописи здесь сказывается в полную силу.

При изучении разрезов четвертичных отложений большое значение приобретают погребенные почвы. Типы погребенных почв обычно позволяют установить физико-географические (климатические) условия их формирования, особенно важны при этом результаты споро-пыльцевого анализа. Наиболее развиты погребенные почвы в разрезах лессовых и лессовидных отложений. Обычно погребенные почвенные горизонты лессовидных отложений включают в себя типичные черноземно-степные почвы, причем могут встречаться почвы как с полным профилем (сверху вниз: гумусовый горизонт, горизонт выщелачивания, горизонт вымытых карбонатов), так и недоразвитые, свидетельствующие о кратковременности почвообразующих процессов и резкой смене их на седиментационные. Мощности погребенных почв, как правило, невелики – от 0,5 до 3 – 4 м.

Отложения склонов и подножий включают в себя коллювиальные и делювиальные отложения. В современной обстановке эти отложения распространены широко, так как только мощный растительный покров препятствует их формированию. *Делювий* формируется в результате действия безрусловых потоков, образующихся при дожде и таянии снега. Склоновому смыву способствуют силь-

ные дожди, но препятствует растительный покров. Делювиальные отложения накапливаются на склонах с углами падения до 15° в виде чехла или заполняют разрозненные понижения в рельефе. В горных областях делювий в чистом виде встречается редко. Чаще он является составной частью смешанных делювиально-пролювиальных отложений, слагающих мощные шлейфы подножий. Делювиальные отложения практически не окатаны, но уже несколько сортированы и гораздо чаще имеют грубую слоистость.

Коллювий – это продукты разрушения горных пород, смещенные вниз по склону под действием силы тяжести. Они включают в себя обвалы (дерупций) и осыпи (десерпций). Осыпи сложены исключительно обломочным материалом преимущественно псефитовой и псаммитовой размерности, который накапливается на склонах с углами от 15 до 30° . Образуется этот материал в результате физического выветривания. Отделяющиеся от скал обломки образуют осыпь, которая покрывает склон от места выхода коренных пород до его основания. Перенос обломков в этом случае недалекий, кратковременный, область их накопления – неподвижная. Следовательно, окатанность и сортировка осыпающегося материала крайне низки, слоистость отсутствует, упаковка неплотная. Органические остатки, если они есть, принадлежат материнским породам и находятся только в составе обломков. Обвальная масса приурочена к подножьям склонов с углами $30 - 45^{\circ}$ и состоит из более крупного обломочного материала, чем осыпи. Пространство между глыбами обычно заполнено тем же, но более мелким обломочным материалом, часто встречаются пустоты, что отличает обвальное образование от селевых.

Под *оползнями* понимают движения пластичных масс грунта вниз по склонам в горах, по берегам речных долин, в обрывах морских берегов, оврагах и искусственных выемках. Возникают оползни, как правило, в глинистых грунтах, не обладающих сыпучестью. Отложения оползней (*делянсий*) могут включать грубообломочный материал, беспорядочно перемешанный с глиной. Пустоты отсутствуют, первичная структура и текстура породы сохраняется редко. В случае сползания крупных блоков пород может сохраниться слоистость, но ее ориентировка нарушается, а промежутки между блоками заполняются глинисто-щебенистой массой. Блочные оползни возникают при начальных уклонах не менее 25° . Оползни-потоки развиваются при уклонах от 10 до 25° и перемещаются по понижениям и эрозионным ложбинам на сотни метров.

Солифлюксий как самостоятельный генетический тип встречается только в ледниковых и высокогорных районах. Эти отложения образуются в результате накопления материала, сползающего по склону под действием силы тяжести в

результате оттаивания слоя сезонного промерзания или многолетней мерзлоты. Солифлюксий накапливается на склонах с углами наклона до $5 - 10^{\circ}$ (в противном случае вода стекает и не насыщает породы), в гранулометрическом составе этих отложений преобладают пелиты. Характерными особенностями этих отложений являются микрорельеф в виде уплощенных бугров и вмятин, внутрислоевые несогласованные деформации.

Пролувий – отложения временных потоков. Наиболее широко пролувий развит в аридном климате, так как в периоды засухи на горных склонах скапливается большое количество рыхлого материала (коллювия), который в периоды обильных дождей селевыми потоками выносится в предгорья. Эти потоки обладают большой плотностью и вязкостью, соответственно движутся прямолинейно, с большой скоростью и узкой полосой. Вследствие быстрого переноса отделения песчаной фракции от глинистой не происходит. Главными особенностями пролювиальных осадков являются:

- быстрое падение мощности осадков в направлении транспортировки;
- мусорный состав отложений с включением обломков древесины;
- плотная упаковка, отсутствие окатанности, сортировки и крайне грубая слоистость;
- отсутствие ориентировки у обломков или признаков переотложения.

Пролувий имеет характерную форму накопления в виде *конусов выноса*. В строении конуса отмечается нечетко выраженная зональность: наиболее грубый материал сосредоточен в его верхней части, более тонкий – в нижней. Вследствие постоянной фильтрации поверхностных вод через отложения верхней части конуса и их скопления и выхода на поверхность у окончания, окраины конусов выноса часто заболачиваются, а иногда и засоляются.

Мощность пролювиальных отложений часто составляет сотни метров. Объясняется это тем, что селевые потоки выбрасывают на равнину в сотни раз больше продуктов разрушения горных пород, чем обычные паводки. Кроме того, образование пролувия происходит обычно в условиях тектонического роста горной страны и опускания долины, что приводит к интенсивному разрушению горных пород на склонах и устойчивому накоплению этих продуктов.

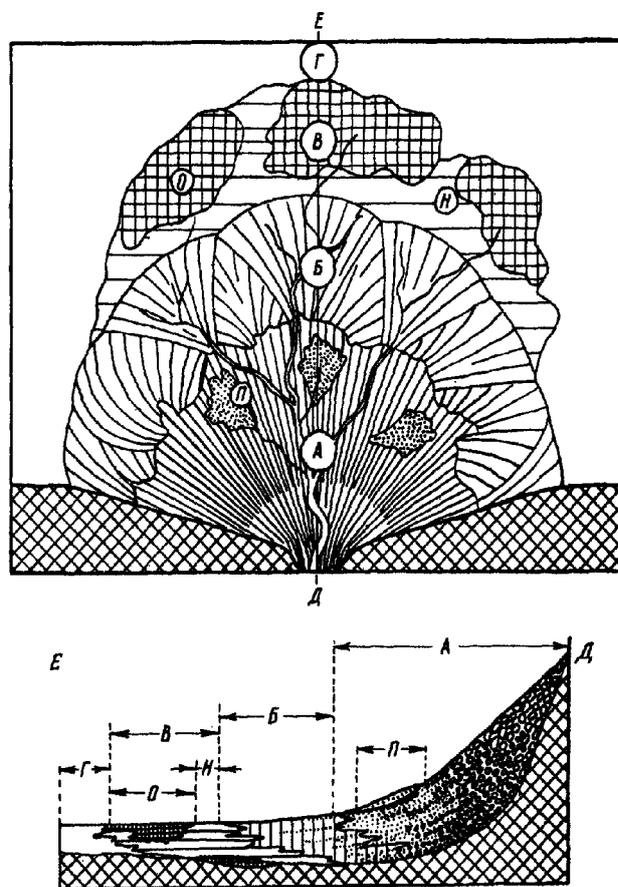
К пролувию также относятся отложения *сухих дельт*, образующихся в предгорьях в результате многократного наложения конусов выноса друг на друга, сформированных постоянно действующими реками, иссякающими в нижнем течении. Характерной чертой сухих дельт является ясно выраженная концентрическая дифференциация материала (рис. 54). В отличие от конусов выноса вре-

менных потоков в сухих дельтах постоянно действующих рек обломочный материал хорошо отмыт, довольно хорошо сортирован и окатан, поскольку основная часть дельты формируется системой русел, мигрирующих по ее поверхности.

Рис. 54. Схема строения крупного конуса выноса (сухой дельты):

А – русловая зона, сложенная потоковыми отложениями; Б – срединная зона накопления «веерной фации»; В – фронтальная зона накопления осадков «застойной фации»; П – покровные пески и супеси; О – озерные осадки; Н – болотно-солончаковые осадки; Г – непролювиальные отложения предгорной равнины; косая клетка – породы ложа и горного склона

(по Е.В. Шанцеру)



Селий – отложения катастрофических грязекаменных потоков, заполняющих речные долины и создающих мощные шлейфы при выходе из них. Селий сложен несортированными валунно-щебенисто-глинистыми осадками, иногда существенно засоренными материалом растительного (стволы деревьев) или техногенного происхождения. В связи с большой скоростью и кратковременностью переноса, а также практически мгновенным осаждением любая сортировка материала отсутствует, песчано-глинистый наполнитель имеет базальный характер. Мощность селевых отложений может достигать несколько сотен метров.

Аллювий – речные отложения. Различают три главных вида аллювия: русловый, пойменный и старичный. Русловые осадки накапливаются внутри зоны русла на дне и на меандровых отмелях во время боковой миграции русла, поэтому они называются осадками бокового приращения. Механизм такого приращения был рассмотрен при изучении процесса образования косой слоистости (см. рис. 50). В пойме осадки накапливаются порциями во время паводков. Такие отложения называются осадками вертикального приращения. Наконец, старичные

осадки – результат сезонного отложения из богатых органической жизнью летних вод.

Главное свойство каждой реки – однонаправленное движение воды исключительно вниз. Также в одном направлении меняются и свойства речных отложений. На каждом конкретном участке реки русловые осадки более крупнозернистые, чем пойменные и старичные. Последние в верховьях рек вообще не встречаются. Но размер зерен осадков каждого типа вниз по течению постепенно уменьшается, меняясь от конгломератов до алевритов. Наиболее типичным осадком рек являются различные пески. Большое влияние на характер аллювиальных отложений оказывает тектоническая обстановка накопления или рельеф местности. Аллювий горных рек имеет неполное развитие, в нем преобладают русловые фации. Аллювий равнинных рек содержит все виды входящих в него отложений – русловых, пойменных и старичных.

Разнообразие фаций, формирующихся одновременно в долинах, обуславливает пестроту литологического состава аллювиальных отложений, их быструю изменчивость в вертикальном и горизонтальном направлениях. Соответственно аллювий состоит из чередования слоев, различных по составу, форме и условиям залегания.

Главным морфологическим признаком речных отложений является их распространение в виде полос, врезанных в нижележащие образования. К важнейшим фациальным признакам речных осадков относятся:

- резкая изменчивость в разрезе и по горизонтали, цикличность накопления;
- нечеткие граничные поверхности, наличие эрозионных текстур и гиероглифов течений;
- невысокая степень сортировки, косая слоистость.

В процессе геологической съемки разрезы аллювиальных отложений обычно наблюдаются на террасированных склонах. Состав аллювия надпойменных террас несколько отличается от аллювия основного русла. Миграция материала внутри аллювиальной толщи приводит к обогащению достаточно пористых отложений глинистыми частицами, причем наиболее заилены нижние горизонты. Часто аллювий засорен или перекрыт делювиальным материалом бортов долины.

По динамическим условиям образования аллювий подразделяется на три типа. *Инстративный* (выстилаемый) аллювий наблюдается в условиях отрицательного баланса рыхлого материала и характеризуется малой мощностью, грубозернистым составом и отсутствием пойменной фации. *Перстативный* (пере-

стилаемый) аллювий образуется в состоянии динамического равновесия реки, обладает лучшей сортировкой и окатанностью и слагает эрозионно-аккумулятивные террасы, представленные всеми фациями. *Констративный* (настилаемый) аллювий образуется в условиях избыточного баланса рыхлого материала, представлен в основном фацией блуждающих русел с умеренной сортировкой и окатанностью материала. Слагает аккумулятивные террасы. В областях устойчивых тектонических опусканий констративный аллювий может занимать огромные плоские пространства, образуя так называемые аллювиальные равнины.

Озерные (*лимнические*) отложения. Большие озера с точки зрения осадконакопления имеют много аналогий с морями, но отличаются от них малой тепловой инерцией и, как следствие, большей сезонной климатической изменчивостью осадков. В масштабе геологического времени большинство озер – кратковременное явление, следовательно, мощность озерных отложений также значительно меньше морских. Кроме того, характер озерных осадков зависит от размера и глубины озер, способа питания их осадочным материалом, рельефа водосбора и других условий.

В озерной обстановке накапливаются кластические, органические и химические осадки. Состав осадков существенно зависит от климатических условий. В пресных озерах гумидного климата отлагаются кластические осадки, диатомиты, сапропели, бобовые железняки. Из кластических осадков преобладают алевриты и глины. Довольно часто они имеют темную окраску, связанную либо с продуктами распада органического вещества, либо с наличием сульфидов. Большое количество органического вещества в кластических осадках связано с дефицитом кислорода в придонной части озера, особенно в холодное время года, что приводит к массовой гибели органики. При обилии кислорода накапливается известковистый ил, формирующий озерные мергели. Соленые озера являются местом осаждения гипса, ангидрита, калийных и натровых солей.

Для всех типов озерных осадков характерны некоторые общие черты:

- наличие тонкой горизонтальной сезонной слоистости;
- значительная примесь обугленных растительных остатков;
- отсутствие эрозионных текстур, мелкие знаки ряби;
- изометричная форма геологических тел и преобладание регрессивной последовательности накопления.

Непосредственно с озерными осадками гумидного климата тесно связаны отложения болот (*пальстрий*). Необходимо два условия для образования болот: обилие исходной растительности и достижение уровня грунтовых вод дневной

поверхности. Сочетание этих условий – явление довольно частое, поэтому болотные отложения широко распространены в современной обстановке. Для болотной обстановки характерна неустойчивость и повторяемость вследствие колебательных движений, что приводит к захоронению органики и способствует накоплению болотных отложений. Типичными представителями болотных фаций являются илистый осадок с примесью растительного детрита и торфа. Торфяные болота могут развиваться в любых понижениях рельефа и даже на водоразделах. При этом обязательными условиями являются: гумидный климат, выровненная поверхность, затрудненный сток и обилие растительности. В целом болотные отложения маломощны, имеют небольшую протяженность и «лоскутное» расположение.

Ледниковые отложения. Ледниковые отложения очень разнообразны. Все их можно разделить на две группы: собственно ледниковые моренные отложения (*тиллиты*) и отложения талых ледниковых вод (*гляциофлювиальные отложения*).

В связи с тем что ледники способны существовать только в нивальном климате, почти все ледниковые осадки являются продуктами механического разрушения псаммитовой и псефитовой размерности.

Тиллиты представляют собой скопления разного размера валунов и глыб в глинисто-песчаной основной массе. В связи со спецификой переноса льдом они практически не сортированы и лишены слоистости. На некоторых валунах отмечаются шлифованные плоскости, царапины и борозды, что связано с их трением о борта и дно троговой долины или с взаимным трением валунов, находящихся в разных слоях льда и движущихся с разной скоростью. Обычно валуны ориентируются более широкой стороной вниз. Песчаный заполнитель тиллитов всегда более плотный, чем у отложений аналогичного гранулометрического состава, но других генетических типов. В верхней части тиллитов часто располагается абляционный материал, частично промытый талыми водами и поэтому обедненный мелкозернистыми частицами. Тиллиты фиксируют непосредственную площадь распространения льда. Они тесно связаны с гляциофлювиальными отложениями, которые образуются в результате действия текучих талых вод в краевой зоне ледников, формируя зандры.

Морфологически зандры представляют собой поля из слившихся конусов материала, вымытого из конечной морены. Здесь преобладают щебенистые и песчаные разности, которые отличаются от моренных в первую очередь лучшей сортировкой и беспорядочной кривоугольной слоистостью. Периферия зандровых полей нередко сложена глинисто-суглинистыми отложениями. Мощность современных

ледниковых отложений обычно составляет 5 – 20 м, иногда достигает 50 м. В древних отложениях встречаются ледниковые комплексы мощностью свыше 200 м.

Эоловые отложения. Большинство эоловых осадков образуется в пустынях и на открытых побережьях морей и озер. Эоловым накоплениям предшествует процесс дефляции, а он, как известно, протекает лишь в мелкозернистых рыхлых отложениях. Следовательно, эоловыми осадками являются почти исключительно тонкозернистые пески и алевриты. Транспортировка сальтацией разделяет их, и накапливаются они обычно в разных местах. Песчаный материал за пределы пустыни уйти не может, так как задерживается окраинной растительностью. Более мелкие продукты в виде пыли могут оседать и закрепляться на значительном расстоянии.

Характерной особенностью эоловых песков является преобладание кварца в их составе и почти полное отсутствие слюдистых минералов. Они хорошо сортированы и окатаны. Песчинки обладают матовой поверхностью, так как трутся друг о друга без присутствия воды. Наиболее частая текстура – косая слоистость с углами падения $30 - 33^{\circ}$ в подветренную сторону, что соответствует углу естественного откоса кварцевого мелкозернистого песка. Граничные поверхности серий более пологие. В отличие от отложений, накопленных в водной среде, эоловые отложения имеют обратную сортировку – верхняя часть слоев характеризуется более грубым материалом, что связано с выдуванием из верхней части слоев более тонких частиц. Основной формой накопления песков являются дюны и барханы. Мощность современных песков в пустынях достигает 100 м.

Своеобразными эоловыми отложениями, образующимися при выпадении пылеватых частиц из воздушной взвеси, является *лесс*. Это светлоокрашенная, почти не слоистая, пористая, слабо сцементированная порода карбонатно-кварцевого состава.

4.3.3. Геоморфологические исследования

Геоморфологические исследования имеют важнейшее значение при картировании четвертичных отложений, поскольку последние образуются в тесной взаимосвязи с формированием рельефа. При геоморфологических исследованиях, осуществляемых в комплексе работ по геологическому картированию, составляются текстовое описание и геоморфологическая карта (схема). Исследования базируются на полевых наблюдениях и на графических изображениях рельефа: топографических картах, аэрофотоснимках и космических снимках.

Геоморфологическая карта (схема) служит источником не только геоморфологической, но и дополнительной геологической информации, которую невозможно получить другими методами.

Основной задачей геоморфологических исследований при геологической съемке является установление связи трех основных категорий рельефа с геологическим и тектоническим строением территории. Это морфология, генезис и возраст. Соответственно основными объектами картирования являются формы рельефа, которые определяются по ведущему экзо- или эндогенному процессу и представляют собой *генетически однородные поверхности*, разделенные по положению в пространстве на горизонтальные (субгоризонтальные), наклонные (склоны), долины и впадины. Изучение наблюдаемых форм рельефа заключается в описании их внешнего облика (морфографии), установлении размеров и положения в пространстве (морфометрии), определении происхождения (генезиса) и выявлении последовательности и времени их образования (возраста). Изучая пространственную неоднородность в расположении элементов морфологической структуры различного внешнего облика, можно уточнить положение границ между типами рельефа, что важно для процедур геоморфологического районирования.

В большинстве случаев формы рельефа пространственно ограничены, а их границы обычно совпадают с выпуклыми или вогнутыми перегибами земной поверхности. Визуальному выделению форм рельефа на карте, кроме замкнутости их границ, способствует то, что многие из них обладают своим собственным "рисунком горизонталей".

Внешний облик рельефа определяется закономерными сочетаниями характерных точек и линий, на которые как бы натянуты поверхности. Они-то и образуют каркас рельефа. Сочетания точек, линий и поверхностей создают элементы морфологической структуры.

Точки как элементы морфологической структуры.

Различают следующие виды точек в рельефе: вершинные, седловинные, донные, устьевые, поворотные, развилочные, пересечения и слияния, истоков. В этих точках появляются, исчезают, объединяются или разъединяются вещественные рельефообразующие потоки.

Линии как элементы морфологической структуры.

Различают следующие виды линий: бровки, шовные линии (швы), тальвеги, ребра, гребни, водораздельные линии и берега.

Бровками называют выпуклые перегибы поверхностей. Шовная линия – это линия вогнутого перегиба поверхностей, разделяющая крутой, вышераспо-

ложенный и нижний, более пологий участки поверхностей. Тальвегом называется линия, соединяющая наиболее пониженные точки отрицательных форм рельефа, имеющих продольный уклон днища. Гребни – линии сопряжения противоположно падающих склонов. Ребра – линии положительных (выпуклых) изгибов поверхности склонов, наблюдающихся поперек их простирания.

Поверхности, как элементы морфологической структуры.

В геоморфологии выделяют поверхности двух типов: поверхности выравнивания и склоны. Поверхности выравнивания представляют собой участки сглаженного рельефа междуречий, имеющие общий уклон в соответствии с падением тальвегов древних долин. Угол наклона таких поверхностей может достигать 5° . Характерными признаками поверхностей выравнивания являются выровненный пологий рельеф междуречных пространств, вершин и склонов поднятий и их относительно одинаковое гипсометрическое положение, определяющее уровень поверхности. Поверхности выравнивания фиксируют основные этапы развития рельефа и представляют собой ту основу, к которой могут быть привязаны по возрасту остальные геоморфологические элементы.

Склоны по морфологическим различиям можно разделить на плоские или прямые, выпуклые, вогнутые, ступенчатые, террасированные склоны речных долин. Прямые склоны образуются при условии равенства интенсивности тектонического поднятия, глубинной эрозии и склоновой денудации. Выпуклые склоны образуются в случае, если склоновая денудация не успевает за темпами поднятия и глубинной эрозии. Вогнутые склоны возникают при ослаблении темпов тектонических поднятий. Ступенчатые склоны чаще возникают в условиях пластовой структуры при чередовании устойчивых и менее стойких пород.

Долины. Долины представляют собой достаточно ярко выраженные понижения в рельефе, открытые в одном направлении. Независимо от их первичного генезиса (тектонического, ледникового, эрозионного), долины являются ложем постоянных или временных водотоков, крайне чувствительных к любым изменениям тектонической обстановки и климата, поэтому их изучение дает ключ к пониманию истории развития рельефа картируемой территории.

Морфологический облик долин определяется их поперечным и продольным профилем. Продольный профиль речной долины создается в результате меняющегося соотношения между экзогенными и эндогенными факторами морфогенеза. В фазу нисходящего развития рельефа он стремится к конечному профилю равновесия. В фазу восходящего развития уклоны продольного профиля увеличиваются. Изменения продольного профиля тесно связаны с изменениями во времени и пространстве общего и местного базисов эрозии. Пониже-

ние общего базиса эрозии вызывает ползущую вверх регрессивную эрозию, а повышение – подпор вод и распространяющуюся вверх аккумуляцию.

Обычно поперечный профиль долины меняется сверху вниз, фиксируя эрозионные циклы и стадии. При этом подразумеваются последовательные изменения в морфологическом облике поперечного профиля от ущелья, через V-образную долину, к ящикообразной пойменной долине, то есть те изменения, которые происходят в долинах, приуроченных к участкам, испытывающим поднятия. Нередко долины обрабатываются другими агентами денудации, например ледниками. В этом случае их поперечный профиль меняется на U-образный (троговый).

Речные террасы являются частью долины и представляют собой горизонтальные выровненные площадки, ограниченные бровкой со стороны реки, и швом – со стороны борта долины. По характеру разреза различают эрозионные, аккумулятивные и эрозионно-аккумулятивные террасы. По особенностям расположения – террасы, вырезанные в бортах долины и прислоненные. Кроме того, террасы могут быть обнаженными и погребенными. По масштабам проявления различают цикловые и локальные террасы. К первым относятся регионально развитые террасы, образующиеся в результате циклических изменений общего базиса эрозии. Локальные террасы прослеживаются на отдельных участках речных долин, а их происхождение связано с влиянием местных факторов.

Наиболее крупные различия в типе речных долин обусловлены особенностями тектонической обстановки, в которой происходит их развитие. В районах с преобладающей тенденцией к поднятию развиваются долины с цокольными террасами, выработанные в коренных породах. Эти террасы несут покров аллювия, как правило, небольшой мощности. Чем на больших абсолютных отметках залегают такие террасы, тем они древнее. В районах с преобладающим прогибанием древний аллювий перекрывается все более молодым, причем выраженных в рельефе террас не образуется. В районах, испытывающих разнонаправленные движения, аллювий разного возраста может встречаться на самых разных отметках и в любой последовательности.

Основные генетические категории рельефа приведены в табл. 16.

Основные генетические категории рельефа

<i>Генетические категории</i>	<i>Формы и элементы морфологической структуры</i>
<p>Тектонический рельеф Созданный разрывными дислокациями</p> <p>Созданный растущими складчатыми структурами</p>	<p>Крутые прямолинейные склоны горных гряд и возвышенностей, тектонические уступы</p> <p>Склоны антиклинальных гряд и возвышенностей, висячие и сквозные речные долины</p>
<p>Вулканический рельеф Созданный комплексом вулканогенных процессов</p>	<p>Лавовые и эксплозивные плато и склоны, вулканические конусы, экструзивные купола и т.п.</p>
<p>Структурно-денудационный рельеф Созданный денудационной препарировкой геологических структур</p> <p>Созданный препарировкой отдельных видов пород и геологических тел</p>	<p>Куэсты, гребни и гряды, структурные ступени, уступы</p> <p>Субгоризонтальные и наклонные поверхности, бронированные прочными породами, возвышенности и склоны, уступы</p>
<p>Денудационный рельеф Созданный комплексной денудацией</p> <p>Созданный плоскостным смывом и эрозионной деятельностью рек</p> <p>Созданный в результате проявления комплекса эрозии и склоновых процессов</p> <p>Созданный водоприбойной деятельностью морей</p> <p>Созданный выпахивающей деятельностью ледников</p> <p>Созданный выдувающей деятельностью ветра</p>	<p>Поверхности выравнивания, срезающие древнее основание (пенеплен)</p> <p>Ступенчатые поверхности выравнивания у основания горных склонов (педиплен)</p> <p>Склоны гор и возвышенностей, террасированные склоны речных долин, овраги, бедленд</p> <p>Абразионные равнины и террасы, клифы</p> <p>Склоны гор, осложненные карами и цирками, троговые долины</p> <p>Бессточные дефляционные котловины</p>
<p>Аккумулятивный рельеф Созданный комплексной флювиальной аккумуляцией</p> <p>Созданный склоновой аккумуляцией</p> <p>Созданный морской аккумуляцией</p> <p>Созданный совместной деятельностью рек и моря</p> <p>Созданный ледниковой аккумуляцией</p> <p>Созданный навевающей деятельностью ветра</p>	<p>Аллювиально-пролювиальные равнины, сухие дельты</p> <p>Осыпные и обвальные, пролювиальные конусы, шлейфы</p> <p>Морские террасы</p> <p>Аллювиально-морские равнины, дельты</p> <p>Моренные холмы, гряды, зандровые поля и конусы</p> <p>Эоловые равнины, грядовые и бугристые пески</p>

Неотъемлемой частью рельефа является речная сеть (рисунок речных долин в плане). Полная согласованность речной сети с орографическими, геоморфологическими и геологическими элементами говорит о том, что она создавалась одновременно с последними или об унаследованном развитии. Несогласование плана речной сети с указанными элементами говорит о том, что она старше рельефа. Признаки перестройки речной сети (перехваты, висячие долины, эрозионные каньоны и др.) свидетельствуют о проявлении молодых тектонических движений.

На путь, по которому река следует к морю, влияют: первичный наклон и неровности поверхности; способность горных пород сопротивляться эрозии; совокупная история эрозии и аккумуляции, обусловленная изменениями климата, тектонической и вулканической деятельностью. В связи с этим различают несколько типов рек.

Реки, направления которых определяются первичным наклоном и неровностями поверхности земли, называются *консеквентными*. Реки, течение которых перестраивается в соответствии с прочностными характеристиками размываемых пород, называются *субсеквентными*. Последние, в свою очередь, могут образовываться двумя способами: *антецедентные* реки имеют долины, сформированные до воздымания территории, река размывает поднятие с той же скоростью, с которой оно растет на ее пути; *наложенные* реки закладываются на денудационной поверхности, а затем врезаются в тектонические структуры в связи с изменением базиса эрозии.

Общий план речной сети определяет ее морфологический тип. В результате врезания консеквентной реки ее вновь образованные склоны прорезаются притоками, не зависящими от первичного рельефа. Если направление притоков не контролируется текстурными особенностями пород и их тектонической структурой, то образуется древовидная речная сеть. Если на направление притоков растущей речной долины влияют особенности тектонической структуры, образуется угловатая речная сеть (решетчатая, параллельная и т.д.).

Анализ плана речной сети помогает установить системы трещиноватости, зоны глубинных разломов, кольцевые структуры, элементы складчатых структур, выходы пород различного петрографического состава.

Составной частью морфологического метода картирования является *морфометрический анализ*, при котором количественные характеристики форм рельефа изучаются с помощью специальных измерений. Обычно измеряют абсолютную и относительную высоту отдельных форм рельефа, углы наклона склонов и их экспозицию, площади, занятые положительными и отрицательными

формами рельефа, и некоторые другие показатели. Измерения проводятся обычно по топографическим картам. Широкое внедрение в практику геологического картирования ГИС-технологий существенно расширяет возможности морфометрического анализа, так как многие процедуры вычислений и преобразований информации автоматизированы и встроены в ГИС-пакеты.

Различают две возрастные характеристики рельефа: возраст и длительность формирования. Под возрастом рельефа понимается время завершения развития поверхностей и склонов и переход их в реликтовое состояние, то есть фактически возраст фиксирует смену крупных этапов в развитии рельефа. Возраст обозначается индексом. Более полной возрастной характеристикой является длительность формирования рельефа – отрезок времени от начала до завершения образования элементов рельефа. Указание длительности иногда бывает полезным. Например, возраст находящихся в развитии горных склонов всегда современный, длительность же их формирования может быть различной.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Назовите характерные черты, отличающие четвертичный период от предшествующих.*
- 2. Укажите важнейшие методы стратиграфического расчленения четвертичных образований.*
- 3. Что является основным объектом картирования четвертичных образований?*
- 4. Каким образом осуществляется корреляция четвертичных образований?*
- 5. Охарактеризуйте основные механизмы образования осадочных горных пород.*
- 6. Назовите главные фациальные признаки, определяющие генетический тип четвертичных отложений.*
- 7. Перечислите основные генетические типы отложений. Назовите фациальные признаки каждого из них.*
- 8. Назовите основные элементы морфологической структуры.*
- 9. Назовите основные типы рек и какими факторами обуславливаются морфологические типы речной сети.*
- 10. Кратко охарактеризуйте основные генетические категории рельефа.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минерально-сырьевой комплекс еще долго будет являться основой социально-экономического развития России. Его ключевое положение в экономике определяет минерально-сырьевая база страны, дальнейшее развитие которой немислимо без полномасштабных региональных исследований. Геологическая съемка является наиболее эффективным способом изучения земных недр и важнейшим инструментом поисков месторождений полезных ископаемых.

Геологическое картирование – сложный научно-производственный процесс, методы которого непрерывно развиваются и совершенствуются. Геологическая съемка тесно связана с научными исследованиями и требует от исполнителя широких познаний и умения применять разнообразные методы исследований. За всю историю своего существования геологическая карта превратилась из схематичного изображения в полноценную графическую базу данных.

Геологическая эффективность карты складывается из суммы научно-естественных и технологических знаний о недрах. Прирост таких знаний отражается в каждом последующем поколении геологических карт. Таким образом, геологическая карта отражает уровень нашего знания о геологическом строении территории, а точнее – уровень нашего незнания.

Некоторые задачи, которые имеют первостепенное значение для совершенствования методики геологического картирования и в решении которых необходим прогресс, сводятся к следующему:

- ✓ Необходимо формирование единого банка информации о недрах на основе существующих баз и банков данных, эффективных средств свободного доступа специалистов к информации, широкого внедрения новых технологий передачи данных.

- ✓ При современных требованиях к повышению прогнозной и поисковой эффективности геологической карты необходимо существенное увеличение глубины изучения территории, что невозможно без создания современной геофизической и дистанционной основы.

В настоящем издании изложены теоретические основы геологического картирования, методические и технологические приемы картосоставительских работ, раскрыты особенности геологического картирования в разных условиях. Но для квалифицированного составления геологической карты этого недостаточно.

Будущему специалисту в процессе обучения необходимо глубже овладеть геоинформационными технологиями, навыками работы с разнообразными базами данных, использования информационных ресурсов, овладеть навыками интерпретации геофизической информации (сейсмической, гравиметрической, глубинного электропрофилирования), цифровой обработки, интерпретации и дешифрирования космических снимков.

Предметный указатель

Аллювий 149
Анализ геодинамический 27, 116
- гранулометрический 134
- фациальный 91, 130, 133
Атрибуты картографических объектов 22, 55, 61
База первичных геологических данных 46
Бассейн осадочный 75, 133
Виды геологических карт 23
Геоинформационные системы 54
Гиатус 79
Глубина изучения непосредственного 40
- экстраполяции 40
Границы геологических тел 30, 36, 79, 101, 115, 117
- тектонические 115
Гриды 55
Датум 14
Делювий 146
Дистанционная основа 44, 54
Зрелость осадка 143
Изменения приконтактные 103
Изобразительные средства карты 22, 24, 62
Категории рельефа генетические 157
Классификация данных 69, 71
Кливаж 113
Климатолит 164
Кодекс стратиграфический 77
Коллювий 147
Компляция картографическая 67
Комплекс магматический 100
- метаморфический 101

- структурно-вещественный 28, 116
- покровный вулканогенно-осадочный 139
- складчато-метаморфический 40
- четвертичный 39
Корреляция магматических и метаморфических комплексов 109
- разрезов 83
- четвертичных образований 125
Коэффициент масштаба 18
Легенда карты 22, 62, 66, 128
Лимний 151
Литосома 92
Масштаб 10-11, 16, 18
Масштабы длин 16
- площадей 16-17
Масштабы карт 12, 16
Модели картографические 54, 60, 62
- векторные 56, 60
- матричные 55, 62
- растровые 54, 62
- «спагетти» 57
- топологические 57, 62
Мозаики полигональные 58
- TIN 59
- *Тиссена* 59
Морфологическая структура рельефа 154
Номенклатура карт 18
Объекты картирования 28, 75, 100, 116, 154
Опорные разрезы 48
- участки 47
Организационные стратегии картирования 47
Организация данных многослойная 60, 64
Особенности фациальные вулканических пород 95
- четвертичного периода 121
Отложения ледниковые 152
- эоловые 153
Палюстрий 151
Параметры проекций 17
Петротип 48

Поверхности граничные (контактовые) 90, 103, 138, 141
 Поверхность несогласия 33, 80
 Подразделения биостратиграфические 84
 - петрографические 100
 - стратиграфические 78
 Покровы тектонические 117
 Преобразования растров 66
 Признаки структурно-вещественные магматических комплексов 102, 107
 Принцип равной достоверности 50
 - стратиграфический (закон *Стенона*) 75, 100, 110
 Программа полевых работ 48
 Проекция картографические 16-19, 65-66
 - равновеликие 17
 - равнопромежуточные 17
 - равноугольные 17
 - простая поликоническая 19
 - *Гаусса-Крюгера* 21
 - *Меркатора* 20
 Проллювий 148
 Пространственные объекты 9, 28, 29
 Пространственный анализ 72
 Профили речной долины 149, 155

Разграфка карт 18
 Разрешение растра 45, 56
 Редактирование цифровой модели 68

Сальтация 131
 Сдвиги 119
 Сейсмофации 92
 Секвенции 89
 Селий 149
 Сеть речная 158
 Системы координат 14, 65
 - прямоугольная 15
 - сферическая 14
 Сложность геологического строения 40
 Слои векторные 60
 - комплексные 60
 - накладки 61
 Солифлюкций 147

 Спектральные диапазоны (каналы) 35, 45
 Способы выявления границ 29, 36, 101
 - пересечений 36
 - прослеживания 37
 Способы расчленения разрезов 78, 124
 - анализа перерывов и несогласий 80
 - литологический 79
 - палеомагнитный 85
 - ритмостратиграфический 82
 - сейсмостратиграфический 79
 - хемостратиграфический (изотопный) 87
 Способы регистрации первичных наблюдений 50
 Степень геологической изученности 40

 Стратиграфия четвертичных отложений 123
 Стратотип 48, 83
 Структура осадка 134
 Сфероид 14
 Схемы корреляции 125, 128

 Твердое дно 81
 Текстура осадка 138
 Тематическая обработка данных 71
 Террасы речные 156
 Террейны 117
 Типы отложений генетические 128, 145
 Типы рек 158
 Типы складчатости 115
 Топографическая основа 11, 14
 Точность данных 68

 Упрощение графическое 67
 Условные обозначения 25

Фации глубинности магматических тел 102
 Фильтрация данных 71

Шкала магнитохронологическая 84, 124
 Шкалы измерения 156

Элювий 145

Библиографический список

1. Апродов В.А. Геологическое картирование. - М.:Госгеолиздат, 1952. - 371 с.
2. Аэрокосмические методы геологических исследований/Под ред. А.В. Перцова; - СПб.: ВСЕГЕИ.- СПб, 2000. - 316 с.
3. Бейли Б. Введение в петрологию. - М.:Мир, 1972. - 280 с.
4. Ботвинкина Л.Н. Генетические типы отложений областей активного вулканизма. - М.:Наука, 1974. - 318 с.
5. Ботвинкина Л.Н. Методическое руководство по изучению слоистости. - М.:Наука, 1965. - 259 с.
6. Временные требования к организации, проведению и конечным результатам геолого-съемочных работ, завершающихся созданием Госгеолкарты-200.-2-е изд./ М-во природных ресурсов РФ. – СПб: ВСЕГЕИ, 1999. - 160 с.
7. Ганешин Г.С. Геоморфологическое картирование и картирование четвертичных отложений при геолого-съемочных работах. - М.:Недра, 1979. - 112 с.
8. Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов/ М-во природных ресурсов РФ.- СПб: ВСЕГЕИ, 1999. - 524 с.
9. ДеМерс, Майкл Н. Географические Информационные Системы: Основы.: Пер. с англ. - М.:Дата+, 1999. - 490 с.
10. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000/Роскомнедра. - М., 1995. - 244 с.
11. Кизевальтер Д.С., Рыжова А.А. Основы четвертичной геологии: Учеб. пособие для вузов. - М.:Недра, 1985. - 174 с.
12. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 343 с.
13. Методическое руководство по геологической съемке и поискам. - М.:Госгеолтехиздат, 1954. - 507 с.
14. Методическое руководство по геоморфологическим исследованиям. - Л.:Недра, 1972. - 384 с.
15. Михайлов А.Е. Структурная геология и геологическое картирование. - М.:Недра, 1984. - 464 с.
16. Миханков Ю.М. Геологическая съемка четвертичных отложений и геоморфологические исследования. - Л.:Недра, 1973. - 238 с.
17. Организация и содержание геолого-съемочных работ масштаба 1:200000: Метод. рекомендации/ Комитет РФ по геологии и использованию недр. –СПб: ВСЕГЕИ, 1995. – 136 с.
18. Паталаха Е.И. Генетические основы морфологической тектоники. - Алма-Ата: Наука, 1981. - 180 с.
19. Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования/ Комитет РФ по геологии и использованию недр. –СПб: ВСЕГЕИ, 1995. – 128 с.
20. Седиментология: Пер. с польск. - М.:Недра, 1980. - 640 с.
21. Создание Госгеолкарты-200 с применением компьютерных технологий: Методическое руководство/М-во природных ресурсов РФ. –СПб: ВСЕГЕИ, 1999. – 174 с.
22. Стратиграфический кодекс. Изд.2-е, доп./Межвед. стратигр. ком. - СПб., 1992. - 120 с.