

**Негосударственное частное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Национальный открытый институт, г. Санкт-Петербург»**

М.С. Захаров, Н. Г. Корвет, Т. Н. Николаева, В. К. Учаев

Почвоведение и инженерная геология

Рекомендовано в качестве учебного пособия
для студентов, осваивающих образовательную программу бакалавров
по направлениям 120700.62 «Землеустройство и кадастры»
и 120100.62 «Геодезия и дистанционное зондирование»

Санкт-Петербург
2014

Захаров М.С., Корвет Н. Г., Николаева Т. Н., Учаев В. К. Почвоведение и инженерная геология. Учебное пособие. СПб, 2014. -... с.

Даются начала геологических знаний в объёме сведений по общей и полевой геологии. Рассматриваются основные разделы инженерной геологии в составе грунтоведения, инженерной геодинамики и региональной инженерной геологии. Обосновывается общий объект изучения грунтоведения и почвоведения – почвы и рассматриваются основы генетического почвоведения. Приводится характеристика состава, состояния и свойств различных грунтов, включая почвы, как многофазных систем. Рассмотрены условия залегания и движения подземных вод и определена роль подземных вод при освоении территорий и строительстве различных зданий и сооружений. Формулируется понятие об инженерно-геологических условиях и рассматриваются закономерности их формирования по регионам страны. Подчёркивается неразрывная связь инженерной геологии и почвоведения с вопросами рационального использования и охраны природой среды.

Для студентов вузов, обучающихся по направлениям «Геодезия и дистанционное зондирование», «Землеустройство и кадастры».

ISBN ?

©М. С. Захаров и др., 2014
© Национальный открытый институт,
г. Санкт-Петербург, 2014

Предисловие

Согласно Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования подготовки бакалавров по направлениям «Геодезия и дистанционное зондирование» (120100.62) и «Землеустройство и кадастры» (120700.62) в перечне обязательных дисциплин первого курса обучения во втором семестре предусмотрено освоение дисциплины «Почвоведение и инженерная геология» в объёме 44 часов аудиторных занятий и 64 часов самостоятельной работы с экзаменом в конце 11 - недельного семестра. Существенным моментом является то обстоятельство, что для студентов направления «Геодезия и дистанционное зондирование» указанная дисциплина будет вторым курсом геологического содержания после освоения в первом семестре дисциплины «Геоморфология с основами геологии», а вот для студентов направления «Землеустройство и кадастры» это будет первое знакомство с дисциплиной геологического содержания. Данное обстоятельство должно предполагать разную компоновку и насыщенность учебных материалов для указанных специальностей. Поэтому при подготовке данного учебного пособия авторы сочли необходимым начать пособие не с изложения специальных вопросов почвоведения или инженерной геологии, а посвятить первую часть краткому изложению общегеологических сведений, необходимых для перехода к освоению таких специальных дисциплин как почвоведение и инженерная геология, справедливо полагая, что элементы повторения никогда не были лишними в учебном процессе, тем более что для студентов направления «Геодезия и дистанционное зондирование» на дисциплину «Геоморфология с основами геологии» отведено 72 часа в первом семестре обучения (42 часа аудиторных занятий и 30 часов самостоятельной работы), заканчивающихся зачётом. Кроме того, авторы полагают что данное учебное пособие может также использоваться для освоения подобной дисциплины, преподаваемой студентам специальности «Городской кадастр» в строительных вузах, где она вообще не предваряется основами геологических знаний.

Вторым немаловажным отличием данного учебного пособия является чёткое соподчинение указанных учебных дисциплин – почвоведения и инженерной геологии, в отношении общего объекта изучения, т. е. почв. При рассмотрении почвы как объекта изучения и инженерного воздействия в отношениях логического пересечения находятся собственно почвоведение, как наука о природном теле (т. е. почве), используемом как средство производства и как предмет труда, и грунтоведение, как часть инженерной геологии, создавшая учение о формировании состава состояния и свойств различных грунтов, включая почвы, и о методах технической мелиорации грунтов и почв при хозяйственном освоении различных территорий. В этом отношении авторы считают, что основой для почвоведения служат достижения наук о Земле, в первую очередь, геологии, а также инженерной геологии, изучающей горные породы как дисперсные многофазные и многокомпонентные системы, состоящие из твердой, жидкой и газообразной фаз, и содержащие органическое вещество как продукт жизнедеятельности организмов.

Таким образом, цель изучения дисциплины «Почвоведение и инженерная геология» заключается в формировании знаний о Геологической среде как многокомпонентной системе, где почвы формируются на субстрате, представляющем собой сложные природные образования, – горные породы различного происхождения, состава, состояния и свойств, под влиянием особых почвообразовательных процессов, возникающих в самом верху литосферы как следствие взаимодействия разнообразных природных факторов (солнечного тепла, атмосферных агентов, живого вещества на макро- и микроуровне) в различных географических зонах. Эти процессы представляют собой выветривание материнских горных пород, подготавливающее различные типы литогенеза. С другой стороны, у специалистов геодезического профиля как неперенных участников строительного процесса, необходимо сформировать достаточно широкие и глубокие знания о динамике геологических процессов, о способах управления ими с целью минимизации

рисков, связанных с рациональным хозяйственным и строительным освоением Геологической среды. Отдельным разделом в курсе будет показана роль подземных вод в освоении Геологической среды. На этой основе в дальнейшем обучении и освоении дисциплины «Инженерно-геологические и инженерно-геологические изыскания» на 4-ом курсе студенты могут уверенно усвоить принципы организации инженерных изысканий, получить представление о различных технологиях производства полевых и камеральных работ.

Задачи дисциплины «Почвоведение и инженерная геология»:

- сформировать знания о составе, свойствах и динамике Геологической среды, в том числе и почв, об особенностях взаимодействия горных пород, почв и подземных вод с сооружениями разного типа;
- раскрыть закономерности формирования инженерно-геологических условий, как на планете в целом, так и на территории России в частности;
- показать логику применения полученных геологических знаний для рационального выбора и оценки строительной площадки или трассы, выбора типа основания, способа производства инженерных работ;
- показать роль геологических знаний при решении задач рационального использования и охраны Геологической среды в целом и почвенного покрова в частности.

Большое значение в изучении дисциплин и курсов геологического содержания имеет самостоятельная работа учащихся. Она имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, подготовку к предстоящим занятиям и экзамену по дисциплине, а также формирование навыков умственного труда и самостоятельности в поиске и приобретении новых знаний.

Для эффективной организации самостоятельной работы над учебным материалом целесообразно придерживаться следующих рекомендаций:

1. иметь в своём распоряжении персональный компьютер с возможностью выхода в Интернет и минимальный набор компьютерных программ для работы с текстами и графикой (Word, Excel, Surfer, AutoCad и т. п.);

2. по указанию преподавателя ввести в память своего персонального компьютера основные программы и приложения: текстовые редакторы, электронные таблицы, графические пакеты, библиографические и нормативные источники и т. п.;

3. иметь необходимый набор канцелярских принадлежностей, позволяющих вести систематические и структурированные записи;

4. желательно иметь и носить с собой на занятия планшет или ноутбук с подготовленным по указанию преподавателя учебным материалом;

5. ознакомиться с учебной литературой по курсу (учебниками и учебными пособиями):

— перелистать, познакомиться со структурой, запомнить рубрикацию разделов, приложений, определить к каким разделам дисциплины относится тот или иной фрагмент источника, выделить материал, не вошедший в структуру дисциплины;

— ознакомиться с введением и сформировать свое мнение о содержимом источника;

— полезным будет приобретение компьютерной Базы знаний по гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии – версия 5.10, содержащая пять основных модулей: «Библиотека», «Гидрогеологический калькулятор», «Карты», «Нормативно-методический модуль», «Словари и переводчики». Ознакомиться с содержанием Базы знаний и условиями её приобретения для студентов можно на сайте <http://www.hge.pu.ru>.

6. При работе над конкретной темой дисциплины:

— проработать по учебникам и учебным пособиям нужный раздел и имеющиеся к нему приложения;

— постараться понять соответствующий учебный материал на концептуальном уровне;

— поработать с приложениями: предметным и именным указателями, указателем иностранных слов, толковым словарем;

— по указанию преподавателя ознакомиться с электронными материалами по дисциплине

— при возникновении неясностей в рассматриваемой теме – задать вопрос преподавателю при личной встрече или по Интернету.

7. По мере продвижения вперед не забывать регулярно "оглядываться назад", повторяя содержание пройденного материала, что позволит составить образное представление о структуре дисциплины, её логичной целостности.

Введение.

Сформулируем основную цель геологического образования, реализуемого через усвоение учебной дисциплины под названием «Почвоведение и инженерная геология», как *формирование знаний специалиста в области геодезии или строительства, необходимых и достаточных для успешного решения комплексных задач при освоении Геологической Среды. Речь идёт о таких геологических знаниях, которые в настоящее время сосредоточены в специальном направлении геологической науки и практики, называемом Инженерной Геологией, при этом рассмотрение почв как органоминеральных образований, вопросы формирования их состава и свойств, проблемы их рационального использования и охраны рассматриваются как составляющие более общих проблем хозяйственного освоения территорий и строительства различных зданий и сооружений и производства инженерных работ (рис. 1). Таким образом, достигается важнейшая цель обучения представителей технических специальностей на основе рассмотрения Геологической среды как многокомпонентной системы, где почвы неразрывно связаны с горными породами различного происхождения, состава, состояния и свойств, а почвообразовательные процессы рассматриваются в общем контексте геодинамических процессов, развивающихся на нашей планете под влиянием природных и техногенных факторов. При этом каждое из названных научных направлений, с одной стороны, сохраняет свою относительную независимость и свой научно-методический арсенал, а с другой происходит необходимое объединение получаемых знаний для решения комплексных проблем безопасности капитального строительства и проблем рационального использования и охраны геологической среды.*



Итак, в данном учебном пособии речь будет идти об учебной дисциплине, включающей в себя обширную информацию, необходимую и достаточную для комплексного хозяйственного освоения территорий, производства строительных и инженерных работ, при этом почвам в каждом разделе инженерно-геологического знания уделяется особое внимание.

К задачам, которые необходимо решить в ходе учебного процесса, отнесём следующие:

1. формирование систематизированных знаний о составе, свойствах и динамике земной коры в целом, в том числе об особенностях взаимодействия горных пород и почв с различными сооружениями и при производстве инженерных работ, о закономерностях трансформации и эволюции горных пород и почв под влиянием природных и техногенных факторов;
2. рассмотрение роли подземных вод, в том числе поровой влаги, при формировании свойств горных пород и почв.
3. знакомство с организацией процесса получения геологической информации, необходимой и достаточной для обоснования проектов землепользования и проектирования и строительства различных зданий и сооружений;
4. формирование первичных навыков по применению полученной геологической информации для рационального выбора и оценки строительной площадки или трассы, типа основания и способа производства работ нулевого цикла, для построения прогноза изменения природной среды и оценки рисков, связанных со строительной деятельностью человека.

Из рис. 1 видно, что усвоение заявленной учебной дисциплины неразрывно связано, прежде всего, с фундаментальными разделами геологического знания о веществе земной коры – кристаллографией, минералогией, петрологией, гидрогеологией, почвоведением, мерзлотоведением, о структуре и истории становления и развития земной коры - исторической геологией, структурной геологией, геотектоникой и геофизикой, на знакомство с которыми необходим дополнительный объём времени в индивидуальном порядке.

При освоении названной дисциплины следует уделять особое внимание связи инженерно-геологической и геоэкологической составляющим в оценке условий строительства и эксплуатации различных сооружений, что, в конечном счёте, определяет рациональное развитие всей техносферы в любой точке нашей планеты. В инженерных изысканиях эти два направления исследований должны

развиваться параллельно, дополняя друг друга. И последнее...Эффективность использования комплексной геологической и геоэкологической информации зависит от того, каким образом эта информация включена в процессы проектирования, строительства и эксплуатации различных зданий и сооружений. Современный специалист, связанный с проблемами строительства и землепользования, должен в полной мере владеть эффективными информационными технологиями и уметь оценивать полноту, достоверность и точность полученной информации.

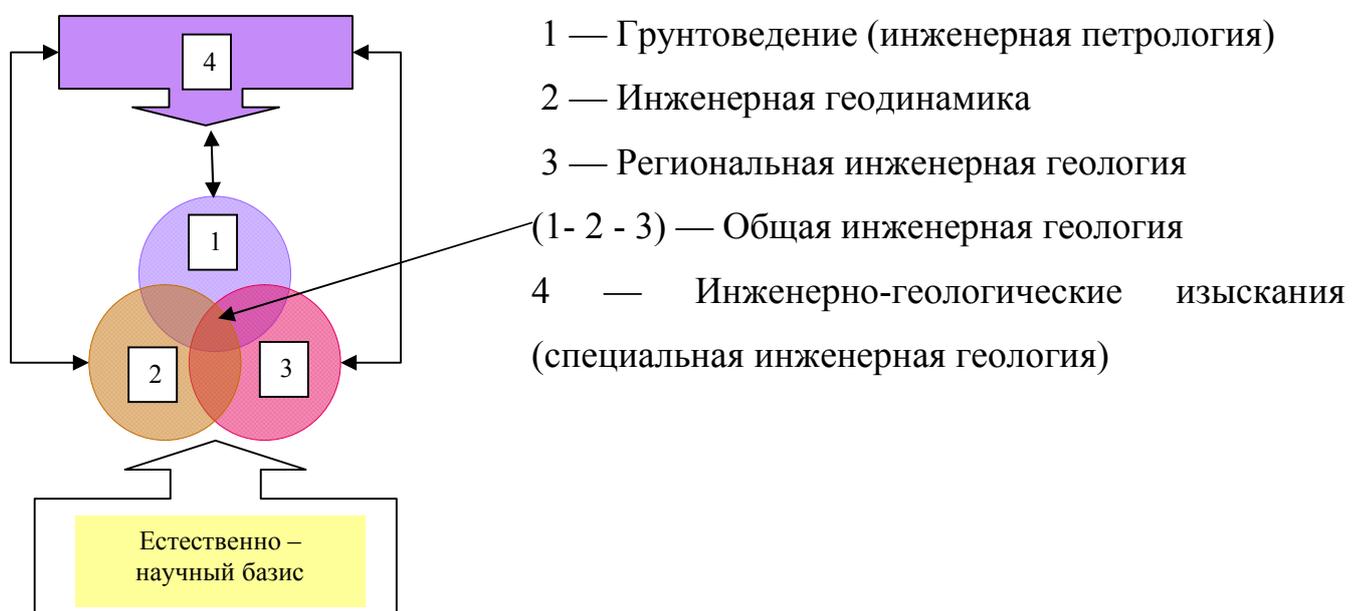
Следует подчеркнуть, что для получения любой геологической информации широко используются современная техника, приборы и различные технологии. Виды инженерно-геологических и почвенных исследований чрезвычайно разнообразны и включают в себя технологии использования архивной информации об объекте исследований, дистанционные и контактные технологии полевых и мониторинговых наблюдений и компьютерные технологии обработки и представления информации широкому кругу потребителей. При этом одну и ту же информацию можно получить с применением различных технологий. Необходимо уметь оптимизировать комплекс технологий по месту, по времени, по затратам труда и стоимости в зависимости от проектируемых сооружений. Такая оптимизация, с одной стороны, должна опираться на действующие нормативно-методические документы, а, с другой стороны, подобная деятельность является делом сугубо творческим.

Инженерная геология как наука и практика сложилась в результате практики массового строительства. В нашей стране она оформилась как самостоятельное направление в 30-ые годы прошлого столетия, когда были организованы профильные научные и учебные учреждения и вышли в свет капитальные работы по инженерной геологии и гидрогеологии Ф. П. Саваренского, Г. Н. Каменского, М. М. Филатова, В. В. Охотина, И. В. Попова, В. А. Приклонского, Н. В. Коломенского и др. Дальнейшее развитие инженерной геологии связано с работами многих выдающихся учёных – Е. М. Сергеева, Г.К. Бондарика, Г.С. Золотарёва, Г. А. Голодковской, В. Д. Ломтадзе и др..

К творцам современного почвоведения, которое в сущности зародилось в России, относят В. И. Вернадского, В. В. Докучаева, П. А. Костычева, В. Р. Вильямса. В. И. Вернадский считал, что «М. В. Ломоносов является не только русским почвоведом, но и первым почвоведом вообще». В современный период особенно возросла роль почвоведения в рациональном использовании почв, правильной их оценке для мелиорации, эффективного применения удобрений, разработки мероприятий по борьбе с эрозией и охране почв. Среди почвоведов этого периода следует назвать имена Л.И. Прасолова, Н.Н. Розова, В.А. Ковда, М.А. Глазовской, И.С. Кауричева, А.А. Роде, Н.А. Качинского, Л.А. Александровой и многих других.

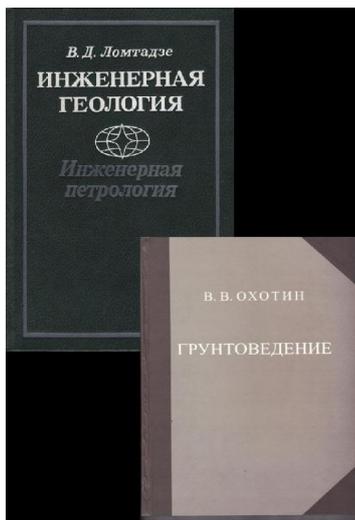
К настоящему моменту сложилась общепринятая структура инженерно-геологического знания, которая показана на рис. 2. Ещё раз подчеркнём, что генетическое почвоведение теснейшим образом связано с грунтоведением.

Рис. 2. Структура инженерно-геологического знания



Грунтоведение (синоним: инженерная петрология).

Учение о формировании горных пород, их состава, состояния и физико-механических свойств.



Основные постулаты (аксиомы) Грунтоведения
— Горные породы/грунты — это многофазные системы – минеральные или органоминеральные составляющие, вода (в жидком, твёрдом и газообразном состоянии), природные газы.
— Породы/грунты, в том числе и почвы, - суть историко-генетические образования.
— Почвы (по определению В. В. Докучаева) это дневные или близкие к ним горизонты горных пород, которые под взаимным влиянием воды, воздуха и различных организмов – живых или мёртвых, переходит в разряд органоминеральных образований особого состава, структуры и цвета, обладающих плодородием.
— При решении задач комплексного развития и освоения территорий, при строительстве и производстве инженерных работ на сохранение и рациональное использование почвенного покрова всегда следует обращать особое внимание.
— В строительстве, как нигде, необходимо моделирование и расчёт деформационного поведения пород/грунтов и прогноз изменений состава и свойств пород/грунтов при взаимодействии с сооружениями в различных природных условиях.



Для любого специалиста, связанного с освоением Геологической среды – грунт/порода рассматриваются как образование, которое может использоваться как основание, среда или как стройматериал, при этом почва, теснейшим образом связанная с материнскими породами, должна рассматриваться как ценнейший продукт эволюции верхних слоёв литосферы, обеспечивший становление и прогресс человеческой цивилизации!

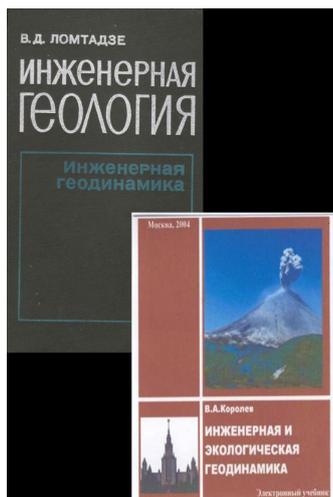
Кора выветривания и почвенно-растительный слой с корневой системой различных растений



На приведённых рисунках показана неразрывная связь развития коры выветривания и процессов почвообразования!

Инженерная геодинамика.

Учение о способах и методах системного управления геодинамической обстановкой на основе исследования механизма геологических процессов, их парагенетических сочетаний с целью минимизации ущерба, снижения рисков и обеспечения безопасности различных сооружений и производства инженерных работ.



Основные постулаты (аксиомы) Геодинамики.

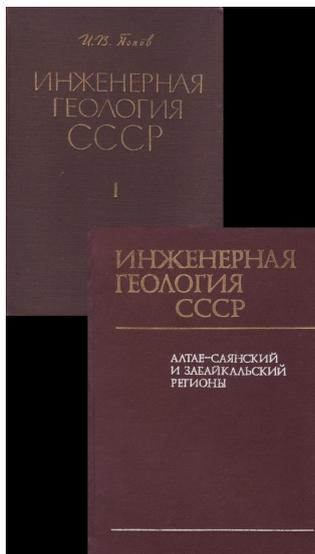
- Геологические процессы проявляются в образовании и разрушении пород/грунтов, в изменении их физического состояния и условий залегания, в изменении природного рельефа, строении земной коры и внутренней структуры планеты в целом.
- Геологические процессы и явления связаны с эндогенными, экзогенными силами планеты и с инженерной деятельностью человека. В основе механизма любых геологических процессов лежит нарушение сложившихся природных равновесий под влиянием естественных или искусственных факторов.
- Важнейшей особенностью геологических процессов является неравномерность их проявления в пределах различных территорий, различающихся по комплексу ландшафтно-климатических и тектонических факторов.
- Геологические процессы оказывают решающее влияние на устойчивость местности и соответственно на устойчивость существующих и проектируемых сооружений.
- Почвообразование как геологический процесс носит биохимический характер и совершается при участии живых организмов и продуктов их жизнедеятельности, в результате чего образуется система сложных органоминеральных соединений, которые с током влаги мигрируют по вертикальной толще формирующейся почвы.

Региональная инженерная геология (РИГ) (структурная инженерная геология).

РИГ – это научный раздел Инженерной Геологии, исследующий и представляющий в различных модельных формах (текстуальных, графических, функциональных) структуру и организацию Геологической Среды для решения задач хозяйственного использования свободного пространства, строительства различных сооружений, производства инженерных работ и обеспечения безопасной жизнедеятельности человека, при этом необходимо учитывать, что происходит неизбежное изъятие, а иногда бесцельное уничтожение почвенного покрова и связанного с ним растительного и животного мира.

Это - учение о территориях как **природном** ресурсе свободного пространства для строительства и жизнедеятельности человека и о закономерностях формирования

инженерно-геологических условий строительства. Это уникальное обобщение опыта инженерно-геологических исследований на территории б. СССР. Основные положения регионального раздела инженерной геологии были созданы в советский период нашей истории.



Основные постулаты (аксиомы) Региональной Инженерной Геологии.

- Структура и организация дневной поверхности нашей планеты отражают универсальный блоково-ступенчатый принцип формирования Геологической Среды в целом, являясь интегральным показателем взаимодействия структурно-тектонических, ландшафтно-климатических и техногенных факторов. Это основной принцип выделения и типизации инженерно-геологических структур.
- Региональные инженерно-геологические исследования неразрывно связаны с производством съёмочных работ, инженерно-геологическим картированием и районированием различных территорий в разных масштабах.
- Материалы региональных исследований позволяют разрабатывать различные способы накопления, хранения и выдачи информации для решения задач рационального использования и охраны Геологической Среды.

Общая Инженерная Геология.

Это теоретический и методологический раздел, устанавливающий понятийную и терминологическую базу Инженерной Геологии, определяющий её историческое и системное содержание и методы использования в практике строительства и производства инженерных работ. Этот раздел определяет границы взаимодействия Инженерной Геологии с другими науками о Земле.

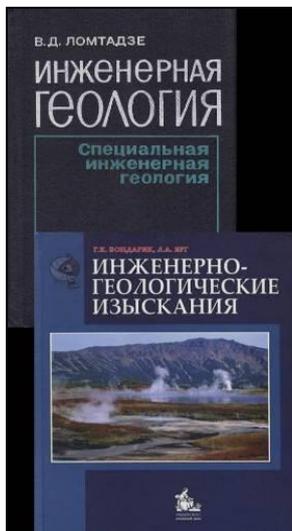


Основные постулаты Общей Инженерной Геологии

- Объект инженерной геологии – территория... (абстракция первой ступени Геологическая Среда территорий).
- Предмет Инженерной Геологии – область создания и практического использования Знаний о формировании и изменении инженерно-геологических условий территорий, о геологических условиях строительства и эксплуатации сооружений, о рациональном использовании Геологической Среды для обеспечения безопасных и комфортных условий жизнедеятельности человека.
- Методология: использование исторического и системного подходов, многоаспектного, в том числе механико-математического, моделирования.
- Практика: создание системы инженерно-геологических изысканий на основе оптимального комплекса современных технологий полевых, лабораторных и других видов работ.
- Суть инженерно-геологических исследований - получение, обработка и выдача информации, необходимой и достаточной для строительства различных сооружений.

Специальная Инженерная Геология.

Это синтетический раздел Инженерной геологии, в котором аккумулируются все теоретические и практические знания о Геологической Среде, необходимые для проектирования, реализации проектов и эксплуатации любых зданий и сооружений, и производства инженерных работ.



Основные постулаты Специальной Инженерной Геологии

- Основой профессионального формирования и роста геодезиста, строителя (геотехника) являются три положения: практическое знание геодезии, геологии, механики горных пород и опыта строительства.
- Любое строительство и инженерные работы требуют обширных знаний об инженерно-геологических условиях – рельефа местности, геологического строения, состава, состояния и свойств грунтов/пород, гидрогеологических условий, структурно-тектонических особенностей территории, геодинамической обстановки.
- Получение информации об инженерно-геологических условиях должно быть организовано как непрерывный, но стадийный процесс по принципу движения от общего к частному.
- Сбор, обработка и выдача инженерно-геологической информации должны быть максимально оптимизированы в отношении техники, технологии, времени и финансовых затрат применительно к различным видам строительства.

Из выше изложенных положений должно быть ясно, что специалист технического профиля, геодезист или строитель, может в полной мере опереться на Инженерную Геологию как основу своих профессиональных знаний и возможностей для проектирования, строительства, эксплуатации различных зданий и сооружений и соблюдения принципов рационального использования и охраны Геологической Среды, включая такой уникальный объект как почвы. При этом в каждом конкретном случае необходимы тщательный отбор и анализ инженерно-геологической информации, её оптимизация и рациональное включение в процесс проектирования и строительства.

Таким образом, инженерная геология, дополненная разделами почвоведения, является необходимой основой для успешного освоения всех предметов геодезического и строительного циклов, прежде всего, механики горных пород, геотехники, оснований и фундаментов, основ инженерных изысканий (см. учебные материалы по инженерно-геодезическим, инженерно-геологическим и инженерно-геотехническим изысканиям).

Рассмотренное выше содержание учебной дисциплины «Почвоведение и инженерная геология» далеко не исчерпывает содержание Инженерной Геологии и Почвоведения, они лишь очерчивают базу естественнонаучных знаний, необходимых при освоении учебных программ других строительных дисциплин, а также определяют направления для расширения и углубления этих знаний при решении конкретных задач в области проектирования и строительства различных сооружений и производства инженерных работ. Аудиторная нагрузка бакалавриата крайне ограничена по времени, и успех освоения учебной программы во многом будет зависеть от самостоятельной работы каждого студента, как по названным выше главам, так и за пределами рассмотренных в них тем.

Глава 1. Краткие сведения по общей и полевой геологии.

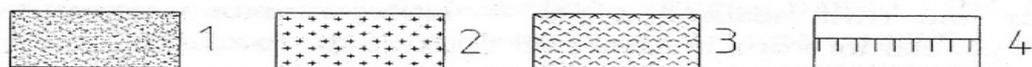
При инженерно-геологическом изучении любой территории основное внимание уделяют рассмотрению природных геологических особенностей - горным породам, рельефу, подземным водам, геологическим процессам и явлениям [1, 25, 32, 53]. В настоящее время эти взаимосвязанные компоненты образуют некоторую систему, которая по отношению к задачам строительства и производства инженерных работ стала называться *Геологической средой*. При всём многообразии формулировок этого понятия, в его определении центральное место занимают природные геологические условия, являющиеся главным объектом изучения инженерной геологии [В. Д. Ломтадзе, 1999]. Эти условия определяют обоснование строительства и эксплуатации сооружений на конкретной территории, и применительно к целям строительной практики рассматриваются, как «инженерно-геологические условия (ИГУ)» [25]. Таким образом, под Геологической средой мы будем подразумевать верхнюю часть литосферы с её элементами, находящуюся в тесном взаимодействии с внутренними и внешними геосферами Земли и используемую человеком в своей хозяйственной деятельности.

Геосферная модель строения Земли и краткая характеристика геосфер [2,38]. Форма Земли, именуемая *геоидом*, близка к трёхосному эллипсоиду вращения с полярным сжатием, обусловленным скоростью вращения Земли. Её средний радиус составляет 6371 км, полярный – 6357 км, экваториальный – 6378 км. Длина земного *меридиана* равна 40008,6 км, экватора – 40075,7 км. Площадь поверхности Земли – 510 млн км², из них 29% составляет суша, остальная занята поверхностными водами. Объем Земли – $1,08 \cdot 10^{12}$ км³. Земная поверхность очень изменчива по высоте: гора Эверест расположена на уровне 8848м, а Марианская глубоководная впадина - ниже уровня моря на 11 033м.

Строение Земли обычно характеризуют совокупностью внешних и внутренних геосфер. При его изучении используют различные модели, которые по мере накопления и уточнения информации изменяются, становятся более

детализированными. Для создания подобных моделей используют: – прямые (непосредственные) наблюдения, основными из которых являются горные выработки (прежде всего, буровые скважины); – косвенные (геофизические) методы, базирующиеся на данных наблюдений за прохождением в недрах Земли *продольных* (P), *поперечных* (S) и *поверхностных сейсмических волн* (L), возникающих при землетрясениях (см. главу 4). Существует также минералогическое направление в изучении строения Земли, основанное на экспериментальных исследованиях структурных преобразований минералов при высоких давлениях [6]. Возможности прямых наблюдений ограничены глубиной скважин, наибольшая из которых – 12262 м (Кольская сверхглубокая скважина), что составляет очень незначительную часть разреза планеты Земля. Наиболее полную информацию о внутреннем строении Земли получают на основе сейсмологических исследований, которые позволяют установить глубину границ, разделяющих Землю на несколько концентрических сферических оболочек (внутренних геосфер), а также получить данные об их физических свойствах.

Модель современной Земли представлена на рисунке 1.1.



1. Толща осадочных пород. 2. Гранитный слой. 3. Базальтовый слой.

4. Раздел Мохо.

Центральную часть Земли составляет *ядро* – сфероид со средним радиусом 3486 км, расположенное на глубине 2891 км и составляющее около 17% от её объёма. В нём выделяют: – внешнее ядро (E), представляющее твёрдую оболочку плотностью 10,0 – 11,4 г/см³, состоящую из смеси железа, серы и никеля; – внутреннее ядро (G), характеризующееся железоникелевым сплавом плотностью 13,8– 14,3 г/см³, находящимся в жидком состоянии.

Ядро окружает *мантия*, которая подразделяется на *верхнюю подкорковую мантию*, *астеносферу* и *нижнюю мантию*. Мантия расположена на глубинах 5–75 км от поверхности Земли и составляет 83% её объёма. В её химическом составе основную часть (90%) составляют окислы кремния, магния и двухвалентного железа, 5 – 10% – окислы кальция, алюминия и магния. Плотность вещества мантии составляет от 3,3 г/см³ в подкорковой части до 5,5 г/см³ в низах нижней мантии. Мантия является промежуточной геосферой между нижерасположенным ядром и вышележащей корой и играет важную роль в развитии процессов, происходящих в самой верхней оболочке Земли.

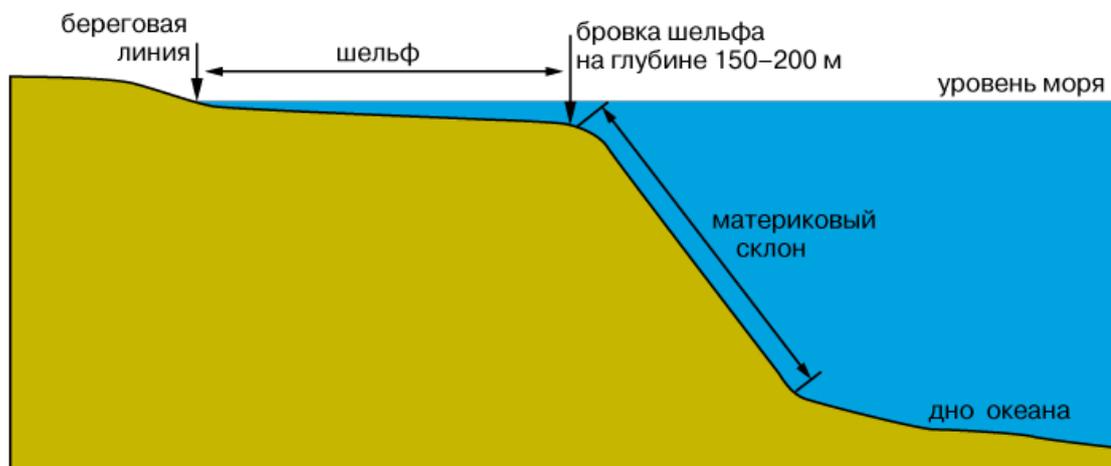
Внешняя (приповерхностная) оболочка Земли называется *земной корой*. Она отделяется от расположенной под ней мантии границей Мохоровичича, названной по имени сейсмолога, открывшего её в 1909 году. Эта граница условно принята за подошву земной коры и отчётливо прослеживается под континентами и океанами. Существуют два принципиально различных по составу, возрасту и происхождению типа коры: *континентальная и океаническая*. *Континентальная* кора развита под континентами и имеет переменную мощность (от 35–40 км в пределах платформенных областей до 55–70 км в молодых горных сооружениях), которая достигает наибольших значений под Гималаями и Андами. *Океаническая кора* распространена в пределах океанов и характеризуется примерно постоянными значениями мощности (6–7 км).

Основные элементы, слагающие вещество земной коры: кислород (46,8%), кремний (27,3%), алюминий (8,7%), железо (5,1%), кальций (3,6%), натрий и калий (5,2%), магний (2,1%). Все остальные элементы встречаются редко и не оказывают существенного влияния на его состав и свойства. Химический состав континентальной коры по сравнению с океанической отличается повышенным содержанием кремния и калия и более низким двухвалентного железа, магния и кальция. Радиоактивных элементов в океанической коре очень мало, в то время как в верхней части континентальной коры, их содержание, повышенное. Средняя плотность коры составляет 2,67 г/см³.

Исходя из того, что оболочки А (земная кора) и В (верхняя мантия) по характеру распространения упругих волн ведут себя как твёрдое тело, они объединяются в *литосферу*, характеризующуюся высокой прочностью и упругими свойствами, залегающую на ослабленном, пластичном астеносферном слое. Этот слой играет важную роль в тектонической и магматической активности литосферных плит, обеспечивая их изостатическое равновесие.

На поверхности литосферы различают макроэлементы: континенты (суша), материковый шельф (континентальная окраина), материковый склон, ложе океана и океанические впадины (рис.1.2).

Рис. 1.2



Шельф представляет продолжение материков под водой и имеет геологическое строение близкое к прилегающей суше, т. е. это затопленная в современную эпоху окраина материка, занимающая около 8% всей площади Мирового океана (уровень Мирового океана за последние 10 тыс. лет поднялся на высоту около 50 м). В настоящее время шельф находится в состоянии интенсивного изучения (месторождения углеводородов, россыпные месторождения полиметаллов и золота) и разнообразного гидротехнического строительства (буровые платформы, трубопроводы, портовые сооружения и т. п.). Не меньший интерес вызывает освоение глубоководных месторождений железомарганцевых конкреций, редкоземельных рудоносных илов, сульфидов и полиметаллических корок. Россия является активным членом клуба развитых стран, занимающихся освоением подводных пространств, в первую очередь, окраинных морей Арктического и Тихоокеанского бассейнов, а также Каспийского, Балтийского и Чёрного морей.

Под воздействием различных сил и факторов дневная поверхность континентов имеет весьма сложное строение, оказывающее громадное влияние на условия строительства, на безопасность сооружений и жизнедеятельности человека. Изучением строения поверхности суши, называемого *рельефом*,

занимается географо-геологическая наука геоморфология. Под *рельефом* понимается совокупность всех форм земной поверхности, образованных воздействием на земную кору эндогенных и экзогенных процессов. Рельеф разделяется по внешнему облику (морфография), по происхождению (морфологические комплексы и ряды) и по возрасту (генерации рельефа). При оценке инженерно-геологических условий строительства характеристике рельефа уделяется исключительное внимание. Элементы рельефа – поверхности, линии, точки, могут быть простыми или элементарными, и сложными. Поверхности могут иметь горизонтальную, наклонную, выпуклую или вогнутую формы. Поверхности разделяются линиями: водораздельными, водосливными (тальвеги), подошвенными и бровочными. Формы рельефа подразделяются на положительные и отрицательные, имеющие чёткие границы и выраженную индивидуальность (вулкан, хребет, плато, впадина, долина). Простые формы рельефа характеризуются единством образования, простотой строения и очертаний (холм, овраг, дюна), небольшими размерами и одновозрастностью составляющих частей. Сложные формы рельефа образованы сочетанием различных элементов, могут иметь разный возраст составляющих элементов. В образовании простых форм принимает участие один рельефообразующий процесс, сложные формы возникают в результате *парагенетического* сочетания нескольких рельефообразующих процессов. Совокупность форм рельефа определённого генезиса, возраста и морфологии называется *типом рельефа*. Можно выделить три основных типа рельефа: равнинный, холмистый и горный.

Равнинный тип представлен низинами, расположенными ниже современного уровня моря, низменностями и возвышенными равнинами с высотами до 200 м, нагорными плато и равнинами с высотами более 500 м. Поверхность равнин имеет различную густоту расчленения от плоских слабо расчленённых с уклонами до 5 м/км до глубоко расчленённых с уклонами 10...100 м/км.

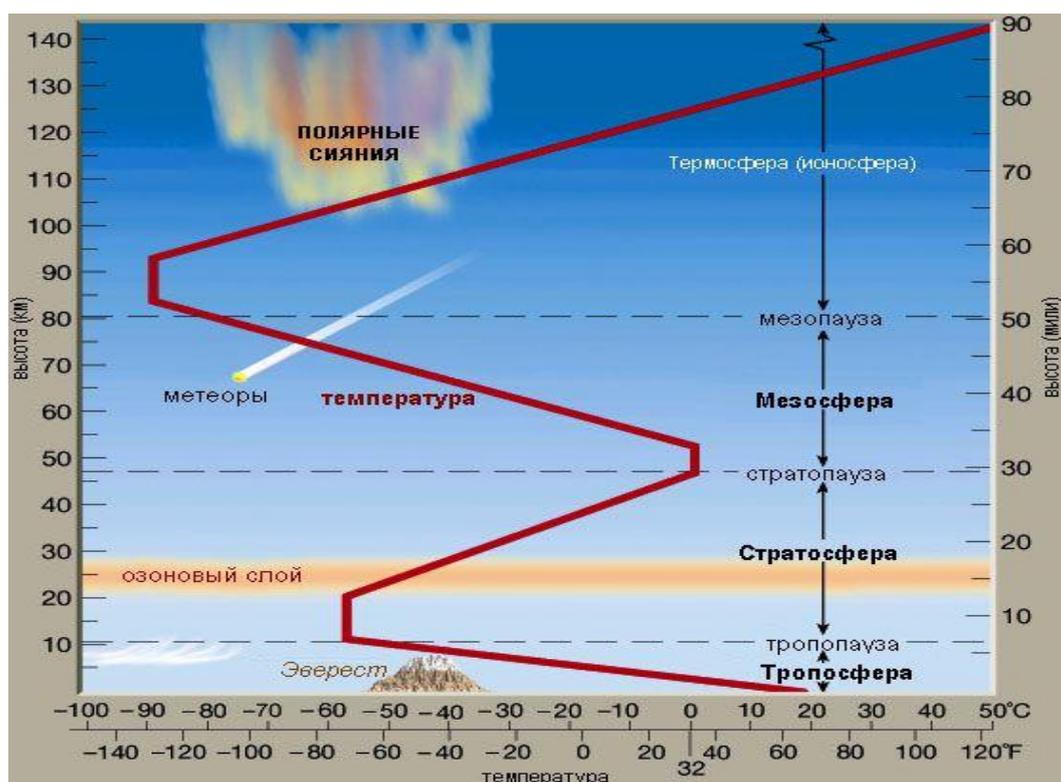
Горный рельеф может быть представлен низкогорьем с пологими склонами высотой до 500 м, среднегорьем с весьма изрезанными склонами,

покрытыми осыпями и курумами, и высотами до 2500 м. Высокогорье с отметками выше 2500 м покрыто многочисленными осыпями, курумами. Выше снеговой линии на высотах 3500...4000 м горные хребты и вершины закрыты снеговым и ледовым покровом. Здесь проявляют себя снежные лавины, образуются селевые потоки, наблюдаются интенсивные подвижки ледников. Горы формируются различными процессами тектонической, вулканической и эрозионной природы.

Под влиянием внутренних и внешних сил, действующих на планете и в ближайшем космическом окружении (воздействие комет, астероидов, болидов), рельеф планеты находится в постоянном развитии. В настоящее время инженерная деятельность человека тоже стала рельефообразующим фактором (намывные и насыпные территории, терриконы, карьеры и т. п.).

Внешние оболочки Земли: гидросфера (водная оболочка), атмосфера (газовая оболочка), биосфера (занимает гидросферу и пограничный слой земли с атмосферой).

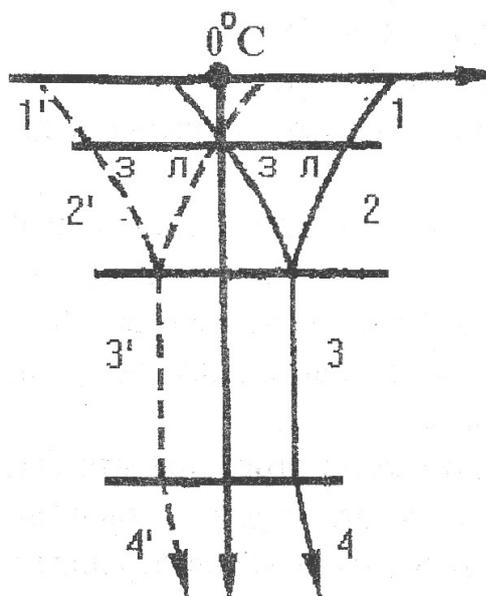
Атмосфера представляет газообразную оболочку Земли, включающую тропосферу, стратосферу, ионосферу, и распространяется на высоту в несколько тысяч километров (рис. 1.3).



Гидросфера является водной оболочкой Земли, включающей воды океанов, морей, болот площадью составляющей более 70 % всей поверхности Земли. Средняя глубина гидросферы 3,75 км.

Изменение физических параметров (температуры, давления, плотности) в недрах Земли показано на рис 1.1. Важную роль в строительной практике играет температурный режим приповерхностного слоя атмосферы (один из факторов, влияющий на глубину заложения фундаментов сооружений), который определяется влиянием внутренних (энергия радиоактивного распада в недрах) и внешних источников тепла (солнечная радиация). В верхней части земной коры выделяют три температурные зоны: — переменных температур, — постоянных температур, — нарастания температур (рис.1.4).

График распределения температуры пород по глубине [52]



1-1' — слой сезонного промерзания и оттаивания;
 1...2 — слой сезонных колебаний температуры;
 3-3' — слой постоянных температур;
 4-4' — слой роста температуры с глубиной;
 л — летний график;
 з — зимний график.
 Справа — умеренный климат.
 Слева — холодный климат

Скорость возрастания температуры с глубиной различается в разных районах Земного шара. Увеличение температуры при погружении на 100 м характеризует величину *геотермического градиента*. Величина, обратная геотермическому градиенту — геотермическая ступень, т.е. глубина, при погружении на которую температура увеличивается на 1°C .

Геологическое время. Понятие о геохронологии и стратиграфии.

Краткие сведения о строении и эволюции литосферы.

Использование любых геологических материалов для целей строительства невозможно без установления возраста горных пород, опираясь на который можно спрогнозировать свойства пород, расшифровать геологическую историю любой территории и сделать обоснованный прогноз её дальнейшего развития. Для определения возраста пород в геологии разработаны абсолютная и относительная временные *геохронологические шкалы*. Абсолютный возраст горных пород устанавливается по распаду радиоактивных элементов, входящих в состав некоторых минералов. Относительный возраст горных устанавливается *стратиграфическим методом* по соотношению геологических тел в пространстве (правило Стенона «выше - моложе») и палеонтологическим

методом по остаткам фауны и флоры, захороненных в породах. В определённые геологические периоды некоторые организмы получали глобальное планетарное развитие, а затем полностью вымирали. По найденным остаткам таких организмов можно достаточно точно установить относительный возраст горных пород. Это особенно эффективно для осадочной оболочки Земли, формирование которой коррелируется с развитием и эволюцией живых организмов (рис. 1.5).

Рис. 1.5

. Спираль эволюции литосферы и биосферы Земли



В этом отношении геологическая история может быть разделена на два крупных временных отрезка - зона: криптозой (время древней жизни) и фанерозой (время становления и развития современной жизни). Систематизация ископаемых

остатков фауны и флоры в горных породах позволила разработать планетарную геохронологическую шкалу, в которой выделено пять групп пород (эратемы). Время формирования каждой группы называется эрой. Эры разделены на периоды (время формирования систем отложений), периоды – на эпохи (время формирования отделов отложений). Между геохронологическими и стратиграфическими подразделениями установлено строгое соотношение, показанное в таблице (рис. 1.6).

Соотношение понятий геохронологии и стратиграфии

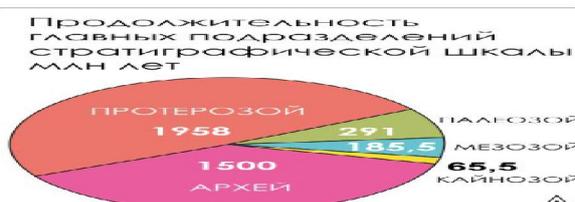
Стратиграфические подразделения	Геохронологические подразделения
Эонотема	Эон
Эратема (группа)	Эра
Система	Период
Отдел	Эпоха
Ярус	Век
Зона (хронозона)	Фаза

Международным геологическим конгрессом разработан *стратиграфический кодекс* и утверждены стратиграфические индексы для каждого периода, соответственно унифицированы цвета раскраски для каждой группы пород на геологических картах. *Геологическая карта* представляет проекцию выходов горных пород различного возраста на горизонтальную плоскость. Соответственно возраст горных пород на карте обозначен индексом, а петрографический состав пород штриховкой. Общий вид геохронологической шкалы представлен на рис. 1.7.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ (ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ) ШКАЛА

Международная стратиграфическая комиссия, 2009
Цвета и символы подразделений приведены
в соответствии с принятыми в России
2009 International Commission on Stratigraphy

ЭПОХА (ЭОН)	ЭРА (ЭРА)	СИСТЕМА (ПЕРИОД)	ОТДЕЛ (ЭПОХА)	ЯРУС (БЕК)	ВОЗРАСТ, млн лет
ФАНЕРОЗОЙ РН	КАИНОЗОЙ KZ	ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ Q	ГОЛОЦЕН Q₂	Верхний	0.0117
			ПЛЕЙСТОЦЕН Q₁	Ионский Калабрский	0.126 0.781 1.806
		НЕОГЕН Z	ПЛЕЙЦЕН N₂	Гелазский	2.588
				Зависский	3.600
			МИОЦЕН N₁	Мессинский	5.332
				Тортонский	7.246
				Серравальский	11.608
		ПАЛЕОГЕН P	ЭОЦЕН P₂	Лангуйский	15.97
				Бурдигальский	20.43
			ПАЛЕОЦЕН P₁	Аkvитанский	23.03
				Хатский	28.4
				Риолецкий	33.9
				Приабонский	37.2
				Бартоиский	40.4
	МЭЗОЗОЙ MZ	МЕЛ K	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) K₂	Лютетский	48.6
				Ипрский	55.8
			НИЖНИЙ (РАННЯЯ) K₁	Танетский	58.7
				Зеландский	61.1
		ЮРА J	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) J₃	Датский	65.5
				Маастрихтский	70.6
			СРЕДНИЙ J₂	Кампанский	83.5
				Сантоцкий	85.8
				Коньякский	88.6
				Туронский	93.6
		НИЖНИЙ (РАННЯЯ) J₁	Сеноманский	99.6	
			Альбский	112.0	
			Аптский	125.0	
			Барремский	130.0	
	ПЕРМЬ P	ТРИАС T	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) T₃	Готеривский	133.9
				Батавжинский	140.2
		СРЕДНИЙ T₂	Берриаский	145.5	
			Гиттонский	150.8	
		НИЖНИЙ (РАННЯЯ) T₁	Кимериджский	155.6	
			Оксфордский	161.2	
		КАРБОН C	ЛОУИЗИЯ P₃	Келловейский	164.7
				Батский	167.7
			ГУАДАЛУПИ P₂	Байосский	171.6
				Ааленский	175.6
	ПРИУРАЛЬСКИЙ P₁		Тоарский	183.0	
			Шиверхский	189.6	
			Синемурский	196.5	
			Геттанский	199.6	
	ДЕВОН D	СРЕДНИЙ D₂	Рэтский	203.6	
			Норийский	216.5	
		ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) D₃	Карнийский	228.7	
			Ладинский	237.0	
НИЖНИЙ (РАННЯЯ) D₁		Анзийский	245.9		
		Оленёкский	249.5		
		Индский	251.0		
		Чарский	253.8		
		Учапский	260.4		
		Кептенский	263.8		
СИЛУР S	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) O₃	Вордский	270.6		
		Роудский	275.6		
	СРЕДНИЙ O₂	Кунгурский	284.4		
		Артинский	294.6		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Сакмарский	299.0		
		Ассельский	303.4		
		Гжельский	307.2		
		Касимовский	311.7		
		Московский	318.1		
		Башкирский	328.3		
ОРДОВИК O	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) O₃	Серпуховский	345.3		
		Визейский	359.2		
	СРЕДНИЙ O₂	Турнейский	374.5		
		Фаменский	375.3		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Жвелецкий	385.3		
		Эйфельский	391.8		
		Эмский	397.5		
		Пражский	407.0		
		Лохковский	411.2		
		Лужковский	416.0		
КАМНОЗОЙ KZ	СРЕДНИЙ O₂	Лудфордский	418.7		
		Горетийский	421.3		
	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) O₃	Гомерский	422.9		
		Шейпулский	426.2		
	СРЕДНИЙ O₂	Телический	428.2		
		Аэронский	436.0		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Рудданский	439.0		
		Хирнантский	443.7		
		Катийский	445.6		
		Сандбийский	455.8		
Дарривилский		460.9			
Датингский		468.1			
АРХЕЙ AR	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) O₃	Флюский	471.8		
		Тремалоковский	478.6		
	СРЕДНИЙ O₂	Ярус 10	488.3		
		Ярус 9	492.0		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Наибский	496.0		
		Гуджангский	499.0		
	СРЕДНИЙ O₂	Драмский	503.0		
		Ярус 5	506.5		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Ярус 4	510		
		Ярус 3	515		
СРЕДНИЙ O₂	Ярус 2	521			
	Ярус 1	528			
НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Фортунский	542			
	Ярус 1	542			
ПРОТЕРОЗОЙ PR	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) O₃	Эдиакарий	635		
		Криогений	850		
	СРЕДНИЙ O₂	Тошый	1000		
		Стений	1200		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Кальмимий	1400		
		Слатерий	1600		
	СРЕДНИЙ O₂	Орозий	1800		
		Риакий	2050		
	НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Сидерий	2300		
		Ярус 1	2500		
СРЕДНИЙ O₂	Ярус 2	2800			
	Ярус 3	3200			
НИЖНИЙ (РАННЯЯ) O₁	Ярус 4	3600			
	Ярус 5	4000			
КАИНОЗОЙ KZ	ВЕРХНИЙ (ПОЗДНЯЯ) O₃	Ярус 6	4600		
		Ярус 7	4600		



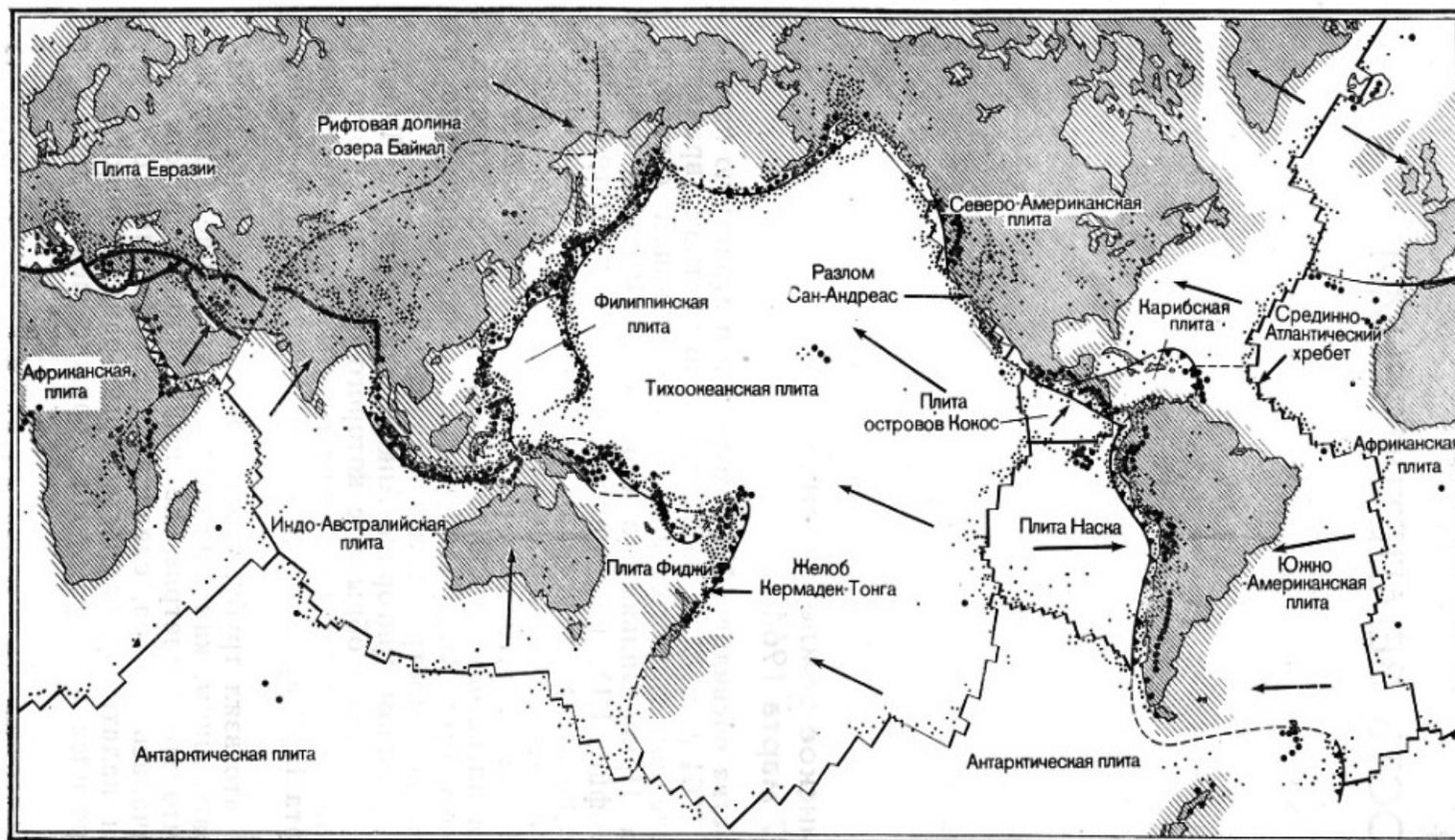
Инженерно-геологические карты относятся к разряду тематических и помимо геологической информации содержат дополнительные данные о факторах, определяющих инженерно-геологические условия строительства различных сооружений. Задачи и методика инженерно-геологической съёмки и картирования определены в нормативных документах и детально рассматриваются в обширной методической литературе [42, 46, 47].

Рельеф и геологическое строение Земли формировались в течение миллиардов лет под воздействием медленного движения литосферных плит. В настоящее время выделяют семь крупных плит и более десятка мелких. Тихоокеанская плита полностью океаническая, остальные шесть несут на себе континенты. Границы между плитами проходят по дну океанов и по активным окраинам континентов, совпадая с поясами сейсмической активности. В зонах раздвига (*дивергенции*) плит, где формируются срединно-океанические хребты, происходят постоянные поступления базальтовой магмы и образуется новая кора.

Расположение основных плит Земли показано на нижеприведённой схеме (рис. 1.8).

Схема поверхности Земли, показывающая расположение основных тектонических плит, вулканов и зон землетрясений

(Б. А. Болт и др., 1978) [4]



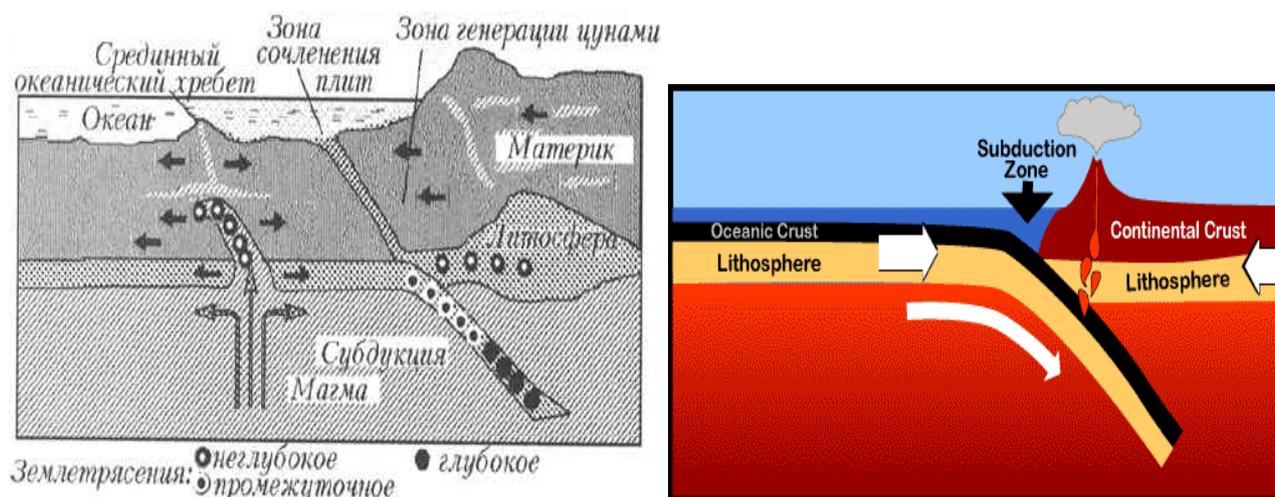
1 2 3 4 5 6 7 8

1 – континентальная кора; 2 – вулканы; 3 – зоны землетрясений; 4 – зоны субдукции; 5 – условные границы плит; 6 – направление движения плит; 7 – срединно-океанические хребты; 8 – зоны столкновения плит.

Основные характеристики литосферных плит приведены в таблице 1.1 (по Д.Ф. Лоору).

Название плиты	Общая площадь, млн. км ²	Самая высокая точка, м	Самая низкая точка, м	Крупные городские агломерации (население)
Тихоокеанская	108	Вулкан Мауна-Кеа, Гавайи, 4205	Марианский жёлоб, 11033 м	Гонулулу (372000)
Евразийская	90	Гора Эверест, 8848	Филиппинский жёлоб, 10540 м	Токио, 32,2 млн.
Африканская	85	Гора Килиманджаро (Танзания), 5895	Сомалийская котловина, 5826 м ниже уровня моря	Каир, 18 млн.
Североамериканская	62	Гора Мак-Кинли, США, 6194	Жёлоб Пуэрто-Рико, 8648 м ниже уровня моря	Нью-Йорк, 8,4 млн.
Южно-Американская	60	Гора Аконкагуа, Аргентина, 6960 м	Южно-Сандвичев жёлоб, 9334 м ниже уровня моря	Сан-Паулу, 17,7 млн.
Антарктическая	58	Массив Винсон, 4897 м	Жёлоб Бенгли, 2538 м ниже уровня моря	нет
Австралийская	46	Гора Вильгельм, Папуа-Новая Гвинея, 4509 м	Яванский жёлоб, 7450 м ниже уровня моря	Сидней, 4 млн.

При столкновении плит (*конвергенции*) в подвижных зонах, называемых зонами *субдукции*, край одной плиты погружается в мантию, а другой сжимается, образуя горные островные дуги. Схема механизма столкновения океанических и континентальных плит показана на рис. 1.9



Дрейф литосферных плит продолжается в течение сотен миллионов лет. Несмотря на маленькую скорость перемещения (2...20 см в год), в геологическом масштабе времени очертания континентов значительно изменялись. Наиболее заметные перемещения плит приурочены к зонам раздвигания в Атлантике, по отношению к которым видно движение американских континентов к западу. В Красном море наблюдается отчётливое смещение Аравийского полуострова к востоку от Африканского континента. Западный край Тихоокеанской плиты вследствие большой скорости субдукции характеризуется интенсивным вулканизмом и сильными землетрясениями. Хотя очертания материков постоянно меняются, каждый континент в своей основе имеет устойчивое кристаллическое ядро, обычно называемое *платформой*. Выходы древнего фундамента на поверхность формируют крупные *щиты*. На территории России находятся такие щиты как Балтийский, представляющий фундамент Восточно-Европейской платформы, Анабарский и Алданский щиты на территории Сибирской платформы. Здесь, как правило, в приповерхностном залегании находятся скальные породы: граниты, гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты, мраморы, крепкие песчаники и конгломераты. В отличие от щитов платформы несут на себе полициклический *осадочный чехол* и тонкий *покров четвертичных отложений*.

Особое место в истории земли занимает *четвертичный период* длительностью около 1, 8 млн. лет, когда шло формирование покровных отложений. Иногда этот период называют *антропогеном* на том основании, что именно в этот период произошло становление человека и развитие технологической цивилизации. Общая стратиграфическая схема четвертичной системы приведена в таблице 1.2¹. В связи с колебаниями климата и широким распространением континентальных оледенений в четвертичное время происходили существенные изменения условий осадконакопления, и был сформирован четвертичный покров в основном рыхлых грунтов, включая почвы, лёссовые горизонты, торфяники, аллювиальные отложения, которые являются естественным основанием для большинства инженерных сооружений.

Табл. 1.2

¹ В настоящее время в разработке находится новая международная стратиграфическая шкала четвертичной системы.

Общая стратиграфическая схема четвертичной системы,
утверждённая МСК России, 1995

Система	Надраздел (отдел)	Раздел (Подотдел)	Звено	Возраст, млн. лет
Четвертичная	Голоцен			0,01
	Плейстоцен	Неоплейстоцен	Верхнее	0,13
			Среднее	0,4
			Нижнее	0,78
		Эоплейстоцен		1,8
Неоген		Плиоцен		2,6

В различных регионах стратиграфические подразделения четвертичной системы имеют свои особенности. Для Европейской части России они приведены в таблице 1.3.

Стратиграфические подразделения четвертичной системы Центральной части
Европейской России

Общие (Звено)	Региональные (климато - стратиграфический горизонт)	Местные	
		Санкт-Петербург	Центр России
Голоцен	Шуваловский	Литориновые и анциловые слои, торфяники	Пойменный аллювий, чернозём, торфяники
Верхний неоплейстоцен	Верхневалдайский (Осташковский)	Верхний ледниковый комплекс (морены, лимногляциал, флювиогляциал)	Аллювий I террасы, лёссовые образования
	Средневалдайский (Ленинградский)	Озёрные, аллювиальные отложения с интерстадиальной пыльцой	Торфяники, почвы
	Нижневалдайский (Калининский)	Солифлюксий, озёрные, аллювиальные отложения с перигляциальной пыльцой	Аллювий II террасы, лёссовый горизонт
	Микулинский	Морская мгинская толща	Микулинские торфяники, почвенные горизонты
Средний неоплейстоцен	Московский	Нижний ледниковый комплекс Петербурга	Верхний ледниковый комплекс Москвы
	Чекалинский Калужский Лихвинский		Ископаемая почва Лёсс Старичная глина с ископаемой флорой
Нижний неоплейстоцен	Окский Мучкапский Донской		Окская морена Рославльские и мучкапские слои с фауной Донская морена

На территории России характерными являются следующие генетические типы четвертичных отложений:

- *ледниковые отложения* (gQ)² – осадки, сформированные ледниками и представленные валунными суглинками, супесями и песками;
- *флювиогляциальные отложения* (fQ) – в основном песчаные образования водных потоков, образованных при таянии ледников;
- *озёрно-ледниковые отложения* (lgQ) – слоистые и ленточные глинистые осадки ледниковых и приледниковых озёр;
- *аллювиальные отложения* (aQ) – осадки, слагающие речные долины и представленные песками, галечниками, гравийниками. Формировались в основном в период межледниковий.
- *болотные отложения* (bQ) – осадки в основном современных болот и переувлажнённых земель;
- *эоловые отложения* (vQ) – осадки, сформированные ветром и представленные тонкими и пылеватými песками;
- *техногенные отложения* (tQ) – намывные, насыпные грунты, отвалы горнодобывающих предприятий, свалки промышленных и бытовых отходов.

Тектогенез, геологические структуры и деформации горных пород.

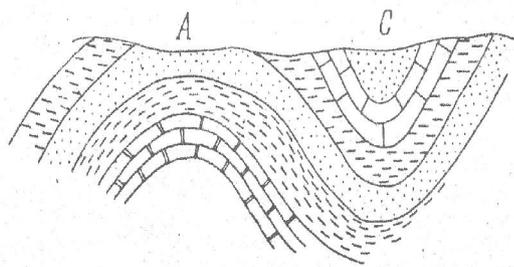
Тектогенезом следует называть совокупность эндогенных движений и процессов, под воздействием которых формируются тектонические структуры земной коры и происходят деформации горных пород. Тектогенез лежит в основе изменений напряжённого состояния крупных блоков земной коры, проявления разрушительных землетрясений и формирования рельефа планеты (орогенез).

Тектонические процессы, происходящие на Земле, в настоящее время, объясняются в рамках теории литосферных плит, перемещение которых обусловлено *тепловой конвекцией* мантийного вещества и действием сил гравитационного отталкивания. Предполагается, что восходящие потоки

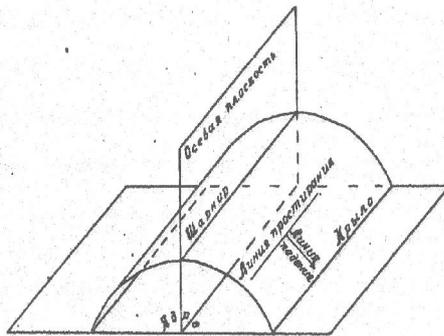
² В скобках указаны общепринятые геологические индексы, отображаемые на геологических картах четвертичных отложений, при этом на разрезах обычно указывается звено четвертичной системы и генетическая принадлежность. Например, $gIII$ – верхнечетвертичные ледниковые отложения, bIV – современные болотные отложения и т. д.

горячего вещества из конвективных ячеек мантии проплавляют земную кору и выходят на поверхность, прежде всего в зонах *срединно-океанических хребтов*, обуславливая постоянное наращивание океанической коры и раздвиг плит.

Движение и столкновение плит лежит в основе дислокаций горных пород [6]. Различают складчатые дислокации – *пликативные*, и разрывные – *дизъюнктивные*. В ходе первичного породообразования, как правило, возникают субгоризонтально залегающие пласты горных пород, которые под воздействием тектонических движений переходят в наклонное положение (моноклираль) или сминаются в складки. *Моноклираль* — это пачка слоёв горных пород, наклонённых в одну сторону. Угол наклона может варьировать от десятка минут до полностью вертикального положения. *Складкой* называют полный изгиб пласта вдоль линии, называемой шарниром. Складки, обращённые выпуклостью вверх, называются *антиклинальными*, а обращённые выпуклостью вниз, *синклиналью*. Ступенчатый односторонний изгиб пласта называется *флексурой*. Складки, наблюдаемые в приповерхностных слоях, обычно срезаны последующей эрозией, поэтому в ядрах антиклинальных складок обычно обнажаются древние породы, а синклинальных складок – молодые. Таким образом, по положению пластов пород в ядре и на крыльях легко определить тип складки, установить площадь её распространения, проследить положение замков складок, где складка перекрывается пластами другой геометрической формы. Виды и элементы складчатых форм показаны на рисунке 1.10.



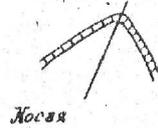
А – антиклиналь
С - синклираль



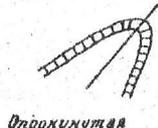
Элементы складки



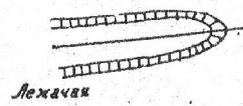
Прямая складка



Ложья



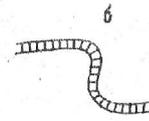
Оттопнутая



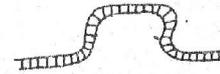
Лежачая



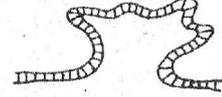
Перевернутая



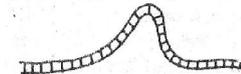
Флексура



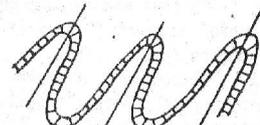
Сандушечная складка



Верхообразная



Гребневидная

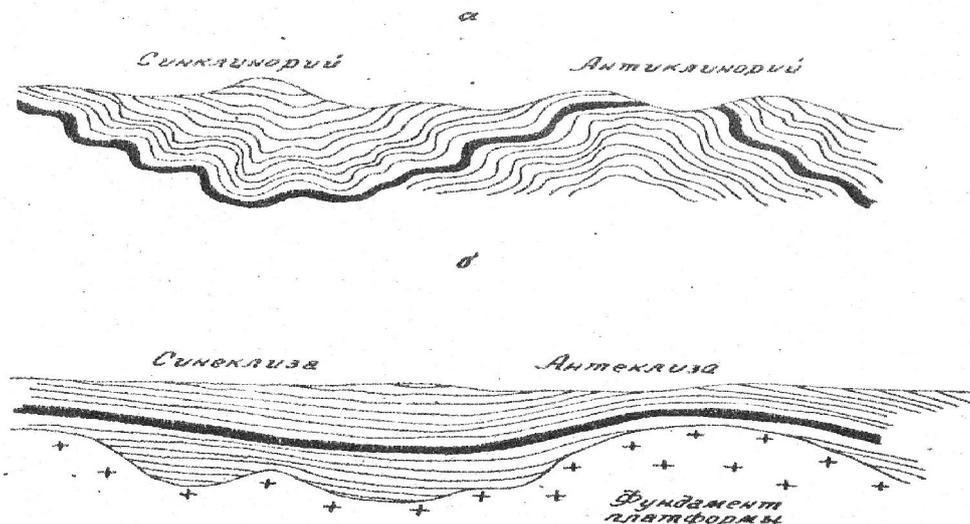


Изогиговые складки

Виды складок: а - по положению оси
б – по форме изгиба пластов

Крупные и сложные тектонические структуры протяжённостью в сотни километров, в границах которых преобладают системы параллельных складок соответствующего типа, называются в пределах платформ *антеклизмами* и *синеклизмами*, а в пределах горноскладчатых областей - *антиклинориями* или *синклинориями* (рис. 1.11).

Рис. 1.11



Расшифровка условий залегания пластов является важнейшей задачей любой геологической съёмки, в том числе и инженерно-геологической, поскольку тектоническая структура местности является важнейшим фактором условий строительства и производства инженерных работ. Так, в ядрах складок породы наиболее раздроблены, трещиноваты, обводнены, иногда перемяты до состояния щебенисто-глинистой массы (*милонит, брекчия трения*). Подземное строительство в этих зонах испытывает наибольшие сложности по сравнению с крыльями складок. При полевой документации условий залегания пород и определения дислокаций необходимы замеры элементов залегания с помощью горного компаса (горная буссоль). Различают следующие элементы залегания пластов и трещин:

— *линия простирания* — направление линии пересечения поверхности слоя (стенки трещины) с горизонтальной плоскостью;

— *линия падения* — направление падение пласта по перпендикуляру к линии простирания;

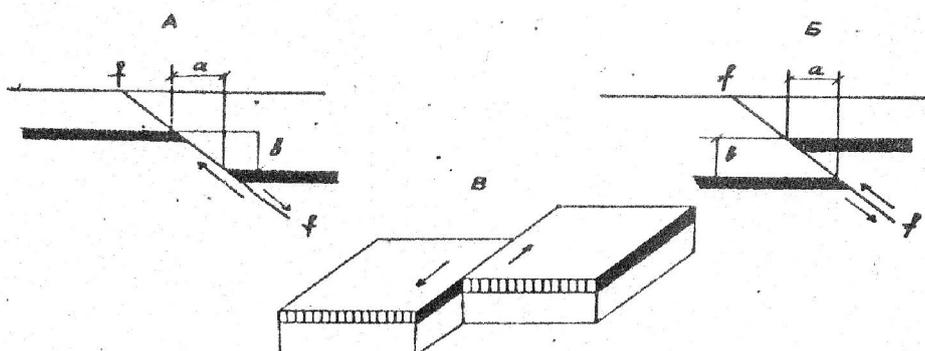
— *угол падения пласта* (стенки трещины) – угол наклона пласта (трещины) к горизонту, измеряется с помощью эклиметра в пределах от 0 до 90 градусов.

Горный компас позволяет последовательно замерять вначале максимальный угол падения пласта (эклиметром), затем азимут падения пласта по отношению к линии простирания по показанию магнитной стрелки компаса на лимбе компаса, при этом для удобства считывания этих показателей оцифровка окружности лимба в градусах выполнена против часовой стрелки. Общий вид горного компаса приведён на рис. 1.12.

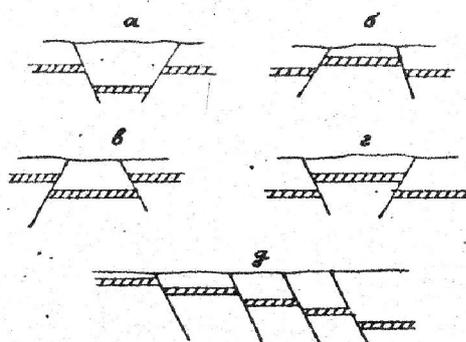


Разрывные дислокации вызываются тектоническими давлениями, превышающими прочность пород. При этом возникают системы трещин, вдоль которых происходит перемещение блоков пород. К разрывным

дислокациям относятся *сбросы, взбросы, сдвиги и надвиги*. Ступенчатое сочетание сбросов и взбросов формирует особый тип тектонической структуры, называемой *грабен - горстом*, где грабен представлен нижними ступенями структуры, а горст образует верхние ступени (рис. 1.13). Амплитуда перемещений пород вдоль разрывного нарушения может составлять от нескольких сантиметров до нескольких километров.



Тектонические разрывы: А – сброс; Б – надвиг (взброс); В – сдвиг.
а – амплитуда горизонтальная; в – амплитуда вертикальная; f - сместитель



а, б, в, г – виды грабен - горстовых структур; д – ступенчатый сброс

Особое значение при строительстве долговременных сооружений, - плотин, тоннелей, атомных станций, крупных мостовых переходов, имеют современные движения земной коры, изучаемые *неотектоникой* с помощью инструментальных геодезических методов и выявления палеодислокаций на местности. Эти движения в разрезе геологического времени носят волнообразный циклический характер, когда подъём территории сменяется режимом опускания и наоборот.

Изучение тектонической структуры и дислокаций горных пород имеет громадное значение для подземного строительства на значительных глубинах: шахты, гидротехнические и транспортные тоннели, метрополитены, хранилища нефти и газа, промышленных отходов. Инженерно-геологические условия для подземного строительства отличаются особой сложностью и требуют учёта многочисленных факторов, таких как:

- *трещиноватость, блочность*, реальное распределение напряжений в массиве и сейсмичность на уровне региона и конкретных площадок (сейсмическое микрорайонирование);
- физико-механические свойства пород/грунтов в образцах и массиве (учёт масштабного фактора);
- обводнённость массивов и агрессивность подземных вод;
- различные инженерно-геологические процессы, связанные с производством подземных работ, прежде всего, горные удары, прорывы воды и газов, сдвигание горных пород, постигающее иногда поверхности земли (подработка территории).

Типизация инженерно-геологических условий для подземного строительства обычно учитывает их привязку к крупным тектоническим структурам: платформам и горно-складчатым областям. Для первых характерно наличие покрова четвертичных отложений и приповерхностное залегание осадочного чехла, в составе которых преобладают дисперсные и полускальные породы/грунты. Значительную роль играют породы особого состава, состояния и свойств (по В. Д. Ломтадзе, 1984): торфа, просадочные грунты, засоленные грунты, карстующиеся породы и т. п. В пределах щитов инженерно-геологические условия определяются приповерхностным залеганием скальных и полускальных пород магматического и метаморфического происхождения.

В горноскладчатых областях преобладают скальные и полускальные породы/грунты, представленные магматическими, осадочными и метаморфическими разностями, смятыми в складки, разбитыми и нарушенными разрывными дислокациями.

Глава 2. Минералы, горные породы, грунты.

Минералы (см. альбом иллюстраций, часть 1). Верхние толщи Земной коры, представляющие основной интерес для целей строительной практики, состоят из веществ различного химического состава, участвующих в образовании минералов, которые встречаются самостоятельно или слагают горные породы.

Минералы представляют собой природные тела, характеризующиеся однородным внутренним строением, химическим составом и физическими свойствами и образовавшиеся в результате процессов, которые по характеру энергии подразделяются на *эндогенные*, связанные с внутренней энергией Земли и *экзогенные*, связанные с воздействием внешней энергии различного происхождения, главным образом, Солнца. Особенности их формирования, т.е. происхождения (*генезис*) определяют их морфологические, физические и химические характеристики. [22]. Большая часть минералов представлена твёрдыми телами и находится в *кристаллическом состоянии*, образуя кристаллическую решётку, в которой атомы элементов расположены в строго определённом пространственном соотношении. Также существуют аморфные, *жидкие (вода)* и *газообразные* минералы. Всего известно около 2000 самостоятельных минеральных видов, но только несколько десятков из них (*породообразующие*) наиболее распространены в горных породах.

Физические свойства минералов характеризуются основными показателями (внешняя форма, цвет, блеск, излом, прозрачность, спайность, твёрдость), по которым они могут быть определены визуально, а также дополнительными (вкус – различные соли, запах – сероводород, способность реагировать со слабым раствором соляной кислоты, магнитные качества).

Для первичного знакомства и визуального определения минералов их удобно сгруппировать по твёрдости. Твёрдость – степень сопротивления минерального вещества внешнему механическому воздействию: *абсолютная* твёрдость может быть измерена в лабораторных условиях с помощью прибора склерометра, путём вдавливания в образец алмазной пирамидки.

Относительную твёрдость, определяют, используя шкалу Мооса (названа в честь автора – Карла Фридриха Кристиана Мооса), которая представлена в таблице 2.1. Она состоит из 10 минералов-эталонов, твёрдость которых известна и постоянна. Эти минералы широко распространены и хорошо изучены. Эталоны расположены в шкале так, что каждый последующий минерал оставляет царапину на всех предыдущих, на нём оставляют царапину все последующие.

Табл. 2.1

Эталонные минералы	Относительная твёрдость
Тальк	1
Гипс	2
Кальцит	3
Флюорит	4
Апатит	5
Ортоклаз	6
Кварц	7
Топаз	8
Корунд	9
Алмаз	10

Строительные (прочностные и деформационные свойства) особенности горных пород зависят не от химического состава кристаллов минералов, зёрен и обломков их слагающих, а определяются их прочностью и характером связи между ними и внутри их самих. Минералы одинакового химического состава могут различаться по прочности из-за различия в их кристаллической структуре и характере связей внутри самого минерала, а минералы разного состава, имеющие близкие по свойствам связи – одинаковую прочность. Поэтому, в инженерно-геологических целях подразделение твёрдой (минеральной) компоненты проводят по преобладающему типу связей внутри этой компоненты – чем прочнее преобладающие в ней связи, тем прочнее, и сама компонента в целом [1, 24]. Между атомами в кристаллической решётке минералов могут быть *ионные, ковалентные, ионные, металлические, водородные и молекулярные связи* [24]. В зависимости от преобладающего типа связей в минералах, они подразделяются на следующие группы: *первичные*

силикаты, простые соли, сульфиды и металлические соединения, глинистые минералы, органические минералы.

Первичные силикаты (преобладают ковалентные связи) представлены кварцем, полевыми шпатами (в основном плагиоклазы и калиевые полевые шпаты), пироксенами, амфиболами, слюдами и др. В их составе присутствует кремнезём, количество которого изменяется от 100% (кварц) до 35-40% в минералах, с повышенным содержанием железа и магния (оливин $-2(\text{Mg}\times\text{Fe})\text{O}\times\text{SiO}_2$). Большинство минералов этого класса характеризуются довольно высокой твёрдостью (5 - 7 по шкале Мооса) и прочностью (прочность на одноосное сжатие составляет: плагиоклазы – 90-170 МПа, калиевые полевые шпаты – 70-180 МПа, пироксены и амфиболы – 190-270 МПа). Они не растворимы в воде, не реагируют с соляной кислотой.

Простые соли (преобладают связи ионного типа) могут находиться в грунтах в различных формах: мелкодисперсной; в виде цемента; включений отдельных кристаллов и друз; в виде слоев, прослоев, линз и жил. Все они растворимы в воде, и по степени растворимости среди них выделяют группы, каждая из которых по-разному влияет на физико-механические свойства грунтов. *Легкорастворимые*: хлоридные, сернокислые и карбонатные соли натрия, калия, магния и кальция (галит - NaCl , сильвин - KCl , мирабилит - Na_2SO_4 , сода - Na_2CO_3 и др.) растворяются в воде быстро и в небольшом ее объеме. *Среднерастворимые*: сульфаты кальция (гипс - $\text{Ca}_2\text{SO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$, ангидрит - Ca_2SO_4) растворяются медленно, для полного их растворения необходимо большое количество воды. *Труднорастворимые* - карбонаты кальция и магния (кальцит - CaCO_3 , магнезит - MgCO_3 , доломит - $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$ и др.) переходят в водный раствор в незначительных количествах. В природных условиях, под воздействием растворённого в воде углекислого газа, повышается растворяющая способность грунтов, содержащих кальцит, и в них развиваются карстовые процессы.

Сульфиды и металлические соединения (основное значение принадлежит металлическим связям) представляют собой соединения металлов и

полуметаллов с серой, мышьяком, селеном и теллуром, также главными элементами в них являются Fe, Cu, Z, Pb, Sb, Ag, Au, Bi, Co, Ni. Они имеют в основном гидротермальное происхождение; также образуются в магматических породах; в зонах вторичного сульфидного обогащения; в осадочных породах. Образуют сплошные, кристаллически-зернистые массы, вкрапленность или встречаются в виде кристаллов. В приповерхностных горизонтах сульфиды и их аналоги неустойчивы и легко разрушаются, образуя различные вторичные минералы – окислы, карбонаты, сульфаты, силикаты, самородные металлы. Наиболее распространённым минералом среди сульфидов является пирит, который в зоне окисления переходит в лимонит - $Fe_2O_3 \times nH_2O$.

Глинистые минералы (наряду с ионными и ковалентными связями важная роль принадлежит водородным и молекулярным связям) образуются преимущественно в процессе химического выветривания горных пород и являются самыми распространёнными и разнообразными породообразующими минералами верхней части земной коры. В наибольшей степени они оказывают влияние на строительные свойства дисперсных (песчаных и глинистых) грунтов.

Органические минералы образуются в результате процессов разложения и синтеза отмирающих живых и растительных остатков, продуктами которых является гумус (сложный комплекс минерально-органических соединений), каменный уголь, горючий газ (см. ниже – почвы)

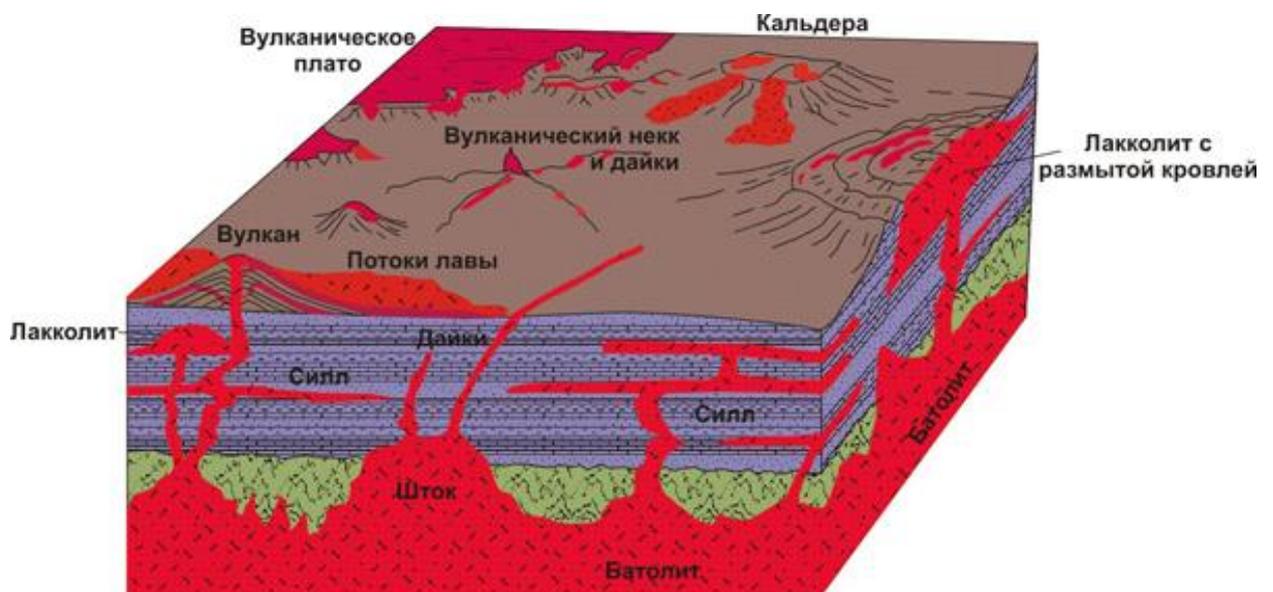
Горные породы – это комплекс минеральных агрегатов, образованный в результате геологических процессов: *магматизма* (кристаллизация расплавленной магмы или лавы); *осадконакопления* (разрушение, перенос и отложение ранее существовавших пород на поверхности суши или в водоёмах); *метаморфизма* (глубокое преобразование уже существующих горных пород под действием высоких давлений и температур) [22].

Исходя из условий образования, они подразделяются на группы: *магматические, осадочные и метаморфические породы*. Для каждой из них характерны определённые признаки:

- минеральный состав;
- структура (внутреннее строение пород, обусловленное формой, размерами и количественным соотношением их составных частей);
- текстура (совокупность признаков сложения, обусловленных относительным расположением и распределением частей породы и отражающих их внешний облик);
- условия залегания в составе геологических тел.

Магматические породы (см. альбом иллюстраций, часть 2) формируются из магматических расплавов в недрах Земли, или на её поверхности, и образуют геологические тела определённой формы и размеров, которые показаны на рисунке 2.1: *батолиты, штоки, дайки, жилы, лакколиты, дололиты* и др. (*глубинные* или *интрузивные*); *потоки, покровы, купола* (*излившиеся* или *эффузивные*) [2].

Рис.2.1



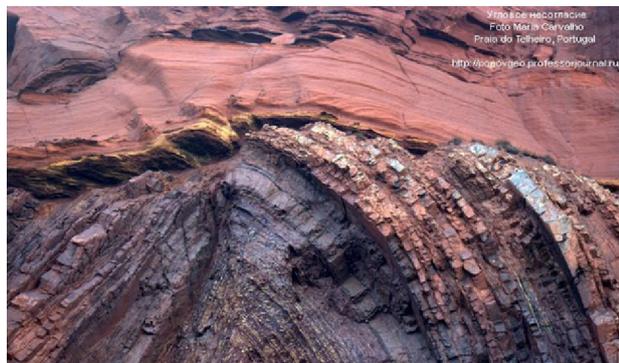
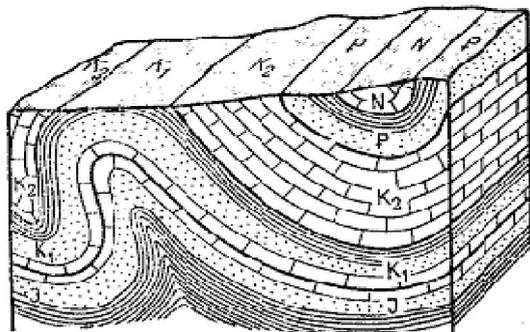
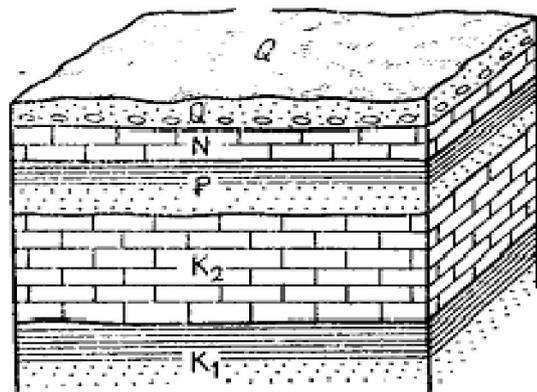
Структура интрузивных пород полнокристаллическая (зернистая), сформированная в условиях замедленного и равномерного остывания магмы; эффузивных пород – порфировая, скрытокристаллическая, стекловатая, формирующаяся в процессе быстрого охлаждения и застывании лавы при

достижении её земной поверхности в условиях низких значений давления и температуры. *Текстуры* – массивная и пористая. Классификация магматических пород основана на их генезисе (интрузивные и эффузивные) и содержании кремния ($\%SiO_2$). Все магматические горные породы характеризуются высокой прочностью и малой деформируемостью, нерастворимы в воде, газо - и водонепроницаемы, что позволяет считать их надёжным основанием для сооружений различного типа, а также и хорошим строительным материалом, так как многие из них обладают высокой устойчивостью против выветривания.

В тоже время, при строительной оценке их массивов необходимо учитывать наличие в них трещин, крупных пустот (в лавовых покровах) и степень изменения под воздействием физических, химических, биологических преобразований, которые значительно ухудшают их инженерно-геологические свойства, снижая прочность, повышая сжимаемость, увеличивая водогазопроницаемость.

Осадочные породы (см. альбом иллюстраций, часть 3) характеризуются большим разнообразием, представляя собой продукты разрушения (физического и химического выветривания) уже существующих пород, их дальнейшего преобразования в процессе накопления на месте разрушения или переноса, и последующего осаждения в определённых условиях (на поверхности суши, на дне водоёмов) и подразделяются на обломочные, глинистые, хемогенные и органогенные. Основной формой их залегания являются слои различной конфигурации, залегающие первоначально в основном горизонтально, а затем, в процессе развития Земной коры в результате тектонических движений, изменяют свою форму и положение в пространстве, образуя разнообразные складки, дизъюнктивные нарушения и др., что показано на рисунке 2.2.

залегание горизонтальное



залегание складчатое

Обломочные породы образовались в результате физического разрушения пород и минералов, обломки которых и являются их составной частью. В основу их классификации положены такие признаки, как размер обломков, их форма (окатанные или угловатые), а также степень цементации между ними, по которой они подразделяются на рыхлые и сцементированные. В сцементированных породах важную роль играют минеральный состав цемента (глинистый, железистый, карбонатный и др.) и тип цементации (базальный, поровый, контактный).

Глинистые породы формировались в результате механического разрушения, химических и физических изменений уже существующих пород, а также в процессе осаждения вещества из водных растворов. Они состоят преимущественно из продуктов химического выветривания и содержат частицы обломочного происхождения. Занимают промежуточное положение между породами обломочными и химическими, поскольку по условиям образования и

составу не могут быть отнесены ни к тем, ни к другим. Вместе с песчаными и другими обломочными породами их изучают как дисперсные и многофазные системы.

Хемогенные породы образуются в результате выпадения из морских или озёрных вод растворов химических осадков, которые постепенно накапливаются и изменяются на дне водоёмов, создавая карбонатные, сульфатные и галоидные разновидности. Их структура определяется размерами кристаллов слагающих их минералов (*крупно-, средне-, мелко-, тонкозернистая, скрытокристаллическая*).

Органогенные породы формируются в водоёмах при накоплении и преобразовании остатков растений и живых организмов, от сохранности которых зависит их структура: *органогенная* – органические остатки не разрушены, *детритусовая (детритовая)* – разрушены. Классификация химических и органогенных пород обычно производится по химическому составу слагающих их минералов. Большое разнообразие генетических типов осадочных пород, существенные различия в их составе, строении, условиях залегания определяют и их строительные особенности. Среди них встречаются породы, обладающие хорошими строительными свойствами (рыхлые и цементированные пески и грубообломочные породы, некоторые хемогенные и органогенные, уплотнённые в процессе преобразования, глинистые: аргиллит, алевролит), которые являются достаточно надёжным основанием для зданий и сооружений. Некоторые хемогенные и органогенные породы применяются как строительный и облицовочный материал, а также как сырьё для цементной промышленности. В тоже время большая группа этих пород требует применения специальных методов исследований, индивидуальной оценки и особых условий, и способов строительства на них сооружений. К ним относятся хемогенные растворимые породы (гипс, ангидрит, каменная соль и др.); глинистые грунты малой степени литификации; торфа, характеризующиеся очень высокой влажностью, малой плотностью, значительной и неравномерной сжимаемостью; пылеватые грунты и др.

Метаморфические породы (см. альбом иллюстраций, часть 4)

образуются в процессе глубокого преобразования пород разного генезиса, при воздействии на них высоких значений температуры, всестороннего давления и химически активных флюидов. В результате происходит изменение первичной структуры, текстуры и минерального состава пород, при этом образуются и особые – «метаморфические» минералы. В зависимости от действующих факторов и условий метаморфизма, выделяют: *региональный метаморфизм*, захватывающий огромные области, в пределах которых метаморфические породы образуют крупные массивы, толщи, формации; *локальный (контактный, местный)*, ограничен участками, зонами, по мере удаления, от которых происходит постепенный или резкий переход от метаморфизованных пород к исходным. Формы залегания метаморфических пород в значительной мере определяются типом метаморфизма и происхождением (осадочным или магматическим) горных пород. Например, при контактовом метаморфизме образуются своеобразные оболочки – ореолы метаморфических пород вокруг интрузий, которые показаны на рисунке 2.3. Изменения состава интрузивной породы называют *эндоконтактовыми*, а вмещающих пород – *экзоконтактовыми*. Характер и интенсивность изменений зависят от состава и свойств вмещающих пород и от состава магмы. При региональном метаморфизме в основном сохраняются формы залегания исходных пород, обычно представляющие мощные слои.

Классификация метаморфических пород основана на их структурно-текстурных особенностях. Они обладают кристаллической структурой и большим набором характерных текстур. Их строительные свойства, имеют много общего с магматическими породами (высокие прочностные характеристики, водонепроницаемость), но могут ухудшаться из-за сланцеватости, способствующей выветриванию, которое влияет на увеличение трещиноватости и водопроницаемости пород.



Строительные особенности пород различного генезиса в значительной степени определяют структурные связи (связи, которые удерживают структурные элементы пород в определенных пространственных соотношениях, обеспечивая сохранность их каркаса) [1, 24]. Они обеспечивают прочность между отдельными частицами, зёрнами в грунте, обуславливающих прочность самой породы в целом и являются одним из признаков, по которому в строительной классификации пород, называемых здесь грунтами (ГОСТ 25100-2011) [8], выделяют классы, подклассы. По своей природе структурные связи подразделяются на *химические, физико-химические, физические*.

Структурные связи в магматических, метаморфических и некоторых осадочных хомогенных породах возникают в процессе образования за счет кристаллизации и перекристаллизации минерального вещества и

осуществляются взаимодействием между ионами или атомами кристаллов и называются конденсационно-кристаллизационными. В породах, осадочных цементированных они формируются за счет цементации, где роль цемента выполняют выпадающие из растворов соединения, которые заполняют поры или обволакивают отдельные минеральные частицы и обломки, это – цементационные связи. Прочность конденсационно-кристаллизационных структурных связей очень высока, что вызвано большой энергией взаимодействия между кристаллами, они обеспечивают высокую прочность и устойчивость, низкую деформируемость с преобладанием упругих деформаций. В породах с цементационными связями эта энергия меньше, поэтому и прочность их в целом меньше, для них также имеют значение *типы цементации: базальный и поровый*, которые определяют высокую прочность и монолитность, и *контактный* – низкую прочность и проницаемость. Эти связи при разрушении не восстанавливаются.

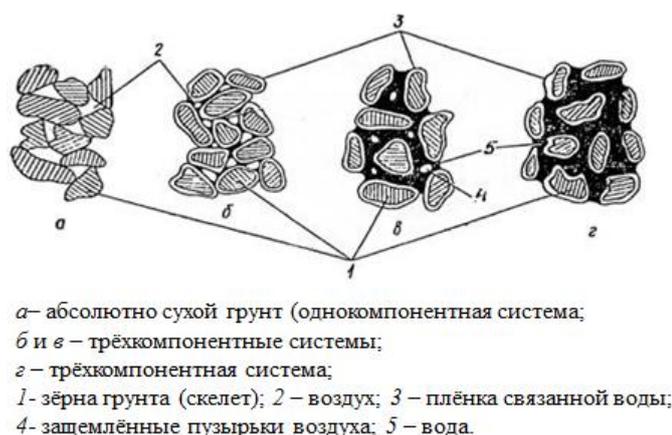
Для несвязных (песчаных и других обломочных) дисперсных пород характерны механические связи, возникающие при непосредственном контакте зерен. Их величина зависит от формы и характера поверхности контактирующих зерен и достигает наибольшего значения у неокатанных разностей, имеющих сильно шероховатую поверхность.

Глинистые породы обладают структурными связями сложной природы, и в зависимости от степени их развития могут занимать промежуточное положение между жидко - или вязкотекучими и твёрдыми телами. В них связность формируется в основном за счет совместного действия физических и физико-химических сил. В начальную стадию формирования, они имеют слабые тиксотропно-коагуляционные связи, которые легко нарушаются, например, при механическом воздействии, а затем восстанавливаются. В результате уплотнения осадков и превращения в более прочные породы, в них развиваются прочные кристаллизационно-конденсационные связи, которые под влиянием внешних усилий необратимо разрушаются.

Основы грунтоведения. Понятие о грунтах как о многофазных системах [9,36]. (см. альбом иллюстраций, часть 5). Как это было отмечено во введении, в строительной практике горные породы обозначают термином *грунты*, под которыми понимаются любые горные породы, почвы, осадки и техногенные геологические образования, рассматриваемые как динамичные системы, исследуемые в связи с планируемой, осуществляемой или осуществленной инженерной деятельностью человека. Исследованием их строительных особенностей занимается раздел инженерной геологии – *грунтоведение*.

Грунт представляет многофазную систему, которая состоит из *твёрдой (минеральной), жидкой, газообразной и биотической компоненты*. Основная часть грунта – твёрдая компонента, составляющая его скелет, образованный минеральными частицами. Пустоты (поры) между компонентами могут быть заполнены воздухом (газами) – двухкомпонентная система; воздухом и водой вместе – трёхкомпонентная; если часть воды содержится в виде льда – четырёхкомпонентная. Абсолютно сухой грунт представляет однокомпонентную систему. Схема составных частей грунта (по В. А. Приклонскому) представлена на рисунке 2.4.

Рис.2.4



Основное внимание с точки зрения фазового состава уделим песчано-глинистым грунтам, как наиболее сложным при их использовании в строительстве.

Твёрдая компонента обломочных и глинистых грунтов состоит из частиц различного гранулометрического и минерального состава, что в значительной степени определяет их строительные особенности.

Гранулометрический состав характеризует содержание в них частиц определённых размеров, объединённых в группы, называемых фракциями. Каждая из этих фракций обладает характерными особенностями и свойствами, обуславливая строительные свойства грунтов, в состав которых они входят.

В соответствие с ГОСТ 25100-2011, слагающие дисперсный грунт элементы, подразделяются согласно таблице 2.2.

Табл.2.2

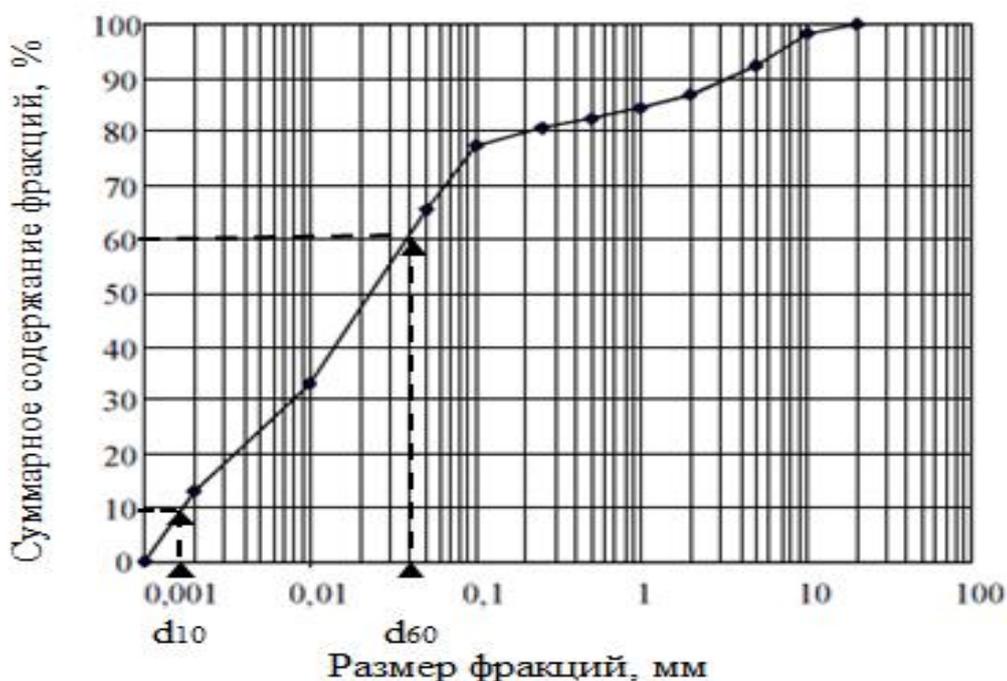
Слагающие грунт элементы	Фракции	Размер, мм
Валуны (глыбы)	Крупные	>800
	Средние	400-800
	Мелкие	200-400
Галька (щебень)	Крупные	100-200
	Средние	60-100
	Мелкие	10-60
Гравий (дресва)	Крупные	4-10
	Мелкие	2-4
Песчаные частицы	Грубые	1-2
	Крупные	0,5-0,1
	Средние	0,25-0,5
	Мелкие	0,1-0,25
Пылеватые частицы	Тонкие	0,05-0,10
	Крупные	0,01-0,05
Глинистые частицы	Мелкие	0,002-0,01
		< 0,002

Глинистые частицы размером менее 0,002 мм характеризуются высокой гидрофильностью, влагоёмкостью, пластичностью, липкостью, высотой капиллярного поднятия; меньшей водопроницаемостью. *Пылеватые частицы* размером 0,002 – 0,05 мм, в отличие от глинистых, обладают значительно меньшей связностью, капиллярностью, пластичностью и влагоёмкостью, но водопроницаемость и размокаемость пылевых грунтов выше, чем глинистых. При увлажнении, теряя связность, становятся подвижными, поэтому пылеватые грунты всегда легко размокают и быстро переходят в плавунное состояние, а

при промерзании обладают значительной склонностью к пучению. *Песчаные частицы и более крупные* – невлагоёмкие, характеризуются хорошей водоотдачей и водопроницаемостью.

Грунты в природных условиях состоят из смеси перечисленных фракций. Их содержание в грунтах определяют лабораторными исследованиями, применяя для этого определённые методы. Прямые методы основаны на непосредственном (микрометрическом) измерении частиц с помощью электронных и электронно-механических устройств. Косвенные методы базируются на использовании различных зависимостей между размерами частиц, скоростью осаждения их в жидкой и воздушных средах, и свойствами суспензии. Промежуточное положение занимает группа, к которой относится ситовой метод. Также применяют методы с использованием лазерных технологий, позволяющие определять содержания фракций в диапазоне их размеров от 10^{-6} до 2 мм (фракции менее 10^{-4} мм существенно влияют на величину трения и сцепления грунтов, их деформационную способность и физико-химическую активность).

Результаты гранулометрического анализа представляют в виде таблиц, в которых показывают процентное содержание в грунтах фракций определённых размеров, а также различных графиков. Наиболее часто используются интегральные кривые гранулометрического состава, по которым определяют степень неоднородности (C_u), являющейся мерой неоднородности гранулометрического состава: $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ где: d_{60} и d_{10} – диаметры частиц (мм), меньше которых в грунте содержится соответственно 60 и 10% (по массе) частиц (рисунок 2.5).



По степени неоднородности гранулометрического состава крупнообломочные грунты и пески характеризуются как однородные при $C_u < 3$ и неоднородные при $C_u > 3$ [8].

Минеральный состав обломочных и глинистых грунтов представлен различными минералами, многие из которых содержатся и в других грунтах. Наиболее значительное влияние на их строительные свойства оказывают глинистые минералы.

Глинистые минералы характеризуются очень малым размером частиц (менее 0,002 мм), своеобразным химическим составом и преимущественно пластинчатой, чешуйчатой, иногда игольчатой формой; относятся к слоистым и слоисто-ленточным силикатам и представлены группами *каолинита*, *гидрослюды*, *монтмориллонита*, смешаннослойных минералов, различающихся строением кристаллической решётки (см. рис. 2.19). Минералы групп каолинита и гидрослюды имеют жесткую кристаллическую структуру; для неё характерно отсутствие увеличения межслоевого расстояния при взаимодействии с молекулами воды, которые наряду с обменными катионами не могут проникать в межслоевое пространство кристалла. Минералы группы

монтмориллонита характеризуются подвижной кристаллической структурой, что способствует проникновению молекул воды и обменных катионов в межслоевое пространство. Смешаннослойные минералы по своим свойствам занимают промежуточное положение между минералами с жесткой и подвижной кристаллическими структурами. Таким образом, глинистые минералы, отличающиеся строением кристаллической решётки, по-разному взаимодействуют с водой, определяя различие физико-механических свойств дисперсных грунтов, в состав которых они входят. Ниже эти вопросы более подробно будут рассмотрены в разделе, посвящённом почвам.

Вода находится в грунтах в разном физическом состоянии: – в жидком, – газообразном (в виде пара), – твёрдом (в виде льда); и обладает различной степенью подвижности, что отражают классификации видов воды в грунтах.

Жидкая вода присутствует в грунтах в свободном и физически связанном виде.

Свободная вода представленная *гравитационной-подвижной, капиллярной и иммобилизованной водой*, имеет свойства обычной капельно-жидкой воды. *Гравитационная* вода под влиянием гравитации передвигается в порах, пустотах и трещинах грунтов. Она обладает растворяющей способностью, механическим действием на водовмещающие грунты, агрессивностью по отношению к металлическим и бетонным конструкциям сооружений. *Капиллярная* вода заполняет в грунтах капиллярные поры и трещины и передвигается, как под действием гравитации, так и сил поверхностного натяжения. Последние способствуют образованию капиллярной зоны над уровнем грунтовых вод и подвешенной капиллярной зоны, формирующейся в нижней части мелкозернистых грунтов, залегающих на более крупнозернистых. На подобных участках происходит увлажнение грунтов (например, земляного полотна дорог), что является причиной их морозного пучения. В условиях жаркого климата, в районах распространения минерализованных грунтовых вод, капиллярная вода, испаряясь, может способствовать засолению грунтов. *Иммобилизованная вода* содержится в

слабоводопроницаемых и водонепроницаемых грунтах при значительной их влажности. Из-за малого размера пор и трещин, её движение ограничено и возможно только при действии значительного напора, создаваемого гравитационным или тектоническим уплотнением.

Физически связанная вода характерна для глинистых и пылеватых грунтов. Она подразделяется на два типа: *адсорбированную (прочносвязанную) или гигроскопическую* воду и воду *поверхностных слоёв (рыхлосвязанную воду)*, образующихся в результате притяжения молекул воды к поверхности частицы глинистого грунта при его взаимодействии с водой (см. рис.2.21). *Гигроскопическая вода* трудноподвижна, при строительных нагрузках из грунтов не отжимается: удерживается электрическими силами поверхности твёрдой частицы со значительно большей силой, чем *рыхлосвязанная*, которая способна перемещаться под действием электрических полей от более толстых слоёв к более тонким. Температура замерзания физически связанной воды ниже $< 0^{\circ}\text{C}$; количество её в грунте определяется степенью его дисперсностью, минеральным составом глинистых частиц, составом и содержанием обменных ионов.

Парообразная вода характерна для водоненасыщенных грунтов зоны аэрации, в которых заполняет поры, пустоты и трещины, не занятые жидкой водой или льдом. Её количество зависит от относительной влажности воздуха, а передвижение обусловлено влиянием разности упругости пара на участках, где она выше, к участкам с более низкой. В свою очередь, упругость пара определяется интенсивностью испарения влаги, которая зависит от характера поверхности менисков, обусловленного составом грунтов, степени его дисперсности.

Вода в твердом состоянии присутствует в грунтах в виде льда, формируя в них кристаллы, *линзы*, прослойки, определяя их строительные особенности и способствуя развитию мерзлотных процессов.

В результате взаимодействия минеральной и жидкой компоненты грунтов формируются дисперсные системы – системы, состоящие из двух или более

фаз, из которых одна или несколько распределены в другой. Тонкие дисперсии и коллоиды составляют тонкодисперсную часть грунтов, которая имеет особый минеральный состав («глинистый») и характеризуется многими общими свойствами. При взаимодействии частиц глинистых минералов с водой происходит формирование вокруг их поверхности двойного электрического слоя (ДЭС): внутренняя часть – отрицательно заряженная поверхность глинистой частицы, а внешняя – адсорбционный и диффузный слои гидратированных катионов. Под воздействием сформированного силового поля диполи воды ориентируются определённым образом, притягиваясь к поверхности частицы и образуя слои связанной воды: прочносвязанной (удерживается с силой около 1 ГПа) и рыхлосвязанной (удерживается со значительно меньшими силами), которые соответствуют адсорбционному и диффузному слоям (см. рис. 2.18).

Газовые компоненты в грунтах находятся преимущественно в свободном, адсорбированном или растворенном состояниях. *Свободные газы* заполняют поровое пространство грунтов, не занятое водой, и составляют основную массу их газообразной фазы, обуславливая различные процессы. Так, например, углекислый газ увеличивает агрессивность подземных вод; метан увеличивает водопроницаемость и повышает поровое давление; *Адсорбированные газы* удерживаются на поверхности минеральных частиц силами молекулярного притяжения, образуя на них полимолекулярные газовые пленки. Защемленный адсорбированный газ обуславливает очень длительную осадку пород и уменьшает водопроницаемость. Часть газов находится в *растворенном состоянии*. Это активизирует процессы выщелачивания горных пород и вызывает соответствующие изменения их состояния и свойств. Некоторые газы, особенно сероводород, могут повышать коррозионную активность пород по отношению к металлическим конструкциям.

Биотическую компоненту грунтов составляет биота, которую условно подразделяют на макроорганизмы и микроорганизмы (невидимые невооруженным глазом). С деятельностью биотической составляющей, и

прежде всего, микроорганизмов, связано изменение состояния и свойств грунтов, химического состава подземных вод, ряд инженерно-геологических процессов, в том числе биохимическое газообразование – метана, сероводорода, азота, диоксида углерода, в меньшей степени водорода, а также формирование песков пльвунов и тиксотропии в глинистых грунтах. Большое влияние оказывают микроорганизмы на коррозию конструкций сооружений [10].

Для оценки строительных особенностей дисперсных грунтов в грунтоведении используют показатели их физико-механических свойств. К ним относятся показатели, полученные в результате лабораторных и полевых исследований (*см. альбом иллюстраций, часть 5*). В основе многих лабораторных методов исследования дисперсных грунтов лежат достижения учёных почвоведов, которые первыми обратились к рассмотрению процессов взаимодействия твёрдой и жидкой фаз грунтов и почв. Лабораторная техника и методы исследования грунтов и почв рассмотрены в пособии, посвящённом инженерно-геологическим и инженерно-геотехническим изысканиям.

Основными классификационными и расчетными показателями при инженерно-геологическом изучении дисперсных грунтов являются плотность, пористость и влажность. Они взаимосвязаны, и в целом выражают физическое состояние грунтов, как в условиях естественного залегания, так и в земляных сооружениях. Дополнительными показателями для глинистых грунтов является консистенция, для песчаных – степень плотности (относительная плотность). Характеристики физических свойств горных пород для оценки их физического состояния представлены в таблице 2.3 [24].

Показатели физических и водных свойств грунтов

Название показателя	Обозначение	Формула для вычисления	Размерность
Плотность грунта	ρ	$\rho = \frac{m_1 + m_2}{V_1 + V_2}$	т/м ³
Плотность твёрдой (минеральной) части грунта	ρ_s	$\rho_s = \frac{m_1}{V_1}$	т/м ³
Плотность скелета грунта	ρ_d	$\rho_d = \frac{m_1}{V_1 + V_2}$	т/м ³
Удельный вес грунта	γ	$\gamma = \rho \cdot g$	кН/м ³
Удельный вес твёрдой части грунта	γ_s	$\gamma_s = \rho_s \cdot g$	кН/м ³
Удельный вес скелета грунта	γ_d	$\gamma_d = \rho_d \cdot g$	кН/м ³
Удельный вес грунта с учётом взвешивающего действия воды	γ_{sb}	$\gamma_{sb} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{(1 - n)}$ $\gamma_{sb} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{(1 + e)}$	кН/м ³
Влажность весовая	W	$W = \frac{m_2}{V_2}$	%
Полная влагоёмкость (влагоёмких пород) или полная водоёмкость (невлагоёмких пород)	W_n	$W_n = \frac{n}{\rho_s(1 - n)}$	безразмерная
Коэффициент водонасыщения	S_r	$S_r = \frac{W}{W_n} = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_d}$	безразмерная

Пористость	n	$n = 1 - m = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s}$	%
Коэффициент пористости	e	$e = \frac{n}{1 - n} = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}$	безразмерная
Коэффициент пористости породы, насыщенной водой	e	$e = W \cdot \rho_s$	безразмерная
Объём пор в 1 см ³ грунта	n	$n = \frac{e}{1 + e} = 1 - m$	см ³
Объём минеральной части в 1 см ³ грунта	m	$m = \frac{1}{1 + e} = 1 - n$	см ³
Объём газов в 1 см ³ грунта	V_a	$V_a = \left(\frac{e_0}{\rho_s} - \frac{W}{\rho_w} \right) \cdot \rho_d$	см ³
Предел пластичности глинистой породы	W_p		доли единицы
Предел текучести	W_L		доли единицы
Число пластичности	I_p	$I_p = W_L - W_p$	доли единицы
Показатель консистенции (текучести)	I_L	$I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$	доли единицы
Показатель естественной уплотнённости	K_d	$K_d = \frac{e_L - e_0}{e_L + e_p}$	доли единицы
Коэффициент относительной плотности песчаной породы (степень плотности песка)	I_D	$I_D = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}}$	доли единицы
Коэффициент уплотняемости песчаной породы	U	$U = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{e_{\min}}$	доли единицы

Плотность. Для характеристики плотности пород используются следующие показатели. *Плотность минеральной части* ρ_s – отношение массы минеральной части грунта к единице объема минеральной части. *Плотность грунта* ρ – отношение массы грунта к единице его объема естественного сложения и естественной влажности. *Плотность скелета грунта* ρ_d – отношение массы сухого грунта (массы его скелета) ко всему объему грунта естественного сложения. Плотность грунта и плотность минеральной части определяют экспериментальным путём, плотность скелета – расчётным. Для песчано-глинистых грунтов характерно неравенство показателей плотности $\rho_s > \rho > \rho_d$. При расчёте нагрузок на сооружения и напряжений от действия собственного веса грунта необходимо переходить к значению удельного веса грунта (общепринятое международное обозначение удельного веса γ , в строительной практике имеет размерность кН/м^3), умножая значение плотности грунта на ускорение свободного падения g (9.81 м/с^2). Аналогично определяются значения удельного веса твёрдой части грунта и сухого грунта (скелета грунта) (см. табл. 2.3).

Пористость характеризуется наличием в грунтах пор – пустот, имеющих капиллярные и субкапиллярные размеры. В песчаных и глинистых грунтах она зависит от их дисперсности, сортированности, однородности, плотности сложения, а также от степени и характера цементации коллоидами, солями, растительными остатками, а в обломочных породах – глинистым веществом. Применяют показатели абсолютной *пористости* (n) – отношение объема пор к объёму грунта и *коэффициент пористости* (e) – отношение объема пор к объёму твердой части. При полном насыщении грунта водой коэффициент пористости может быть вычислен через весовую влажность и плотность минеральной части грунта. Коэффициент пористости является одной из основных характеристик, используемых при расчетах осадок сооружений. При уплотнении он остаётся величиной постоянной в отличие от показателя абсолютной пористости, являющегося переменной величиной, т.к. относится к полному объёму грунта, изменяющегося при уплотнении.

Влажность грунтов характеризуется количеством воды, заполняющей их поры. В зависимости от степени влажности, песчаные и глинистые грунты могут находиться в различном физическом состоянии в соответствии с которым, изменяется их деформируемость, устойчивость, прочность. Для характеристики влажности грунтов используются следующие показатели. *Весовая влажность* W выражается отношением веса воды, заполняющей поры грунта к весу сухого грунта. *Объемная влажность* $W_{об}$ – объем воды, содержащейся в единице объема породы. *Полная влагоёмкость* W_n – влажность грунта при полном заполнении пор водой. *Коэффициент водонасыщения* (S_r) характеризует степень насыщения пор грунтов водой и представляет отношение естественной влажности грунтов к их полной влагоёмкости. Для маловлажных грунтов $S_r = 0 \dots 0,5$, влажных – $0,5 \dots 0,8$, насыщенных – $0,8 \dots 1,0$. Коэффициент водонасыщения грунтов является важной характеристикой: в зависимости от его величины выбирают нормативные давления на песчаные грунты, используемые в качестве естественных оснований для зданий и сооружений.

Консистенция характеризует физическое состояние глинистого грунта при некоторой определённой влажности, обуславливающей его подвижность под воздействием внешних усилий. Это способствует переходу глинистых грунтов из одного состояния в другое, и они могут занимать промежуточное положение между жидко- или вязкотекучими и твёрдыми телами. Эти влажности принято называть пределами пластичности. *Предел текучести* W_L соответствует такой влажности, при незначительном превышении которой глинистый грунт из пластичного состояния переходит в текучее и становится вязкой жидкостью. *Предел пластичности* W_p соответствует влажности, при которой глинистый грунт нарушенного сложения из полутвёрдого состояния переходит в пластичное. Между пределами текучести и пластичности глинистые грунты обычно находятся в пластичном состоянии, т.е. под действием внешних сил могут принимать различную форму и сохранять ее после устранения этой силы. Интервал влажности, в пределах которого

глинистая порода находится в пластичном состоянии, называется *числом пластичности* I_p . Консистенция характеризуется *показателем консистенции (текучести)* I_L , который служит для ориентировочного суждения о состоянии глинистых пород в условиях естественного залегания.

Песчаные грунты могут иметь различную плотность в диапазоне от некоторой минимальной величины, соответствующей самой рыхлой укладке зёрен, до максимальной величины, соответствующей самой плотной возможной упаковке. Поэтому для песчаных грунтов определяют *относительную плотность* I_d путём сравнения плотности песка естественного сложения, выраженной через коэффициент пористости, с плотностями, соответствующими его наиболее рыхлому и наиболее плотному состоянию.

В строительной практике необходимо знать *механические свойства* грунтов, характеризующие их поведение при воздействии внешних усилий. Основными характеристиками механических свойств являются сжимаемость и прочность, которые используют при расчёте величины осадок сооружений, для оценки степени устойчивости склонов, откосов и др. [24, 26, 47, 48].

Сжимаемостью (деформируемостью) грунтов называют способность их под действием внутренних или внешних сил менять форму и объём без изменения массы. Они уменьшаются в объёме за счёт уменьшения объёма пор и увеличения плотности. Сжимаемость характеризуется показателями, полученными в результате испытаний грунтов в специальных приборах, исключающих возможность бокового расширения образца грунта. К ним относятся модуль общей деформации (E), коэффициент сжимаемости (a) и модуль осадки грунта l_p .

В таблицах 2.4 и 2.5 приведены значения модуля деформации некоторых разновидностей песчаных и глинистых грунтов согласно СП 22.13330.2011 [48].

Табл.2.4

Значения удельного сцепления c , $кПа$, угла внутреннего трения φ_n , град., и модуля деформации E , $МПа$, песков четвертичных отложений

Пески	Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном			
		0,45	0,55	0,65	0,75
Гравелистые и крупные	c	2	1	–	–
	φ	43	40	38	–
	E	50	40	30	–
Средней крупности	c	3	2	1	–
	φ	40	38	35	–
	E	50	40	30	–
Мелкие	c	6	4	2	–
	φ	38	36	32	28
	E	48	38	28	18
Пылеватые	c	8	6	4	2
	φ	36	34	30	26
	E	39	28	18	11

Значение модуля деформации E , МПа глинистых четвертичных отложений (аллювиальных, делювиальных, озёрных, озёрно-аллювиальных)

Наименование грунтов и пределы значений их показателей текучести		Модуль деформации грунтов E , МПа, при коэффициенте пористости e , равном										
		0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05	1,2	1,4	1,6
Супеси	$0 < I_L \leq 0,75$	–	32	24	16	10	7	–	–	–	–	–
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	–	34	27	22	17	14	11	–	–	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	–	32	25	19	14	11	8	–	–	–	–
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	–	–	–	17	12	8	6	5	–	–	–
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	–	–	28	24	21	18	15	12	–	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	–	–	–	21	18	15	12	9	–	–	–
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	–	–	–	–	15	12	9	7	–	–	–

Прочность грунтов проявляется в их способности сопротивляться разрушению под воздействием механических напряжений и характеризуется сопротивлением грунтов сдвигу, которое определяется на специальных сдвиговых приборах путём среза (сдвига) одной части образца относительно другой. По результатам испытаний получают основные прочностные характеристики грунтов – угол внутреннего трения (φ) и – удельное сцепление (c). В таблицах 2.4 и 2.6 приведены значения показателей сопротивления сдвигу некоторых разновидностей песчаных и глинистых грунтов [48].

Значения удельного сцепления c , кПа, угла внутреннего трения φ_n , град., глинистых отложений

Наименование грунтов и пределы текучести I_L		Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при коэффициенте пористости e , равном						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супеси	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	21	17	15	13	–	–	–
		φ	30	29	27	24	–	–	–
	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c	19	15	13	11	9	–	–
		φ	28	26	24	21	18	–	–
Суглинки	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	47	37	31	25	22	19	–
		φ	26	25	24	23	22	20	–
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	39	34	28	23	18	15	–
		φ	24	23	22	21	19	17	–
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	–	–	25	20	16	14	12
		φ	–	–	19	18	16	14	12
Глины	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	–	81	68	54	47	41	36
		φ	–	21	20	19	18	16	14
	$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	–	–	57	50	43	37	32
		φ	–	–	18	17	16	14	11
	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	–	–	45	41	36	33	29
		φ	–	–	15	14	12	10	7

Инженерно-геологическая классификация горных пород.

Для решения различных задач строительной практики горные породы систематизируются по ряду признаков, характеризующих их инженерно-геологические особенности, которые положены в основу различных классификаций, где все горные породы сгруппированы в определённые категории (группы, классы, типы и др.). [24].

Частные классификации подразделяют грунты по одному или нескольким конкретным признакам (показателям: состава, микроструктуры, свойств и др.). К ним, прежде всего, относятся классификации, в которых

выделены разновидности грунтов по различным показателям их состояния, состава и свойств, представленные в приложениях Б и В к ГОСТ 25100-2011 [8].

Специальные (отраслевые) классификации отражают определённые характеристики свойств грунтов с целью их применения в той или иной отрасли строительного дела при проектировании и строительстве различных сооружений, при расчётах устойчивости природных склонов и откосов и т.д.

Региональные классификации систематизируют знания о грунтах, развитых в конкретных регионах, для которых они и разработаны.

Общие классификации предназначены для различных отраслей строительства и построены с учётом нескольких признаков горных пород.

Строительная классификация пород/грунтов [8], рассматривает любые породы, как грунты, и группирует их по следующим признакам: класс (подкласс) – по природе структурных связей; - тип (подтип) – по генезису; вид (подвид) – по вещественному, петрографическому или литологическому составу; разновидности – по количественным показателям состава, строения, состояния и свойств грунтов. Выделены три основных класса (с нарушением логики деления множеств), но достаточных для утилитарных практических целей: скальные, дисперсные, мёрзлые.

Классификация Ф.П. Саваренского - В.Д. Ломтадзе [24], в отличие от классификации *ГОСТ 25100-2011*, является научно обоснованной, так как в её основу положены системные признаки, включающие в себя как генетические особенности различных пород, обусловившие формирование их состава, структурных связей, так и обобщённые групповые характеристики, определяющие поведение пород в координатах «напряжении – деформации», в том числе с учётом реологической составляющей.¹ С инженерно-геологических позиций она является наиболее удобной для изучения строительных особенностей (прочность, деформируемость, водопроницаемость) пород

¹ Реология – раздел физики, изучающий деформации сплошных сред, обладающих вязкостью, пластичностью, упругостью.

различных генетических типов, так как объединяет их в группы по совокупности физико-механических свойств: I – породы твёрдые скальные; II – породы относительно твёрдые полускальные; III – породы рыхлые несвязные; IV – породы мягкие связные; V – породы особого состава, состояния и свойств. Характеристика их строительных особенностей рассмотрена во многих литературных источниках, наиболее полно она представлена в одной из последних обобщающих работ: «Инженерная геология. Грунты России» [19].

Первая и вторая группа (скальные и полускальные породы) представлены магматическими, метаморфическими и осадочными типами. Их строительные свойства обусловлены прочными структурными связями, благодаря которым, они являются монолитными и характеризуются достаточно высокой прочностью и низкой деформируемостью, водоустойчивы, водопроницаемы только по трещинам. В тоже время, особенностью этих структурных связей является то, что при их нарушении (в результате воздействия на породы выветривания, появления трещиноватости), они не восстанавливаются и теряют возможность удерживать структурные элементы (частицы, микроагрегаты, агрегаты, зерна) в грунте в определенных пространственных соотношениях, обеспечивающих сохранность его каркаса в первоначальном состоянии. Это приводит к уменьшению прочности и устойчивости пород, резкому повышению их деформационных способностей и водопроницаемости, что и характерно для полускальных пород. Основные характеристики физико-механических свойств скальных и полускальных горных пород представлены в альбоме иллюстраций, часть 2.

Третью группу составляют *рыхлые несвязные осадочные обломочные породы*: крупнообломочные породы, пески.

Крупнообломочные грунты представлены несцементированными обломками щебня, галечника, дресвы, гравия, содержащими более 50% по весу обломков размером более 2мм. Наибольшая прочность характерна для обломков магматических пород, а меньшая – для обломков осадочных. Они характеризуются различным сложением: рыхлым и плотным, при этом

наибольшую плотность упаковки имеют неоднородные по гранулометрическому составу разности. Отличаются малой сжимаемостью.

Песчаные грунты представляют собой сыпучие в сухом состоянии грунты, приобретающие при увлажнении небольшую связность. Их гранулометрический состав характеризуется содержанием частиц размером 0,05...2,00мм (более 50%), при содержании глинистых менее 3%, а минеральный – преобладанием минералов, наиболее устойчивых к выветриванию (кварца, полевых шпатов, слюды и др.). Состав песков различных генетических типов, также, как и их свойства, существенно различаются. В зависимости от крупности частиц, они разделяются на гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие, пылеватые пески. В таблице 2.7 показано подразделение песков по коэффициенту пористости (e) [8].

Табл. 2.7

Разновидность песков	Коэффициент пористости e , д.е.		
	Пески гравелистые, крупные и средней крупности	Пески мелкие	Пески пылеватые
Плотный	$e \leq 0,55$	$e \leq 0,60$	$e \leq 0,60$
Средней плотности	$0,55 < e \leq 0,70$	$0,60 < e \leq 0,75$	$0,60 < e \leq 0,80$
Рыхлый	$e > 0,70$	$e > 0,75$	$e > 0,80$

Пески плотные характеризуются показателем относительной плотности I_d – 0,66...1; пески средней плотности – 0,33...0,66; рыхлые – 0... 0,33. В плотном сложении они являются хорошим основанием для сооружений, модуль деформации их изменяется от 11 до 50 МПа, закономерно снижаясь от крупнозернистых разновидностей к пылеватым. Водонасыщенные пески рыхлого сложения при кратковременном динамическом или вибрационном воздействии могут сначала переходить во взвесь и растекаться, а затем легко переходить в плотное состояние. Под влиянием гидродинамического фильтрационного потока в неоднородных песках происходит процесс

суффозии, что снижает его прочность. Показатели механических свойств песков представлены в таблице 2.4.

Четвёртая группа – мягкие связные породы: глины, суглинки, супеси, лессовые породы.

Глинистые грунты являются тонкодисперсными образованиями, содержащими не менее 3% глинистых частиц. Для них характерны определённые значения числа пластичности (I_p), в соответствии с которым они подразделяются на: глины ($I_p > 0,17$), суглинки ($I_p = 0,07 \dots 0,17$), супеси ($I_p = 0,01 \dots 0,07$). Из минералов основное влияние на их свойства оказывают глинистые, которые определяют их специфические свойства – высокую гидрофильность, пластичность, липкость, способность к набуханию и др. Содержание в них монтмориллонита обуславливает более высокие показатели влажности и пористости, пластичности, сжимаемости, набухаемости и др. по сравнению с грунтами, содержащими каолинит и гидрослюды. Физико-механические характеристики глинистых грунтов изменяются в широких пределах и определяются условиями их формирования и дальнейшего преобразования. Наибольшую плотность имеют древние глинистые грунты, испытавшие значительное уплотнение, а из четвертичных – ледниковые. Благодаря своей структуре, глинистые грунты обладают малым коэффициентом фильтрации и слабой водопроницаемостью, которая увеличивается с увеличением размеров и количества крупных частиц. Особенности строения и наличие пленок воды, обволакивающей частицы, придают глинистым грунтам связность и способность деформироваться под влиянием нагрузки во влажном состоянии без появления трещин на поверхности. Они характеризуются различной деформируемостью и прочностью (см. таблицы 2.5 и 2.6).

При оценке строительных свойств глинистых грунтов очень важно учитывать их способность к увеличению объема при увлажнении (набуханию). В результате, грунты развивают давление на сооружения, способное привести к их разрушению. Набухание в значительной степени зависит от степени дисперсности и минерального состава глинистых грунтов, а также от состава

раствора, с которым происходит их взаимодействие. Показателями набухания являются: влажность набухания; величина набухания, давление набухания. Влажность набухания – это количество влаги в грунте, которое он содержит при условии полного свободного набухания. Величина набухания характеризуется коэффициентом набухания δ_n (относительной деформацией набухания), который выражают в долях единицы или в процентах от начального объема образца породы по приращению высоты образца в результате набухания. По этому показателю грунты подразделяют на: не набухающие ($\delta_n < 0,04$ доли ед.), слабо набухающие ($\delta_n = 0,04 \dots 0,08$ доли ед.), средне набухающие ($\delta_n = 0,08 \dots 0,12$ доли ед.), сильно набухающие ($\delta_n > 0,12$ доли ед.).

При высыхании происходит процесс, обратный набуханию, заключающийся в уменьшении объема глинистых грунтов, и который также, как и набухание, может привести к деформациям сооружений, расположенных на них. Усадка характеризуется пределом усадки, под которым понимают *влажность* породы, при уменьшении которой дальнейшего изменения объема породы не происходит.

Глинистые грунты под влиянием механических воздействий, например, передаваемых нагрузок, способны размягчаться, а при интенсивной вибрации даже разжижаться, т.е. менять своё физическое состояние. По прекращению этих воздействий физическое состояние, а, следовательно, и прочность грунтов, полностью или частично восстанавливаются. Эти изменения получили названия тиксотропных. Все глинистые грунты потенциально тиксотропны, но для проявления этой способности необходимо наличие в каждом случае определённых условий, одним из которых является содержание в грунтах глинистых частиц хотя бы в количестве 1.5-2%, при этом, чем они мельче, тем содержащие их грунты более тиксотропны.

В группе глинистых пород особое место занимают лёссовые и лёссовидные грунты, которые характеризуются наличием в гранулометрическом составе большого количества пылеватых частиц, представленных мелко измельчённым кварцем. Содержат большое количество солей. Отличаются высокой пористостью, при этом, для них характерна

макропористость. *Консистенция* – твёрдая или полутвёрдая. Быстро размокают. При небольшой влажности они характеризуются малой сжимаемостью, при увлажнении прочность падает. Характерной особенностью этих грунтов является просадочность – способность уменьшать объём при увлажнении, что вызывает их быстрое уплотнение и как следствие – значительные деформации и разрушения, построенных на них зданий и сооружений.

Пятая группа объединяет породы, разнообразные по своему происхождению, составу и свойствам, требующие специальных методов инженерно-геологических исследований и оценки. Ниже рассматриваются те из них, которые наиболее часто рассматриваются в качестве основания сооружений.

Торфа являются грунтами органогенного происхождения, образующиеся в процессе накопления и разложения главным образом болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа кислорода. Они представляют трехфазную систему, границы между которыми и их соотношение не остаются постоянными во времени, т.к. непрерывно развивающийся процесс разложения твёрдой компоненты протекает с образованием газообразных и жидких компонентов. Твёрдая фаза торфа – сложная полидисперсная система, в её строении принимают участие частицы размером от нескольких см до долей микрона. Понятие гранулометрического состава торфов неточно, чаще применяется понятие дисперсности, которая зависит от генезиса, ботанического состава и степени разложения торфа. Характеристикой дисперсности торфа является *степень разложения* D_{pd} (процентное содержание продуктов разложения с полной утратой клеточного строения), которая и определяет в значительной степени их свойства. Они характеризуются очень высокой пористостью, малой плотностью, влажностью (содержание воды значительно превышает содержание сухих частиц). Обладают значительной и неравномерной сжимаемостью, изменяющейся во

времени, что ограничивает использование территорий, слагаемых торфами для строительства сооружений.

Засоленные горные породы образуются при накоплении в них растворимых солей после формирования породы, вследствие вторичных процессов. При содержании водорастворимых солей более 0,3 % от массы сухой породы, песчаные и глинистые грунты считаются засоленными. Их свойства зависят от состава и содержания солей. *Легкорастворимые* соли при значительной концентрации оказывают влияние на глинистые грунты, снижая значения их характерных влажностей: гигроскопической, максимальной молекулярной влагоемкости, пределов пластичности и других. *Среднерастворимые соли*, при небольшом содержании, влияют на свойства грунтов менее заметно, чем легкорастворимые, но при высоком содержании (20...30%) влияние значительно увеличивается. Гипс присутствует в грунте в основном в твердом виде (из-за сравнительно низкой растворимости). Это уменьшает плотность твердых частиц грунта (плотность гипса значительно меньше, чем плотность алюмосиликатов), но в тоже время, повышает плотность скелета и снижает пористость, заполняя поры. Показатели физико-химических свойств грунта под влиянием гипса снижаются меньше, чем при содержании легкорастворимых солей, так как концентрация его в поровых растворах сравнительно небольшая. Механические свойства загипсованных грунтов существенно повышаются за счет формирования цементационных структурных связей. Их влияние на свойства грунтов меньше, чем среднерастворимых и легкорастворимых солей и в основном проявляется в улучшении механических свойств грунтов, понижении их пористости и водопроницаемости. При изучении этих грунтов необходимо определять так называемую скрытую просадочность.

Мёрзлые породы характеризуются отрицательной или нулевой температурой или содержат лёд, который может находиться в них в тонкодисперсном состоянии, в виде цемента, или образовывать отдельные кристаллы или их скопления, прослои, слои, линзы. Общее содержание льда в

грунтах характеризуется их льдистостью, которая определяет поведение дисперсных связных и несвязных грунтов при промерзании и оттаивании.

При промерзании дисперсные грунты приобретают повышенную прочность, становятся водонепроницаемыми, некоторые из них увеличиваются в объёме, обуславливая процессы морозное пучение.

При оттаивании, свойства дисперсных грунтов определяются взаимодействием скелета с жидкой водой. Песчаные грунты, которые при замерзании превращаются в песчаники на льдистом цементе, после оттаивания приобретают своё первоначальное строение и практически не изменяют свойства. В глинистых грунтах, характеризующихся специфическими особенностями по сравнению с песчаными грунтами, о чём было сказано выше, могут происходить значительные изменения. Большое влияние на льдообразование в них и, соответственно, на поведение при оттаивании, оказывает минеральный состав. В монтмориллонитовых глинах образуется больше ледяных прослоек и линз льда, чем в каолинитовых, что определяет их значительную льдистость. Глинистые грунты с большой льдистостью после оттаивания являются настолько переувлажненными, что превращаются в разжиженную массу. Они имеют весьма малую несущую способность, которая очень медленно восстанавливается по мере отжатия воды из грунта. Водопроницаемость таких грунтов увеличивается за счёт оттаявших полостей и трещин после таяния линз, прослоек и включений льда. Коэффициент фильтрации при этом в некоторых случаях достигает значительных величин. В глинистых грунтах, характеризующихся небольшой льдистостью, при оттаивании может происходить набухание за счёт избытка влаги.

Техногенные грунты объединяют [8]:

- природные грунты, изменённые, в условиях естественного залегания;
- перемещённые грунты с места их естественного залегания и подвергнутые при этом частичному преобразованию;
- антропогенные образования.

Природные грунты, изменённые в условиях естественного залегания в результате различных физических и физико-химических воздействий,

создаются целенаправленно в соответствии с запросами строительства для улучшения их свойств при использовании в качестве оснований или среды сооружений. С этой целью применяют их уплотнение различными способами, как с поверхности, так и в массиве, повышая прочность, снижая сжимаемость и водопроницаемость, а также используют методы, способствующие их закреплению: цементацию, силикатизацию, битумизацию, глинизацию и др.

Природные грунты, перемещённые с места их естественного залегания, подразделяются на насыпные и намывные. Планомерно насыпаемые или намываемые грунты используются для планировки местности, слагая с поверхности значительные территории новых районов городов. Они могут состоять как из пылевато-глинистых, так и песчано-галечных разностей. Обычно достаточно однородны, плотность их сложения зависит от продолжительности естественного уплотнения или интенсивности искусственного. Характерной особенностью этих отложений является значительная сжимаемость. Процесс естественного уплотнения песков завершается в среднем около двух лет, для глинистых разностей он растягивается до 5 - 7 лет. К планомерно отсыпанным грунтам относятся насыпи, возводимые из однородных грунтов с уплотнением до заданной по проекту плотности. Непланомерно отсыпанные грунты представляют отвалы грунтов, сформированные при разработке месторождений полезных ископаемых, срезке площадей при их планировке.

Антропогенные образования представляют собой, так называемые культурные слои, сформировавшиеся естественно - историческим образом, а также отходы или продукты производственной и/или хозяйственной деятельности человека (промышленные и бытовые).

Культурные слои распространены на территориях городов и крупных населённых пунктов и сформировались в процессе культурно-хозяйственной деятельности человека в течение длительного времени. Они представлены хозяйственным и строительным мусором, в составе которого встречаются битый кирпич, керамическая плитка, органические включения, зола и другие

включения. Характеризуются значительной неоднородностью по составу и свойствам и по площади, и по глубине залегания: древние слои более уплотнённые и прочные, в отличие от современных, требующих уплотнения и закрепления.

Промышленные отходы состоят из смеси песчано-глинистых грунтов, шлака, обломков арматуры, древесины. Встречаются крупные и тяжёлые обломки бетонных или кирпичных блоков, обрезки металлических труб, листового или арматурного железа и др., которые распределены весьма неравномерно. Плотность их сложения средняя, иногда высокая.

Бытовые отходы представляют смесь отходов производства и бытовых отходов, распространённых главным образом в районах свалок. В такой толще много сгнивших и полусгнивших обломков древесины – щепы, стружек, опилок, а также химически активных, промышленных и органических отходов. Они характеризуются низкой прочностью и высокой сжимаемостью. Эти отложения неблагоприятны не только по своим физико-механическим свойствам, но представляют опасность в экологическом отношении, так как содержат тяжёлые металлы, радиоактивные элементы, являются источником токсичных и взрывоопасных продуктов. Негативное воздействие оказывает фильтрат, образующийся при взаимодействии с бытовыми отходами инфильтрующихся атмосферных осадков, при этом, его биологическое загрязнение в 2...3 раза выше, чем у канализационных вод, также он обладает повышенной агрессивностью. При наличии в грунтах примеси промышленных отходов и бытовых отходов возможно повышение агрессивности подземных вод по отношению к бетону и металлическим конструкциям.

Строительство на техногенных грунтах требует тщательного геотехнического контроля.

Почвы.² Превращение горной породы в почву происходит в процессе почвообразования, который осуществляется в результате длительного взаимодействия массы материнской горной породы с живыми организмами, продуктами их жизнедеятельности и элементами гидро - и атмосферы. Почвообразовательный процесс относится к категории био - физико-химических процессов, и агентами его являются живые организмы и продукты их жизнедеятельности, вода, кислород воздуха и углекислота.

В основе процесса почвообразования лежит *малый биологический круговорот веществ*, развивающийся на фоне *большого геологического круговорота веществ*.

Геологическим круговоротом веществ называют геологические процессы превращения и перемещения массы горной породы, совершающейся на протяжении геологических эпох. В геологическом круговороте образуется рыхлая кора выветривания, представленная различными по генезису горными породами. В ней создаются условия для поселения растительности и развития почвообразования. Заселение поверхности рыхлой породы растениями идет медленно, причем наблюдается смена одних, относительно простых растительных группировок другими, более сложными. Высшие растения извлекают из материнской породы (в дальнейшем из почвы) элементы питания; синтезируют биомассу и включают элементы питания в состав сложных, нерастворимых в воде органических соединений; возвращают в формирующуюся почву эти соединения в виде наземного опада и корней.

Рассмотренный процесс превращения и перемещения веществ, связанный с появлением и развитием растительного покрова, по предложению В.Р. Вильямса назван *малым биологическим круговоротом веществ*. Основной итог биологического круговорота – биологическая аккумуляция элементов питания в корнеобитаемом слое почвы, и их концентрация здесь, что и обуславливает постепенное развитие плодородия.

² Соответственно задачам пособия, изложенным в Предисловии, вопросы образования, состава и свойств почв рассматриваются ниже более подробно, чем для других видов пород, упомянутых в инженерно-геологической классификации.

Интенсивность биологического круговорота зависит от физико-географических условий и характера растительности.

Наиболее важными слагаемыми почвообразовательного процесса являются [34]:

1. Превращение (трансформация) минеральной горной породы, из которой образуется почва (а в дальнейшем и самой почвы); носит биохимический характер и совершается при участии живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. Характер залегания коры выветривания и почвенного покрова на некоторых видах горных пород показан на рис. 2.6

Рис. 2.6



Кора выветривания меловых пород с зарождающимся почвенным покровом



Кора выветривания песчано-глинистых сланцев с почвенным покровом, насыщенным корневой системой различных растений

2. Накопление в почве органических остатков и их постепенная трансформация.

3. Взаимодействие минеральных и органических веществ с образованием сложной системы органоминеральных соединений.

4. Накопление (аккумуляция) в верхней части почвы ряда биофильных элементов, и, прежде всего, элементов питания.

5. Передвижение продуктов почвообразования с током влаги по вертикальной толще формирующейся почвы.

Факторы почвообразования. Основоположник учения о факторах почвообразования В.В. Докучаев установил, что почва как особое природное тело формируется в результате тесного взаимодействия следующих факторов: почвообразующих пород, климата, рельефа местности, живых организмов и возраста страны (времени) (рис. 2.7)

Рис. 2.7



Рассмотрим подробнее названные факторы.

Характеристика факторов почвообразования.

➤ *Почвообразующей (материнской) горной породой* называется тот верхний слой (мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров) выходящей на поверхность горной породы, который в процессе почвообразования превращается в почву (см. рис. 2.6).

Из верхних слоев материнской породы образуется основная часть почвенной массы. Она наследует гранулометрический, агрегатный, минералогический и химический состав материнской породы. От гранулометрического и агрегатного состава зависят свойства почвы (водопроницаемость, воздухопроницаемость, водоудерживающая способность, влагоемкость и др.) и характер водного режима. Минералогический и химический состав породы влияет на химический состав почвы, ход химических процессов в ней, содержание, по крайней мере, первоначальное, в почве питательных веществ: калия, фосфора, серы, кальция и др.

По окончании почвообразовательного процесса материнская порода становится по отношению к почве подстилающим телом (грунтом) и влияет на обмен газами, влагой и растворенными в ней солями и тепловой энергией между нею и почвенной толщей.

Свойства и состав материнских пород определяют состав поселяющейся растительности, её продуктивность, скорость разложения органических остатков, качество образующегося гумуса, особенности взаимодействия органических веществ с минеральной частью и другие стороны почвообразовательного процесса.

Вследствие этого на разных породах в одних и тех же условиях климата и рельефа могут формироваться разные почвы. Так, на карбонатных породах в таежно-лесной зоне образуются почвы с хорошо развитым гумусовым горизонтом, а на кислых – слабогумусированные подзолистые почвы. В южных зонах засоленные породы являются причиной развития засоленных почв и т.п.

➤ *Климат.* Под атмосферным климатом понимается среднее состояние атмосферы той или иной территории, характеризуемое средними показателями метеорологических элементов (температура, осадки, влажность воздуха и т.д.) и их крайними показателями, дающими амплитуды колебаний в течение суток, сезонов и целого года.

Для почвенных процессов важнейшее значение имеют климатические показатели, характеризующие температурные условия и увлажнение, т.к. с

ними связаны водно-температурный режим почв и биологические процессы. Главный источник энергии – солнечная радиация, а основной источник увлажнения – атмосферные осадки. Постоянный тепло- и влагообмен между почвой и атмосферой формирует гидротермический режим почвы, который является важнейшим ее свойством. Он обуславливает тепловой режим почв, скорость химических и биохимических процессов, биологическую продуктивность при оптимальном увлажнении. Климатические пояса располагаются в виде широтных поясов, окружающих земной шар. Пояса характеризуются не только суммой среднесуточных температур, но и определенными типами растительности и почв, варьирующими в широких пределах в зависимости от увлажнения. Они называются почвенно-биоклиматическими, или почвенно-биотермическими поясами.

Для формирования почв очень важным условием является режим их увлажнения, который определяется соотношением выпавших осадков к величине испарения с открытой поверхности (*коэффициент увлажнения КУ* по Высоцкому-Иванову). Режим увлажнения обуславливает окислительно-восстановительный потенциал почв, степень выветрелости и выщелоченности. Определенное сочетание температуры и увлажнения обуславливает тип растительности, темпы создания и разрушения органического вещества, состав и интенсивность деятельности почвенной микрофлоры и фауны. Климат оказывает огромное влияние на водно-воздушный, температурный и окислительно-восстановительный режимы почвы. С климатическими условиями тесно связаны процессы превращения минеральных соединений в почве, а также интенсивность развития эрозионных процессов.

➤ *Рельеф.* Рельеф выступает как главный фактор перераспределения солнечной радиации и осадков в зависимости от экспозиции и крутизны склона и оказывает влияние на водный, тепловой, питательный, окислительно-восстановительный и солевой режимы, развитие эрозионных процессов. Рельеф выступает и как фактор эволюции растительности и почв при его изменении.

В зависимости от положения в рельефе и соответствующего перераспределения осадков выделяют следующие группы почв [39]:

- автоморфные почвы – формируются на относительно ровных поверхностях в условиях свободного стока поверхностных вод при глубоком залегании грунтовых вод (>6 м). Характер формирования рыхлых отложений и почвенного покрова автоморфного типа в условиях предгорья показан на рис. 2.8.

Рис. 2.8



Мощный автоморфный почвенный слой формируется на мергелях и сланцах альпийского предгорья. На заднем плане Доломитовые Альпы.

- полугидроморфные почвы – формируются при кратковременном застое поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине 3-6 м (капиллярная кайма может достигать корней растений);

- гидроморфные почвы – формируются в условиях длительного поверхностного застоя вод или при залегании грунтовых вод на глубине <3 м (капиллярная кайма может достигать поверхности почвы). На рис. 2.9 показан характер увлажнения территории, способствующий развитию гидроморфных почв.

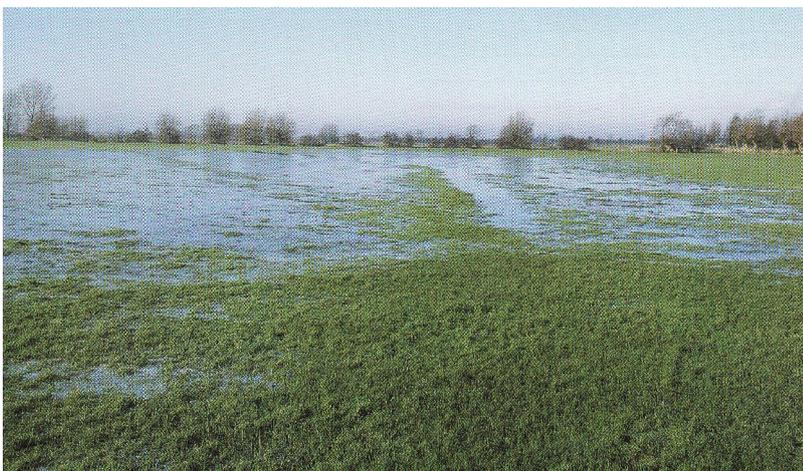


Рис. 2.9

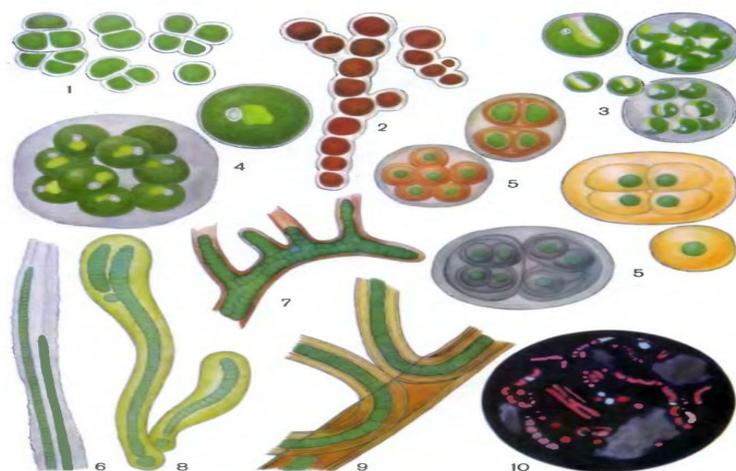
Гидроморфные почвы. При проектировании дренажных мероприятий необходимы определения водопроницаемости почв и подстилающих пород

➤ *Живые организмы (биологический фактор)*. Под биологическим фактором почвообразования понимается многообразное участие живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. В почвообразовании участвуют 3 группы организмов: *зелёные растения; микроорганизмы; животные*. Они образуют сложные биоценозы. Особенно велика роль высших зеленых растений и микроорганизмов.

Зелёные растения – деревья, кустарники, травянистая и мохово-лишайная растительность - вовлекают в процесс почвообразования углерод, образуя органические соединения. Последние разлагаются микроорганизмами, живущими в почве, с образованием новых органических соединений, в частности кислот и гумусовых веществ, активно воздействуют на частицы минералов и вызывают их распад.

Высшие зеленые растения своими корнями усваивают зольные вещества (Ca, Mg, K, Na, Fe, Al, Si, Mn, P, S, Cl) и азот из почвы, принимают участие в передвижении в почве влаги.

Микроорганизмы почвы весьма разнообразны по составу и биологической деятельности. Здесь распространены бактерии, грибы, актиномицеты, лишайники и водоросли (см. рис.2.10). Общее количество микроорганизмов в почве достигает миллионов и миллиардов на 1 га. Их количество минимально в подзолистых почвах северных широт и максимально в черноземах и сероземах, под травянистой растительностью. Уменьшение их содержания наблюдается с глубиной почвенного профиля. Кроме того, максимальное скопление микроорганизмов отмечается около живых корешков и на поверхности мертвых растительных остатков в пленке, называемой *ризосферой*.



1 - отдельная клетка и группы клеток плеврококка; 2 - простые и ветвящиеся нити трентеполии; 3 - отдельная клетка и размножение хлореллы; 4 - группа молодых клеток и взрослая клетка хлорококка; 5 - колонии глеокапсы; 6 – участок таллома шизотрикса в общем слизистом чехле; 7 - часть нити стигонемы; 8 - нити толипотрикса; 9 - часть нити сцитонемы; 10 - общий вид пробы почвы в люминесцентном микроскопе.

Среди микроорганизмов наиболее представительны бактерии. Численность их в течение года многократно (от 6 до 10 раз) возобновляется. В зависимости от способа питания бактерии подразделяются на *гетеротрофные* и *автотрофные*, по условиям существования – на *аэробные* и *анаэробные*.

Основными функциями микроорганизмов как почвообразователей являются: разложение растительных остатков и почвенного гумуса до простых солей, используемых растениями; участие в образовании гумусовых веществ; разрушение и новообразование почвенных минералов; усвоение атмосферного азота некоторыми группами микроорганизмов.

Интенсивность жизнедеятельности микроорганизмов регулируется гидротермическими условиями, реакцией среды, количеством и составом питательных веществ. Для большинства из них оптимальны температура 25-30° С и влажность около 60% полной влагоемкости почвы.

Животные - простейшие (жгутиковые, корненожки, инфузории), беспозвоночные (дождевые черви, многоножки, жуки, термиты и др.) и позвоночные (кроты, суслики, хомяки и др.) - рыхлят и перемешивают почвенную массу на глубину до нескольких метров (рис. 2.11).



Наибольшая роль в почвообразовании принадлежит *дождевым червям*, которые, помимо измельчения органических остатков, обогащают почву органическими веществами и карбонатами, улучшают ее физические свойства, химический состав и структуру, увеличивают количество гумуса, снижают кислотность и т.д.

Главной функцией животных в биосфере и почвообразовании следует считать потребление, первичное и вторичное разрушение органического вещества, перераспределение запасов энергии и превращение части потенциальной энергии в тепловую, механическую и химическую. Животные организмы необычайно ускоряют темп биологического круговорота веществ в биосфере и почвах. В процессе дыхания, движения, обмена организмов со средой, идет последовательное окисление части углерода до двуокиси, выделение воды, паров и газов, минеральных солей, экскрементов. К этому добавляются минеральные и органические продукты посмертного разложения.

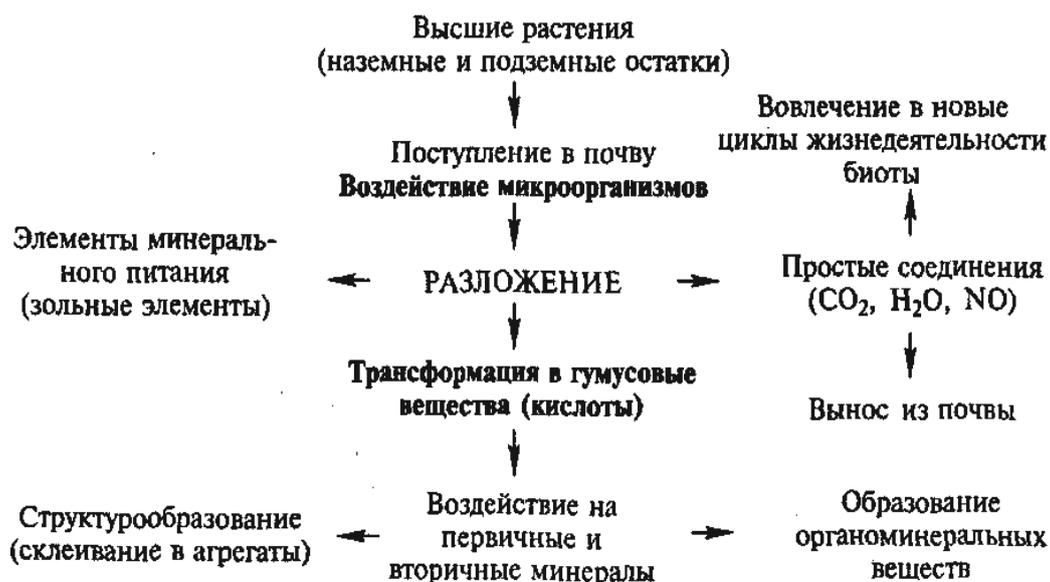
Многие *бактерии и грибы* продуцируют вещества типа полисахаридов, способствующие структурообразованию почв. Некоторые почвенные грибы и бактерии синтезируют аминокислоты, спирты, органические кислоты. При микробном и грибном разложении растительной массы в почве синтезируются

витамины, активные биохимические продукты. Продукты жизнедеятельности одних бактерий часто являются токсическими антибиотиками для других.

Наиболее важной функцией растений в почвообразовательном процессе является регулярный синтез органического вещества, сопровождающийся мобилизацией минеральных соединений. Это ведет к аккумуляции запасов потенциальной энергии и биофильных элементов в наземных и подземных органах растений, в их остатках и почвах. Наиболее благоприятное влияние на режим органического вещества и баланс гумуса оказывают многолетние травы. Биологический фактор почвообразования занимает ведущее положение среди других факторов (рис. 2.12).

Рис.2.12

Роль биологического фактора в почвообразовании [3]



➤ *Возраст почв.* Процесс почвообразования протекает во времени. Каждый новый цикл почвообразования (сезонный, годичный, многолетний) вносит определенные изменения в превращения органических и минеральных веществ в почвенном профиле.

Различают *абсолютный и относительный возраст почв.* Абсолютный возраст – время, прошедшее с начала формирования почвы до настоящего времени. Он колеблется от нескольких лет до миллионов лет. Наибольший

возраст имеют почвы тропических территорий. На территории нашей страны абсолютный возраст почв исчисляется тысячелетиями и десятками тысяч лет (табл. 2.8).

Табл. 2.8

Характерное время развития почв [3]

Почвы	Характерное время стадий, лет		
	появление профиля (А - С)	появление диагностических горизонтов	зрелый профиль
Тундровые глеезёмы	10	10-20	200
Подзолы песчаные А ₂ -В _f	20	50-100	1500
Дерново-подзолистые суглинистые А ₂ -В _t	10	100-500	2500-3000
Серые лесные А ₁ А ₂ -В _t	5-10	300-700	3000
Черноземы А ₁ -В _k	5	100 - 200	2500-3000
Каштановые	10	100-200	1500-2000
Солонцы А ₂ -В _t	10	100-200	1000-2000

Самые молодые почвы располагаются в современной пойме. Со временем почва превращается из «молодой» в «зрелую». При этом меняются ее свойства в зависимости от природных условий (климата, растительности, гидрологических условий). Относительный возраст почв характеризует скорость почвообразовательного процесса, быстроту смены одной стадии развития почвы другой. Он связан с влиянием состава и свойств пород, условий рельефа на скорость и направление почвообразовательного процесса.

Производственная деятельность человека. Это специфический мощный фактор сознательного, направленного воздействия на почву, вызывающий изменение ее свойств и режимов (реакции при известковании, при внесении удобрений, при изменении водно-воздушного и окислительно-восстановительного режимов и пр.) значительно более быстрыми темпами, чем это происходит при естественном почвообразовательном процессе. Производственная деятельность человека становится решающим фактором

почвообразования и повышения плодородия почв. Технические средства, применяемые в сельском хозяйстве, становятся всё более разнообразными: от сельскохозяйственной авиации до роботизированных комплексов вспашки и боронования (см. рис. 2.13).

При этом характер и значимость изменений почвы зависят от социально-экономических производственных отношений, уровня развития науки и техники. Неправильное использование почв без учета их свойств, условий развития может вызвать существенное их ухудшение (развитие эрозии, вторичное засоление, заболачивание, загрязнение почвенной среды и др.).

Рис. 2.13



Характеристика твёрдой фазы почвы.

Гранулометрический состав. Подавляющая часть почв, за исключением примитивных и слабо развитых почв на скальных породах и некоторые специфические типы почв преимущественно в горных районах, формируется на рыхлых отложениях, которые являются продуктами выветривания и представляют собой смесь минеральных частиц различной крупности. Гранулометрический состав почв в значительной степени унаследован от соответствующих породообразующих (материнских) горных пород и в своих основных чертах мало меняется в процессе почвообразования.

Гранулометрический состав продуктов выветривания (элювия) плотных пород тесно связан с их минеральным составом: кислые, богатые кварцем породы дают при выветривании много крупнодисперсного песчаного материала; элювий основных, богатых легко выветривающимися материалами пород обогащен глинистыми тонкодисперсными частицами. Элювий известняков, мергелей обычно имеет глинистый состав.

В процессе разрушения, транспортировки водными, ветровыми или склоновыми гравитационными потоками и переотложения продуктов выветривания горных пород происходят их сортировка и разделение в пространстве на грубообломочные, песчаные, пылеватые или глинистые поверхностные отложения. Аллювиальные и эоловые отложения при этом обычно становятся относительно гомогенными, хорошо отсортированными, разделяющимися в пространстве по крупности преобладающих в них частиц на пески, суглинки, глины. Гляциальные, флювиогляциальные и делювиальные наносы обычно плохо сортированы. Имеется закономерное распределение степени сортированности и дисперсности материала по направлению движения потока, поскольку грубые частицы оседают ближе к источникам материала, а тонкодисперсные дальше.

Как было показано выше в разделе грунтоведения, частицы разной крупности имеют обычно различный минеральный, а, следовательно, и химический состав. Крупные частицы большей частью представлены кварцем, пылеватые - кварцем и полевыми шпатами, тонкодисперсные - вторичными глинистыми материалами. В почвах механические элементы не только наследуются от исходной материнской породы, хотя основная их часть имеет такое происхождение, но образуются и в процессе почвообразования. Поэтому почвенные частицы могут быть первичными (унаследованными) либо вторичными (новообразованными). *Номенклатура и подразделение гранулометрических фракций в почвоведении несколько отличаются от рассмотренных выше в разделе грунтоведения (сравни табл. 2.2 и табл. 2.9).*

Наиболее существенные отличия в свойствах фракций лежат на границе около 0,001 мм. У частиц мельче этого размера, т.е. частиц тонкодисперсных и, в особенности, коллоидных, в силу высокой дисперсности и особого химико-минералогического состава (преобладание в их составе глинистых минералов, а также гумуса) ярко выражены поглотительная способность и способность к коагуляции с образованием почвенных агрегатов.

Табл. 2.9

Классификация гранулометрических фракций
(по Вильямсу-Качинскому) [20]

Диаметр частиц, мм	Название гранулометрических фракций	Группа
>3	Каменистая часть почвы	
3 – 1	Крупный песок	
1 – 0,25	Средний песок	«Физический песок»
0,25 – 0,05	Мелкий песок	
0,05 – 0,01	Крупная пыль	
0,01 – 0,005	Средняя пыль	«Физическая глина»
0,005 – 0,001	Мелкая пыль	
<0,001	Ил	

Эти особенности способствуют созданию благоприятных физических свойств почв в целом; вместе с тем при существовании в почве преимущественно вне агрегатов тонкие глинистые частицы резко снижают ее воздухо - и водопроницаемость.

Во фракциях крупнее 0,001 мм поглотительная способность выражена очень слабо, так как они представлены преимущественно обломками первичных минералов и содержат ничтожное количество органического вещества (за исключением фракции 0,005 - 0,001 мм, содержащей некоторую примесь глинистых минералов и гумуса). Фракция пыли в интервале 0,05 - 0,005 мм обуславливает способность почв к распылению в сухом состоянии и к заплыванию во влажном, создавая при значительном содержании вне агрегатов неблагоприятные водно-физические свойства почв. Фракции песка (1 - 0,05 мм), целиком представленные обломками пород и минералов, совершенно лишены поглотительной способности, однако при значительном содержании

они обеспечивают хорошую воздухо- и водопроницаемость почв.

Наряду с гранулометрическим, различают также агрегатный состав почв. В естественных условиях в почве практически всегда (исключая горизонты, образованные рыхлыми песками) в той или иной степени представлены микроагрегаты, под которыми понимаются частицы размером $<0,25$ мм. Содержание в почве различных микроагрегатов, их водопропрочность, принадлежит к числу очень важных характеристик почвы.

Гранулометрические фракции, в целом, отражают реально существующие различия в их свойствах (физических, химико-минералогических), что, в свою очередь, обуславливает наличие определенных свойств почв в зависимости от степени участия тех или иных фракций в формировании их гранулометрического состава. В России принята разработанная Н.М. Сибирцевым и впоследствии уточненная Н.А. Качинским классификация почв по гранулометрическому составу (табл. 2.10), основанная на соотношении частиц размером более и менее 0,01 мм, так называемых «физической» глины и «физического» песка.

Гранулометрический и агрегатный состав влияют на фильтрационную и водоудерживающую способность, тепловой, воздушный и питательный режим почвы. Ряд сельскохозяйственных культур для своего оптимального развития нуждаются в почвах определённого гранулометрического состава.

Классификация почв по механическому (гранулометрическому) составу (по Н. М. Сибирцеву, с уточнениями Н. А. Качинского) [20]

Название по механическому составу	Содержание «физической» глины (<0,01 мм), %			Содержание «физического» песка (>0,01 мм), %		
	почвы			почвы		
	Подзолистого типа	Степного типа + красноземы и желтоземы	Солонцы и сильно солонцеватые	Подзолистого типа	Степного типа + красноземы и желтоземы	Солонцы и сильно солонцеватые
<i>Песчаная</i>						
Рыхло-песчаная	0-5	0-5	0-5	100-95	100-95	100-95
Связно-песчаная	5-10	5-10	5-10	95-90	95-90	95-90
Супесчаная	10-20	10-20	10-15	90-80	90-80	90-85
<i>Суглинистая</i>						
Легко суглинистая	20-30	20-30	15-20	80-70	80-70	85-80
Средне суглинистая	30-40	30-45	20-30	70-60	70-55	80-70
Тяжело суглинистая	40-50	45-60	30-40	60-50	55-40	70-60
<i>Глинистая</i>						
Легкоглинистая	50-65	60-75	40-50	50-35	40-25	60-50
Средне глинистая	65-80	75-85	50-65	35-20	25-15	50-35
Тяжело глинистая	>80	>85	>65	<20	<15	<35

Так, виноградная лоза дает наиболее высококачественную продукцию на щебнистых почвах, табачный лист - на почвах относительно легкого состава. Культуры картофеля, бахчевых и большинства овощей наиболее хорошо произрастают на песчаных и легко суглинистых почвах.

Минеральный состав почв. Основную долю вещественного состава рыхлых почвообразующих пород и почв, за исключением торфяных, образуют минеральные частицы. В зависимости от происхождения и размеров они могут быть разделены на две основные группы. Одну из них составляют зерна первичных минералов, перешедших в мелкозем из разрушенных плотных изверженных, метаморфических или осадочных пород, другую - тонкодисперсные частицы вторичных, главным образом, глинистых минералов, которые представляют собой продукт трансформации первичных минералов или новообразованы в ходе выветривания и почвообразования.

Рыхлые почвообразующие породы, за исключением элювия, образованного из изверженных пород *in situ*, представляют собой продукт многократного переотложения и длительного изменения материала плотных пород под действием физических и биологических агентов, что приводит к относительному накоплению более устойчивого к выветриванию кварца. В свою очередь в зависимости от гранулометрического состава рыхлых почвообразующих пород участие первичных минералов в формировании их состава весьма различно: первичные минералы составляют 90-98% массы мелкозема песков, 50-80% суглинков и 10-12% глин. Наглядное представление о соотношении главнейших групп породообразующих минералов и общей доле участия первичных минералов в составе различных типов почвообразующих плотных и рыхлых пород приводится на рис. 2.14.

Минеральный состав различных типов породообразующих пород [40].

I	1	2	3	4	7	
II	1	2	4	5	6	7
III	1	2	6	7		
IV	1	2	6	7		

I –плотные магматические породы; II – плотные осадочные породы; III – рыхлые суглинистые породы; IV - рыхлые песчаные породы.

1 – кварц; 2 - полевые шпаты; 3 – пироксены и амфиболы; 4 – слюды; 5 – карбонаты; 6 – глинистые минералы; 7 - прочие минералы (в эту группу при содержании менее 1% обычно включают пироксены, амфиболы, слюды, карбонаты и глинистые минералы).

Вторичные минералы почв. Вторичные минералы почти целиком сосредоточены в тонкодисперсных гранулометрических фракциях размером $<0,001$ мм и представлены глинистыми минералами, минералами оксидов железа и алюминия, аллофонами, а также минералами-солями. Минеральное богатство почв, представленное, как в первичных, так и вторичных минеральных образованиях, обуславливает развитие растительности в самых суровых природных условиях. На рис. 2.15 показан пышный растительный покров вокруг кратерных озёр высокогорья, расцвеченный различными красками, благодаря наличию большого количества минералов в почве. Важнейшая роль среди вторичных образований почвы принадлежит глинистым минералам. В силу присущей им поглотительной способности они определяют емкость поглощения почв и наряду с гумусом являются основным источником поступления минеральных элементов в растения.

Рис. 2.15



Химический состав минеральной части почв. Почва является самой верхней частью коры выветривания литосферы и поэтому в общих чертах наследует ее химический состав. Однако, представляя собой одновременно продукт воздействия на литосферу живого вещества, почва в содержании ряда элементов приобретает существенные отличия. Как видно из приведенных в табл. 2.9 данных, в литосфере и почве около половины составляет кислород, второе место занимает кремний (приходится почти четвертая часть);

следующую по порядку содержания группу, примерно десятую часть, образуют алюминий и железо; еще меньшую долю, всего лишь несколько процентов, составляют кальций, магний, натрий, калий и, наконец, на все остальные элементы, исключая углерод, приходится менее одного процента. В природной «живой» почве, кроме того, представлены всегда органическое вещество, вода, газы. К числу наиболее ярких отличий химического состава почвы относится резкое возрастание ней содержания углерода (в 20 раз) и азота (в 10 раз), обусловленное влияние биогенных факторов. Поэтому же при сохранении общего порядка содержания элементов заметно возрастает количество кислорода и водорода, как элементов воды, на фоне уменьшенного содержания алюминия, железа, калия, кальция, магния.

Табл. 2.11

Среднее содержание химических элементов в литосфере и почвах в % по массе
(по А. П. Виноградову, 1950) [11]

Элемент	Литосфера	Почва	Элемент	Литосфера	Почва
O	47,20	49,00	C	0,10	2,00
Si	27,60	33,00	S	0,09	0,085
Al	8,80	7,13	Mn	0,09	0,085
Fe	5,10	3,80	P	0,08	0,08
Ca	3,60	1,37	N	0,01	0,10
Na	2,64	0,63	Cu	0,01	0,002
K	2,60	1,36	Zn	0,005	0,005
Mg	2,10	0,60	Co	0,003	0,0008
Ti	0,60	0,46	B	0,0003	0,001
H	0,15	?	Mo	0,0003	0,0003

Валовой химический состав почвы в преобладающей мере определяется составом и количественным соотношением формирующих ее минералов. Основную долю крупных фракций, как известно, составляет кварц и полевые шпаты, а тонкодисперсных фракций - глинистые алюмосиликаты при значительно меньшем содержании остальных минералов. В соответствии с этим в валовом химическом составе почв преобладают кислород и кремний, в меньшей мере алюминий, и в очень небольшом количестве присутствуют железо, титан, кальций, магний, калий, натрий; другие элементы присутствуют

в микроскопических количествах. Окислительные процессы, протекающие при взаимодействии почвы и корневой системы растений, обуславливают распределение химических элементов, как в самой почве, так и в зелёной массе самих растений, при этом содержание SiO_2 в почве закономерно падает по мере уменьшения размеров фракции при соответственном увеличении содержания Al_2O_3 и Fe_2O_3 (табл. 2.12)

Табл. 2.12

Валовой состав гранулометрических фракций песчаного подзола севера Русской равнины, в % на прокаленную почву (В.Д. Тонконогов, 1971) [5]

Размер фракций,	Глубина, см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O
1 - 0,25	2-10	96,87	1,66	0,25	0,00	0,48
	20-30	93,79	3,54	0,49	0,00	0,83
	170-180	94,63	3,12	0,39	0,20	0,71
0,25-0,1	2-10	92,95	4,68	0,39	0,00	1,25
	20-30	88,88	6,57	0,68	0,00	1,55
	170-180	89,58	6,99	0,59	0,00	1,83
0,1-0,01	2-10	87,66	7,90	1,18	0,00	1,54
	20-30	88,86	6,43	0,88	0,40	1,95
	170-180	83,48	10,62	1,58	0,10	2,10
0,01 -	2-10	74,13	17,58	1,43	0,10	3,41
	20-30	58,46	26,80	9,13	1,59	1,69
	170-180	63,77	22,45	7,33	2,20	1,92
<0,001	2-10	61,33	27,42	3,46	0,52	3,56
	20-30	47,57	33,40	13,11	1,72	1,61
	170-180	50,79	28,95	12,54	2,52	2,57

Органическое вещество почвы. Большая часть растительного органического вещества сосредоточена на поверхности почв. В то же время значительные количества свежего органического вещества ежегодно образуются в форме корневых систем, 60-70% которых обычно сосредоточено в верхнем 30...50 - сантиметровом слое почвы. Органическое вещество корней составляет от 20-30 до 90% по отношению к общей фитомассе. В составе сухого вещества органических остатков содержатся зольные элементы (от 0,1-3,0 до 5-10 %): калий, кальций, магний, кремний, фосфор, сера, железо и многие другие, в том числе микроэлементы (см. рис. 2.17).

Любая целинная или культурная почва заселена громадным количеством высших и низших организмов, ткани которых представляют собой разнообразные по объему, форме и химическому составу органические вещества. Необходимо различать при этом органическое вещество живущих растений (корни, корневища, стебли), животных, насекомых, грибов, микроорганизмов, органические остатки отмерших растений и животных, прижизненные продукты, выделяемые животными и растительными организмами, а также микроорганизмами. Вся эта масса органического вещества является по существу первоисточником для последующего гумусообразования. Химический состав сухих органических остатков представлен углеводами, белками, лигнином, восками, смолами и другими веществами.

В условиях целины на поверхности почв аккумулируются значительные массы опада отмерших растительных остатков. Так, под пологом леса вес сухой массы «лесной подстилки» составляет 200...400, а иногда и 500...1000 ц/га. В целинной черноземной степи вес «сухого войлока» достигает 100...150 ц/га. Эти массы органического вещества при зольности подстилки 5...10% содержат соответственно до 1000...10000 кг/га минеральных веществ.

Источники органического вещества почв. Основными источниками органического вещества почвы являются отмершие остатки растений в виде надземной и корневой масс. Органические остатки почвенной фауны поступают в меньших количествах. Масштабы поступающих в почву органических остатков растений, их состав, соотношение надземной и корневой масс зависят от состава зональной растительности и местных условий, определяющих ее продуктивность.

Небольшое количество органических остатков поступает в почвы тундры (примерно 1 т/га); затем оно нарастает от северной тайги к южной и далее к лесам лесостепи и травянистой растительности луговых степей. При переходе к степным зонам величина опада снижается из-за сухости климата; в нем возрастает доля корнеопада. В пустынной зоне опад минимальный (1 - 2 т/га);

он вновь резко возрастает, достигая больших количеств, в лесах влажных субтропиков и тропиков (20 т/га и более).

Характер поступления органических остатков в почвенный профиль неодинаков: в лесах основное их количество поступает на поверхность почвы, а в травянистых сообществах значительная часть (от 25-30 до 80-90 %) поступает непосредственно в почву в виде отмерших корней. Различный характер поступления опада имеет важное значение при дальнейших процессах его превращения.

Органическое вещество почвы представлено двумя группами веществ: 1) органическими остатками отмерших организмов (главным образом растений), в разной степени затронутых разложением, и 2) продуктами их гумификации - гумусовыми веществами (гумусом).

Первая группа называется *неспецифической частью гумуса*. Помимо органических остатков в нее входит небольшая часть (10-15%), представленная веществами различных классов органических соединений - белков, углеводов, аминокислот, сахаров, дубильных веществ, ферментов и др.

Гумусовые вещества представляют собой смесь различных по составу и свойствам высокомолекулярных азотсодержащих органических соединений, имеющих общность строения и некоторых свойств. Для гумусовых веществ характерны их кислотная природа, способность к обменному поглощению катионов и к образованию простых и комплексных солей. По отношению к различным растворителям выделяют следующие компоненты гумусовых веществ специфической природы: *гуминовые кислоты, фульвокислоты и гумин*.

Гуминовые кислоты - нерастворимая в воде, минеральных и органических кислотах группа гумусовых веществ; хорошо растворяются в щелочных растворах, образуя растворимые соли гуматы; характеризуются более сложным строением; имеют более высокие молекулярные массы, повышенное содержание углерода. Препараты гуминовых кислот, выделенных из почвы, темноокрашенные (коричневый или черный цвет). Накапливаются на

месте своего образования. Преобладают в черноземах, каштановых почвах, серых лесных, дерновых и некоторых других.

Фульвокислоты - наиболее растворимая группа гумусовых веществ; растворимы в воде, кислотах, слабых растворах щелочей, органических растворителях с образованием растворимых солей – фульватов; менее сложная по строению, с более низкими молекулярными массами по сравнению с гуминовыми кислотами, с высокой миграционной способностью; характеризуются повышенной кислотностью и способностью энергично разрушать минеральную часть почвы; наиболее светлоокрашенная часть гумуса (светло-бурый цвет). Преобладают в подзолистых, дерново-подзолистых, сероземах, красноземах и некоторых почвах тропиков.

Гумин - не экстрагируемая из почвы кислотами и щелочами часть гумуса (нерастворимый остаток после экстракции фульво- и гуминовых кислот); по свойствам близок к гуминовым кислотам. Возможно, трудная растворимость гумина определяется прочностью его связи с минеральной частью почвы.

Органические остатки, поступая в почву или на ее поверхность, подвергаются различным превращениям: механическому измельчению почвенной фауной, физико-химическим и биохимическим изменениям под влиянием микроорганизмов, мезо- и макрофауны почвы. Процессы превращения органических остатков почвенной фауной можно условно объединить в 3 группы: 1) совершающиеся вне клеток живых организмов под влиянием содержащихся в них ферментов; 2) протекающие при участии живущих в почве животных; 3) происходящие под непосредственным влиянием микроорганизмов путем микробного синтеза.

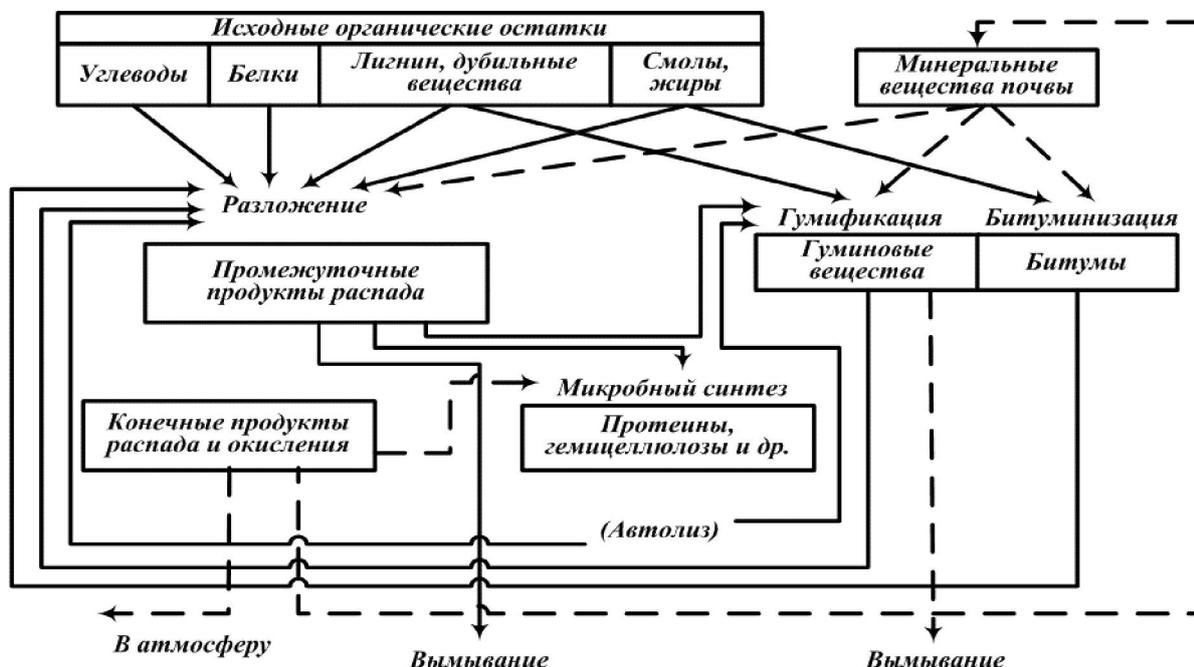
Основными направлениями таких превращений являются *минерализация* органического вещества до конечных продуктов (CO_2 , H_2O и простых солей) и *гумификация*. При определенных условиях (избыток влаги, неблагоприятный состав опада, низкие температуры) можно наблюдать консервацию органических остатков в форме торфа. Кроме того, в процессе превращения органических остатков всегда образуются водорастворимые формы

органических веществ, которые могут иметь важное значение в генезисе некоторых почв (торфяные и др.), в миграции и аккумуляции веществ и других явлениях. Однако и для этих направлений трансформации органических остатков конечными стадиями превращений будут минерализация и гумификация. Образование гумусовых веществ связано с развитием процесса гумификации.

Общая схема гумусообразования представлена на рис. 2.16.

Рис. 2.16

Общая схема гумусообразования в почве (по Н. В. Тюрину) [35]



Обязательным условием гумусообразования является разрушение и измельчение растительной массы и мертвого животного вещества вначале преимущественно позвоночными, а затем беспозвоночными (всегда с участием грибов и бактерий). При этом энергия и часть органогенных элементов удерживаются в малом биологическом круговороте.

Интенсивность и качественная направленность процесса гумификации и накопления образующегося гумуса в почве зависят от количества и качества поступающих в почву органических остатков, гидротермических условий их превращения, биологической активности почвы, физико-химических свойств,

химического, гранулометрического и минералогического составов. В пределах каждого типа почв содержание гумуса тесно связано с гранулометрическим составом: чем он тяжелее и выше количество тонкодисперсных фракций, тем выше процент гумуса.

В настоящее время различают четыре типа разрушения органического вещества, отражающих сочетание совершенно различных условий и последствий [35].

1. *Консервирование* растительных органических остатков в малоизмененном виде с образованием кислотных и стерилизующих веществ в условиях пересыщения водой и крайней бедности фауны, флоры и микроорганизмов (торфообразование).

2. *Гниение* органических веществ в условиях недостаточного притока воздуха (особенно кислорода) и при высокой влажности (анаэробная среда) при участии мезофауны, низших грибов, специфических бактерий (анаэробов). Восстановительные процессы, господствующие в подобной обстановке, сопровождаются образованием токсичных соединений; нитраты восстанавливаются до аммиака и газообразного азота. Эти явления типичны для болотного почвообразования. Они могут возникать и при сезонном переувлажнении почв.

3. *Аэробное* разложение (гумификация) органических веществ, происходящее при благоприятном сочетании условий увлажнения и аэрации позвоночными и беспозвоночными животными, грибами, микроорганизмами. Разложение белков сопровождается аммонификацией и нитрификацией с образованием азотной кислоты и ее солей. Одновременно происходит окисление белковой серы и фосфора с образованием сульфатов и фосфатов. Углерод в большей части окисляется до углекислоты. Минеральные вещества органических остатков переходят в форму простых солей. Однако значительная часть углерода, азота, фосфора, калия и т. д. накапливается при этом в виде гумуса. Процесс аэробной гумификации органических веществ характерен для большинства почв, обладающих высоким природным плодородием и

гумусностью (черноземы, почвы прерий, черные почвы тропиков, луговые, бурые лесные почвы).

4. *Сухое «тление»* органических веществ происходит при почвообразовании в условиях особо сухого климата при большом доступе кислорода, низкой влажности и пониженной активности почвенных организмов. Почвенные животные осуществляют механическое и биохимическое разрушение органического вещества. Грибы и бактерии завершают окислительные процессы с образованием простых окисленных минеральных солей, газов, воды. Накопление гумуса ограничено, поэтому почвы сухих теплых областей обычно малогумусные и светлоокрашенные.

Важнейшим звеном почвообразовательного процесса является ежегодное разложение вновь образованного органического вещества в результате жизнедеятельности животных, грибов и бактерий. Свежие массы органического вещества и почвенный гумус - лишь различные промежуточные стадии в направлении к их полной минерализации. На этих путях постоянно образуются специфические чисто почвенные органические и органоминеральные соединения, гуминовые кислоты и их соли, фульвокислоты и их соли, имеющие различные свойства и значение в почвообразовании.

Скорость процессов минерализации опада и подстилок, состав образующихся при этом органических и минеральных соединений, а также биогеохимическая судьба зависят от типа растительности, условий географической обстановки и характера почвообразовательного процесса.

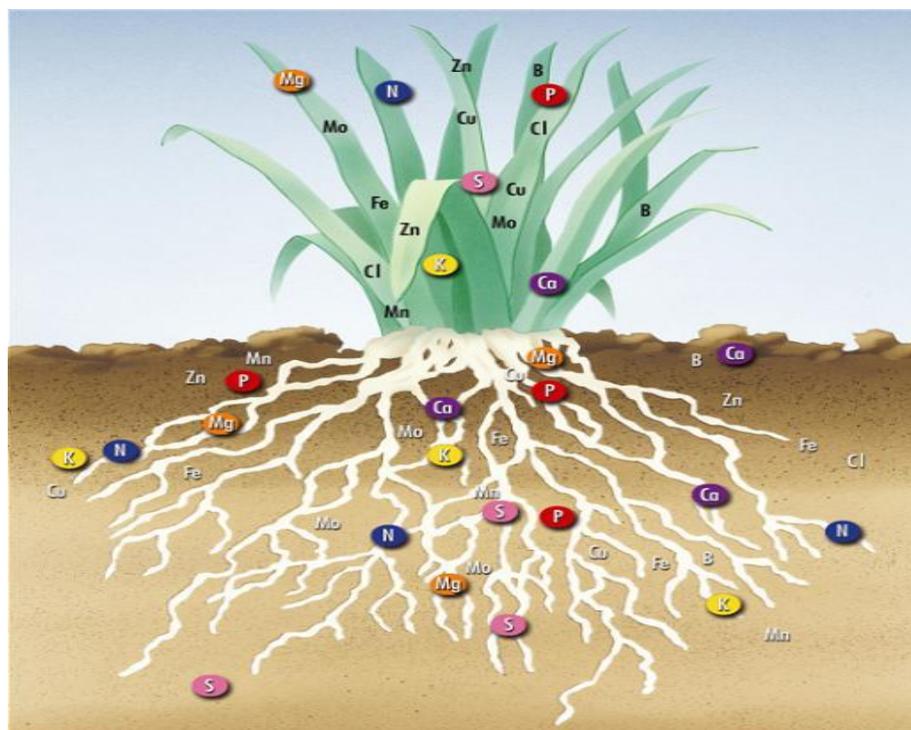
На характер и скорость гумусообразования влияет ряд взаимосвязанных факторов почвообразования: 1) водно-воздушный и тепловой режим почв, 2) состав и характер поступления растительных остатков, 3) видовой состав и интенсивность жизнедеятельности микроорганизмов, 4) механический состав и физико-химические свойства почвы. Наиболее благоприятными для гумусообразования являются оптимальные термический (25-30°C), водно-воздушный (60-80% полной влагоемкости) режим и некоторое периодически повторяющееся иссушение. В зависимости от характера растительности и ее

химического состава, при участии почвенной флоры и микроорганизмов, образуется «мягкий», или *муллевый гумус* (под травянистой растительностью), равномерно пропитывающий минеральную часть, и «грубый», или *модер-гумус* (под древесной растительностью), содержащий много полуразложившихся остатков. Постепенному накоплению и лучшему закреплению на минеральных частицах способствует высокое содержание тонкодисперсных частиц в глинистых и суглинистых почвах и присутствие катионов кальция.

Плодородие почв. Содержание различных форм органического вещества в почвах определяет их плодородие. В формировании питательного режима растений органическое вещество выступает как источник элементов питания, особенно азота. В органическом веществе заключено 98% почвенного азота, около 80% серы и 40-50% фосфора. (рис. 2.17).

Рис. 2.17

Химическая композиция почвенно-растительной системы



Велика роль органического вещества как фактора трансформации элементов питания, т. е. превращения их из одних форм в другие, часто из менее доступных в более доступные. Исключительно велико значение органического вещества в формировании физических и физико-механических

свойств почвы (структура, плотность, пористость и др.). Здесь особенно значима роль гуминовой части органического вещества как важнейшего фактора образования водопрочной структуры. Биологическая активность почвы, численность, состав и активность почвенных организмов, ферментативная активность тесно связаны с содержанием и составом органического вещества. Особенно благоприятно эта функция органического вещества проявляется при поступлении в почву свежих органических остатков, богатых азотом и зольными элементами. Специфическая часть гумуса оказывает определяющее влияние на физико-химические свойства почвы, кроме того органическое вещество выполняет санитарно-защитные функции в почве. Они проявляются в ускорении детоксикации (разложения) пестицидов, закреплении в малоподвижные формы загрязняющих почву веществ в результате сорбции и комплексообразования.

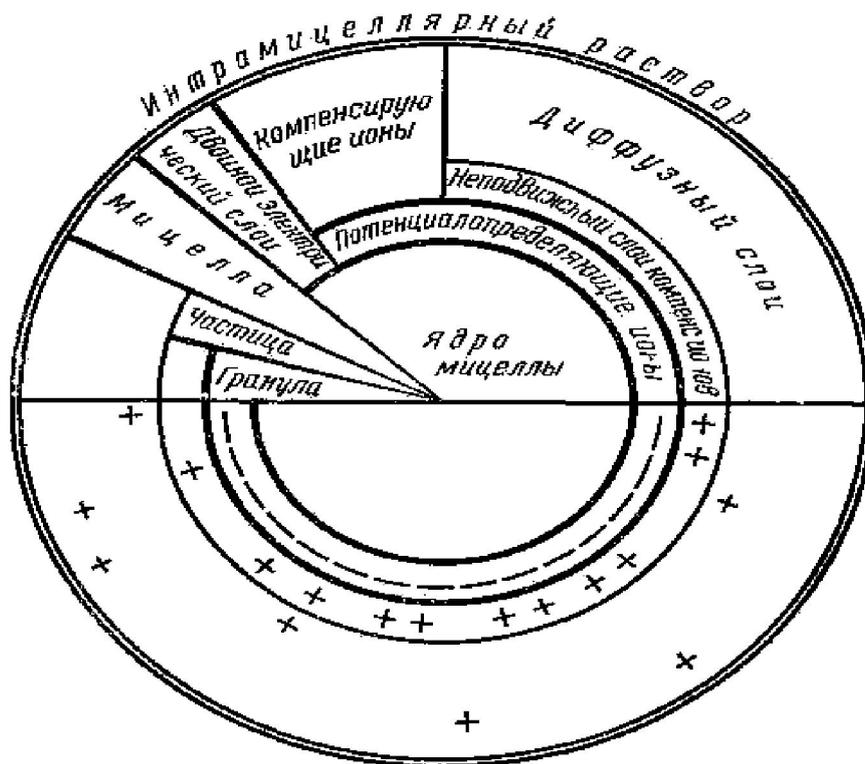
Поглотительная способность почвы. Одним из главнейших свойств почвы является ее поглотительная способность. Являясь полидисперсной системой, состоящей из частиц разной величины, почва способна поглощать газы, пары воды, ряд веществ, растворенных или взмученных в воде, и сами живые организмы. Наиболее дисперсная часть почвы, представленная частицами диаметром от 0,02 до 0,0001 мкм, называется *почвенными коллоидами*. Их количество в почве различно – от 1 - 2 в легких почвах до 30 - 40% в тяжелых. Образуются они путем диспергации (раздробления) более крупных частиц или конденсации многих молекул в агрегаты молекул. Коллоиды представляют собой двухфазные системы и состоят из дисперсной фазы (массы коллоидных частиц) и дисперсионной среды (почвенный раствор). Характерными особенностями почвенных коллоидов являются очень большая суммарная и удельная поверхность и наличие двойного электрического слоя ионов на границе раздела между дисперсной фазой и дисперсионной средой.

Большая суммарная и удельная поверхности обусловлены высокой степенью дисперсности, вследствие чего масса коллоидной частицы относительно невелика по сравнению с ее поверхностью, что определяет

высокую реакционную способность коллоидов. Удельная поверхность частиц глинистых минералов составляет 5...30 м²/г у каолинита, 50...100 м²/г у иллитов и 600...800 м²/г у монтмориллонита и вермикулита. Строение коллоидной частицы обычно представляют в виде *мицеллы* (рис.2.18).

Рис. 2.18

Схема строения коллоидной мицеллы (по Н. И. Горбунову)



Ядро мицеллы состоит из агрегата недиссоциированных молекул того или иного вещества (минерального или органического). На поверхности ядра формируется двойной электрический слой ионов, образующий границу раздела с дисперсионной средой (интрамицеллярным раствором). Этот слой образуется в результате диссоциации внешних молекул самого ядра или вследствие поглощения ионов из дисперсионной среды. Внешний, или диффузный, слой образует рой (облако) ионов, способных к обменным реакциям. В пределах него между неподвижным слоем ионов и дисперсионной средой возникает разность потенциалов вследствие удаления части противоионов к внешней

границе диффузного слоя. Эта разность потенциалов называется ζ -потенциалом (дзета-потенциал) и обуславливает свободный электрический заряд коллоидной частицы. Величина ζ -потенциала колеблется от 0 до 40-60 мВ.

В зависимости от состава ионов в потенциалоопределяющем слое различают *ацидоиды*, *базоиды* и *амфолитоиды*. Ацидоиды это отрицательно заряженные коллоиды, содержащие анионы в потенциалоопределяющем слое, катионы – в диффузном. Базоиды – положительно заряженные коллоиды с катионами в потенциалоопределяющем слое, анионами в диффузном. Амфолитоиды способны менять характер диссоциации молекул двойного электрического слоя и в зависимости от реакции среды вести себя как ацидоиды или как базоиды. В почве основная масса коллоидов является ацидоидами, присутствуют также амфолитоиды, меняющие знак в зависимости от *pH* среды.

По отношению к жидкой фазе коллоиды делятся на гидрофильные, способные поглощать молекулы воды с образованием на поверхности частицы многослойной пленки (гидратация коллоида), и гидрофобные, практически не гидратирующиеся (не смачиваются водой). К гидрофильным коллоидам относятся, например, минералы монтмориллонитовой группы, а к гидрофобным – каолинитовой.

Наличие электрического заряда обуславливает электрокинетические свойства, главнейшими из которых являются *коагуляция* и *пептизация*. Коллоиды могут находиться в 2-х состояниях: золя (коллоидного раствора) и геля (коллоидного осадка). *Коагуляция* – переход коллоида из состояния золя в состояние геля. Коллоиды теряют заряд и происходит слипание в агрегаты. Коагуляция вызывается действием электролитов, ионы которых несут противоположный знак заряда; при взаимодействии двух коллоидных систем, с разноименно заряженными частицами; в результате высушивания или замораживания почвы (происходит дегидратация гидрофильных коллоидов и повышение концентрации электролита в растворе). Наиболее легко коагулируют гидрофобные коллоиды, труднее – гидрофильные из-за наличия

на поверхности водной оболочки. Гели могут быть обратимыми и необратимыми. Коагуляция способствует образованию почвенной структуры, уменьшению связности тяжелых по гранулометрическому составу почв, сохранению от вымывания коллоидов.

Пептизация – переход из состояния геля в золь. Она вызывается восстановлением заряда и повышением ζ -потенциала коллоидной системы. Пептизация почвенных коллоидов происходит при удалении избытка электролита (в случае обратимых гелей) и действии ионов OH^- , которые увеличивают заряд ацидоидов. При пептизации разрушается структура, коллоиды распыляются и приобретают способность к передвижению по почвенному профилю.

Особым явлением представляется процесс *тиксотропии* коллоидов - явление, при котором образующийся из золя гель не отделяется от дисперсионной среды, а застудневает вместе с ней и способен возвращаться в состояние золя при механическом воздействии. Явление тиксотропии широко распространено в почвах и глинистых породах, в том числе распространенных в зоне многолетней мерзлоты. Физическое состояние коллоидов в значительной степени зависит от состава поглощенных катионов. Чем больше валентность поглощенных катионов и больше их заряд, тем меньше электрокинетический потенциал частицы и легче идет процесс коагуляции. К.К. Гедройц расположил все катионы по их коагулирующей способности в следующий ряд:



Коллоиды, насыщенные одновалентными катионами, находятся, в основном, в состоянии золя; при замене одновалентных катионов двух- или трехвалентными они переходят в гель.

Реакция почвы также влияет на состояние коллоидов. Кислая реакция способствует растворению некоторых коллоидов, например, гидроксида алюминия; щелочная реакция стимулирует выпадение в осадок коллоидов полуторных окислов и переход в состояние золя органических и некоторых минеральных коллоидов.

Рассмотренные электрокинетические свойства коллоидов имеют большое значение в почвообразовании, т.к. обуславливают их способность к аккумуляции и передвижению в пределах почвенного профиля и к их участию в формировании аккумулятивных, элювиальных и иллювиальных горизонтов почв.

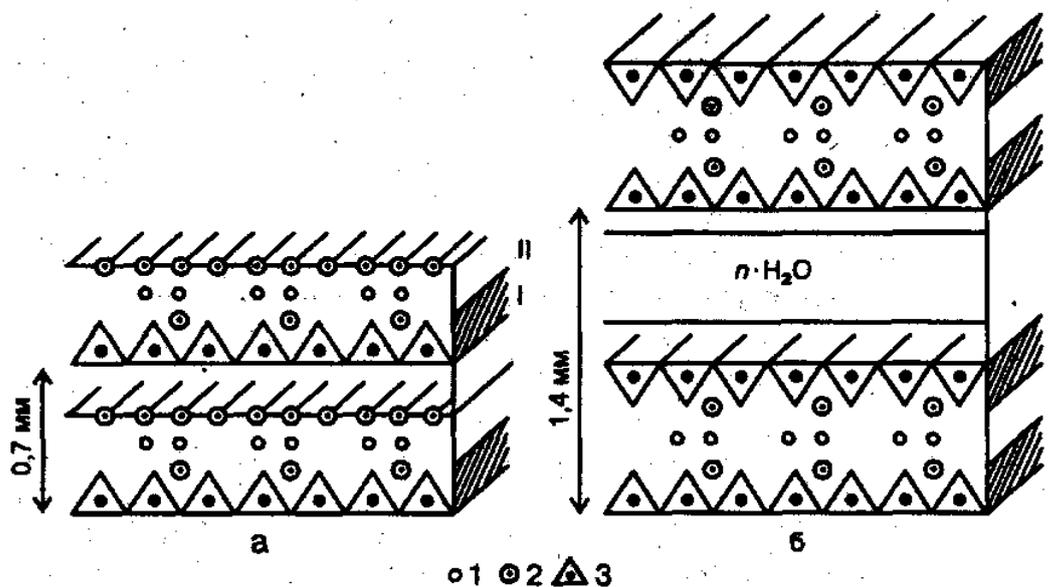
Огромное значение имеют адсорбционные свойства коллоидов – способность поглощать катионы, анионы и целые молекулы находящихся в почвенном растворе веществ.

По составу почвенные коллоиды делятся на *минеральные, органические и органо - минеральные*.

Минеральные коллоиды представлены глинистыми минералами, коллоидными формами кремнезема и полуторных окислов. Все глинистые минералы имеют кристаллическое строение, пластинчатую форму и являются типичными ацидоидами (рис. 2.19).

Рис. 2.19

Схема кристаллохимической структуры каолинита (а) и монтмориллонита (б)



1 - ионы Al^{3+} ; 2 - ионы OH^- ; 3 - кремнекислородные тетраэдры

Присущие глинистым частицам заряды обязаны своим происхождением замещению одних ионов на другие. Особенно большое значение имеет

замещение Si^{4+} на Al^{3+} в тетраэдрах и Al^{3+} на Mg^{2+} в октаэдрах кристаллической решетки. Такие внутримолекулярные замещения ионов в целом являются причиной появления зарядов на плоских поверхностях частиц глинистых минералов, в том числе и на плоских поверхностях частиц глинистых минералов с расширяющейся решеткой (монтмориллонита и вермикулита). В этих минералах около 80% всей емкости приходится на внутреннюю поверхность, т.е. на поверхность элементарных пакетов. У каолинита внутренней поверхности нет, нет и внутренних замещений ионов. Его обменная емкость обусловлена свободными связями на боковых (торцевых) поверхностях пластинок. Здесь ионы обнажаются и часть присущих им связей оказывается свободной, ненасыщенной. Эти свободные связи и компенсируются обменными катионами.

Органические коллоиды представлены в почве прежде всего гумусовыми кислотами и их солями (гуматами, фульватами, алюмо- и железогумусовыми соединениями). Все они являются гидрофильными, легко меняют состояние – пептизируются при действии щелочных растворов и коагулируют под влиянием двух и трехвалентных катионов. В почве находятся в основном в состоянии гелей. Характерная особенность гумусовых веществ – очень высокая емкость обменного поглощения катионов, что обуславливает огромную их роль в поглотительной способности почв.

Органо - минеральные коллоиды широко распространены в верхних горизонтах почв. Они представляют собой комплекс переменного состава из высокодисперсных минералов и гумусовых веществ, покрытых пленками гумусовых кислот, гуматов и фульватов алюмо- и железогумусовых солей. Основные минералы этих коллоидов – монтмориллонит и гидрослюды, а также всегда сопутствующие им в почве полуторные окислы и кремнезем. Формируются эти коллоиды в почве в процессе склеивания (адгезии) гумусовых кислот и их производных с поверхностью минеральной частицы. Органо - минеральные коллоиды являются ацидоидами и характеризуются

относительно высокой емкостью обменного поглощения катионов, величина которой зависит от количества гумусовых веществ.

В любой почве основная масса коллоидов находится в форме гелей, различных по степени гидратации и прочности связи с поверхностью твердых частиц. Одна часть коллоидов находится в почве в свободном состоянии, другая образует пленки на поверхности более крупных гранулометрических фракций и сильно дегидратирована. Первая категория коллоидов легко пептизируется при щелочной реакции и насыщении их диффузного слоя натрием. Вторая очень прочно связана с поверхностью крупных гранулометрических фракций, и их пептизация затруднена.

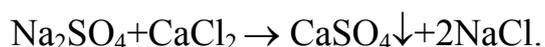
В отношении поглотительной способности почвы различают несколько видов (по К. К. Гедройцу):

1) *механическую* – свойство почвы, как всякого пористого тела задерживать в своей толще твердые частицы крупнее, чем система пор;

2) *физическую* – изменение концентрации молекул растворенного вещества на поверхности твердых частиц почвы; обусловлена наличием на поверхности коллоидных частиц сил притяжения, способствующих сорбированию молекул воды, газов и органических веществ с образованием из них поверхностных пленок;

3) *физико-химическую*, или обменную – способность обменивать некоторую часть катионов, содержащихся в твердой фазе на эквивалентное количество катионов, находящихся в соприкасающемся с нею растворе;

4) *химическую* – способность анионов растворенных солей давать с катионами нерастворимые соли, выпадая в осадок (например, возникновение новообразований гипса)



К таким катионам относятся Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} и отчасти Mg^{2+} .

5) *биологическую* – способность микроорганизмов и растений поглощать из почвенного раствора различные вещества. Носит избирательный характер,

т.к. живые организмы поглощают в первую очередь катионы, необходимые для построения своих тканей. К их числу относятся K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Fe^{3+} .

Совокупность твердых частиц почвы, обладающих абиотической катионной или анионной поглотительной способностью, К.К. Гедройц назвал *почвенным поглощающим комплексом* (ППК). С физической точки зрения, ППК представляет собой совокупность веществ в тонкодисперсном состоянии (коллоиды). В химическом отношении это нерастворимые в воде солеобразные алюмосиликатные, органические и органо - минеральные соединения. Основной сорбент в почве – её тонкодисперсные фракции, в составе которых ведущее значение имеют коллоиды. Крупные фракции почвы практически не обладают обменной поглотительной способностью.

Поглощение и закрепление веществ в твердой фазе почвы происходят различными путями: *сорбцией* – поглощением почвенными коллоидами ионов или молекул веществ, находящихся в растворе (различают ионную и молекулярную сорбцию); *хемосорбцией* – химической сорбцией ионов или молекул растворенного вещества на поверхности коллоидной частицы путем образования нерастворимых соединений; *адгезией* (склеиванием) твердых частиц почвы с сорбированными на их поверхности или выпавшими в осадок минеральными, органическими и органо - минеральными веществами.

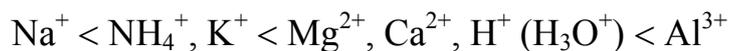
В почвах и глинистых породах при наличии коллоидов неизбежно развиваются сорбционные процессы, т. е. происходит обмен катионов диффузного слоя на эквивалентное количество катионов порового раствора. Основные закономерности этого обмена заключаются в следующем.

1. Обмен происходит в эквивалентных количествах по законам обменных химических реакций.

2. Любой поглощенный катион может быть вытеснен и заменен другим катионом почвенного раствора.

3. Энергия поглощения и вытеснения катионов различна и зависит от величины валентности и атомной массы. Энергия внедрения и вытеснения катионов обусловлена величиной валентности, атомной массой и величиной

гидратационной оболочки. Наиболее распространенные в почве катионы дают следующий ряд:



нарастание внедрения

нарастание вытеснения

У ионов с одинаковой валентностью, чем меньше его радиус, тем в большей степени он гидратирован и тем меньшей энергией поглощения обладает ион. Например, катион натрия обладает меньшей способностью к внедрению, чем катионы аммония и калия. Гидроксоний (H_3O^+), имеющий больший радиус, поглощается почвенными коллоидами сильнее, чем другие одновалентные катионы.

4. Обменное поглощение носит обратимый характер.

5. Скорость обмена обусловлена строением ядер коллоидных частиц, свойствами и строением кристаллических решеток глинистых минералов. Емкость обменного поглощения катионов максимальна среди глинистых минералов группы монтмориллонита и вермикулита вследствие подвижной кристаллической решетки и значительных межпакетных промежутков, в которых также сорбируются катионы. Такой тип поглощения называется интрамицеллярным, для него характерна мгновенная скорость обменной реакции. Минимальная емкость обменного поглощения катионов с замедленной скоростью обмена у минералов группы каолинита, т.к. для него характерно поглощение катионов только на наружной поверхности кристаллической решетки (экстрамицеллярный тип поглощения).

Суммарное количество обменных катионов называется емкостью обменного поглощения катионов (*емкость поглощения почвы*). Выражается в мг-экв на 100 г почвы и характеризует количество коллоидов, их состав и поглонительную способность почвы. Величина емкости обменного поглощения колеблется в зависимости от реакции среды, которая определяет общую величину ζ -потенциала коллоидов.

Емкость обмена рыхлых пород зависит от гранулометрического состава, минерального состава тонкодисперсной фракции, а емкость обмена почв, кроме того, еще и от содержания гумуса. Характерные значения ёмкости обменного поглощения катионов глинистых минералов и почвенных коллоидов приведены в табл. 2.13 и 2.14.

Табл. 2.13

Емкость обменного поглощения катионов глинистых минералов и почвенных коллоидов (при pH7) [3]

Название коллоида	Емкость обмена, мг-экв /100г	Название коллоида	Емкость обмена, мг-экв /100г
Каолинит	3-15	Минеральные коллоиды чернозема	70-90
Монтмориллонит	60-150	Гуминовые кислоты	400-500
Вермикулит	65-145	Органо - минеральные коллоиды чернозема	150-250
Иллит	20-40		

Табл. 2.14

Емкость поглощения различных почв [12]

Почвы	Емкость поглощения, мг-экв/100 г почвы	Характерные поглощенные катионы
Дерново-подзолистые	10-30	Ca, H > Mg
Серые лесные	20-40	Ca > Mg > H
Черноземы	40-60	Ca > Mg
Каштановые	15-30	Ca > Mg > Na
Серо-бурые	10-20	Ca > Mg, Na, K
Красноземы	10-18	H > Mg > Ca

Для плодородия почв большое значение имеет её реакционная характеристика. Она проявляется при взаимодействии почвы с водой или растворами солей и определяется соотношением свободных ионов H^+ и OH^- в почвенном растворе (показатель pH). Реакция почвенного раствора в различных почвах колеблется от pH 3,5 до 8 - 9 и выше. Наиболее кислая реакция у

болотных почв верховых торфяников; у подзолистых и дерново-подзолистых почв - pH 4...6; у черноземов реакция близка к нейтральной. Наиболее щелочная реакция у солончаков, особенно содовых (pH 8 - 9 и выше). Для сельскохозяйственных растений наиболее благоприятна слабокислая или слабощелочная реакция; наименее благоприятна – сильнокислая и особенно сильнощелочная. В кислой среде преобладает грибная микрофлора, в нейтральной и слабощелочной – бактериальная.

Реакция почвы (кислотность, щелочность) в сильнейшей степени зависит от того, какие вещества поглощены ею. Если в ППК поглощены водород или алюминий, реакция будет кислой, если натрий – щелочной; почва, насыщенная кальцием, будет иметь нейтральную реакцию.

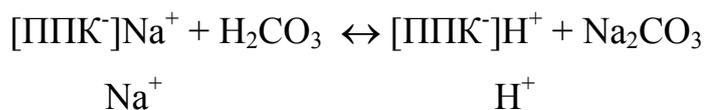
Резко отрицательным свойством почвы является её кислотность, т. к. она угнетает развитие большинства культурных растений, усиливает разрушение минералов почвы, вызывая оподзоливание последней. Кислотность почвы имеет сложную природу. Ее носителем являются обменные катионы H^+ и Al^{3+} почвенных коллоидов. Источником обменного иона H^+ являются органические кислоты, образующиеся при разложении и гумификации органических остатков, а также угольная кислота. Источником обменного Al^{3+} - алюминий кристаллической решетки глинистых минералов.

Для устранения кислотности производят *известкование* почвы. Уменьшению кислотности способствует систематическое применение навоза, торфокомпостов в сочетании с агротехническими приемами окультуривания почв.

Щелочность почв различают актуальную и потенциальную. Актуальная обуславливается наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , $NaHCO_3$, $Ca(HCO_3)_2$ и др.), которые при диссоциации определяют преобладающую концентрацию гидроксил-ионов.

Потенциальная щелочность обнаруживается у почв, содержащих поглощенный натрий. При взаимодействии такой почвы с угольной кислотой,

находящейся в почвенном растворе, происходит накопление соды и подщелачивание раствора:



Щелочность также является крайне неблагоприятным свойством почвы, т.к. угнетает развитие растений и микроорганизмов, усиливает пептизацию почвенных коллоидов и резко ухудшает физические свойства почвы. Избыточную щелочность устраняют гипсованием почвы.

Буферной способностью, или буферностью, называют способность почвы противостоять изменению реакции почвенного раствора. Буферные свойства почвенного раствора связаны главным образом с буферностью твердой фазы почвы, с которой раствор находится в постоянном взаимодействии. Чем выше емкость поглощения почвы, тем больше ее буферная способность. Наиболее высокой буферной способностью характеризуются тяжелые хорошо гумусированные почвы.

Почвы с высокой степенью насыщенности основаниями (черноземы, каштановые, дерновые, перегнойно-карбонатные и др.) обладают высокой буферной способностью против подкисления, а не насыщенные основаниями почвы (подзолистые, красноземы и др.) - против подщелачивания, т.к. все ионы натрия поглощаются в обмен на водород ППК.

В почвах с низкой буферностью (например, песчаных и супесчаных, дерново-подзолистых) рекомендуется увеличивать емкость поглощения для повышения их буферность систематическим внесением больших норм органических удобрений.

Изложенные выше физико-химические особенности почв, связанные с коллоидными свойствами минеральных и органоминеральных частиц, имеют непосредственное отношение к формированию свойств глинистых пород. Из почвоведения установленные закономерности катионного обмена тонкодисперсных фракций были перенесены в соответствующие разделы грунтоведения и использованы в моделях взаимодействия минеральной и

жидкой составляющих всей группы связных глинистых грунтов, о чём было упомянуто выше в настоящей главе (см. с. с. 13 – 16).

Жидкая фаза почвы. Нормальное развитие растений и почвенных микроорганизмов невозможно без достаточного количества влаги. Вода является терморегулирующим фактором, обеспечивает условия протекания химических, физико-химических и биологических процессов, обуславливает физико-механические свойства почв, а также проявление некоторых негативных процессов (эрозия, вынос из верхних слоев питательных элементов). В грунтах и почве вода может находиться во всех трёх своих возможных состояниях – твёрдом (лёд), жидком и парообразном. Категории влаги, отличающиеся по прочности связи с твёрдой минеральной или органоминеральной фазой и по степени её подвижности были рассмотрены выше (см. с. с. 16 – 19). Здесь ещё раз подчеркнём особенности свободной и связанной влаги в жизни почвы и растений.

Свободная влага не связана силами притяжения с почвенными частицами, передвигается под действием капиллярных и гравитационных сил и разделяется на капиллярную и гравитационную. Делится на три формы – *подвешенная, подпертая гравитационная и свободная гравитационная*. Для подвешенной капиллярной влаги характерно отсутствие гидрологической связи с постоянным или временным водоносным горизонтом, подпертая гравитационная (различают капиллярно-подвешенную и капиллярно-подпертую) удерживается из-за близкого залегания грунтовых вод, подпирающих снизу воду в капиллярах и более крупных порах почвы, а свободная гравитационная влага находится преимущественно в крупных порах почвы и передвигается исключительно под влиянием силы тяжести.

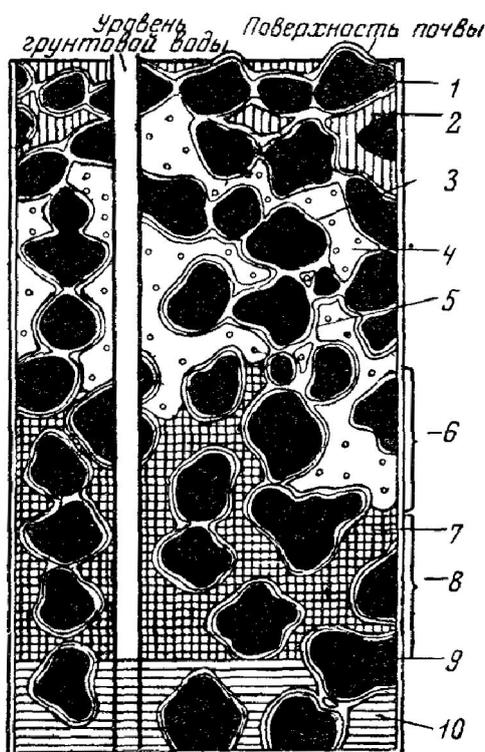
Рыхлосвязанная (пленочная) влага удерживается на поверхности тонких пленок прочносвязанной воды силой диполей воды, а также за счет гидратирующей способности обменных катионов. Образует вокруг почвенных частиц пленку, толщина которой может достигать десятков молекулярных

диаметров воды. Передвигается очень медленно под влиянием сорбционных сил при наличии некоторого градиента влажности.

Прочносвязанная (адсорбционная, гигроскопическая) влага поглощается почвой из водяного пара, весьма прочно удерживается адсорбционными силами, присущими почвенным частицам, образует на поверхности их тонкую пленку толщиной 2...3 молекулы. Может передвигаться лишь в парообразном состоянии. Распределение различных форм влаги показано на рис. 2.20.

Рис. 2.20

Различные формы воды в почве (по Цункеру с добавлениями Качинского) [20]

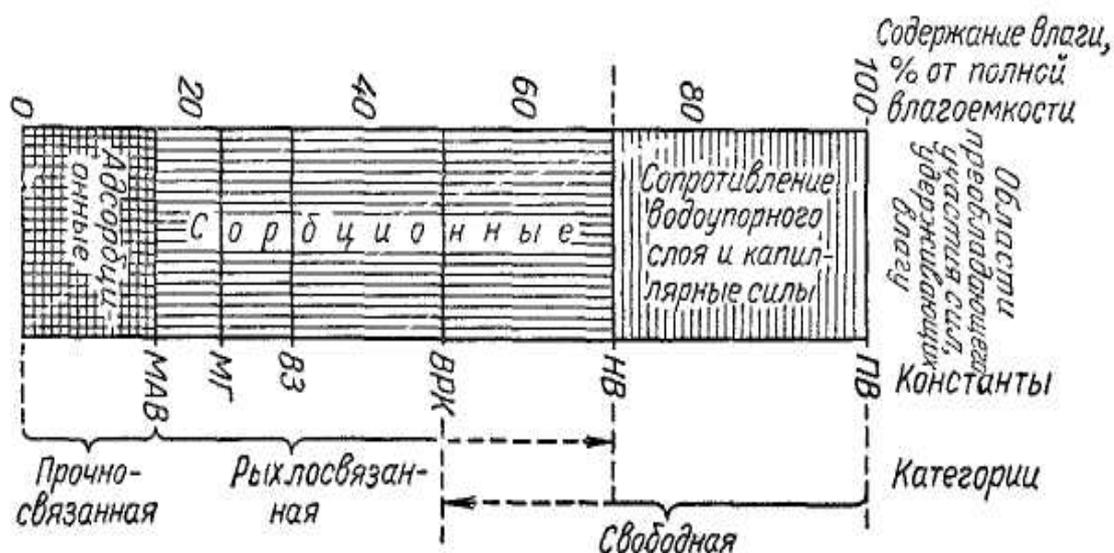


1 – частица почвы; 2 – вода выпавшего дождя, просачивающаяся в почву. Эта свободная вода легко доступна растениям; 3 – вода, прочно связанная почвой, не доступная растениям, или максимальная гигроскопическая вода; 4 – почвенный воздух с парами воды; 5 – вода пленочная, рыхлосвязанная почвой, с трудом доступна растениям; 6 – зона открытой капиллярной воды – вода и воздух заполняют все поры попеременно; 7 – вода капиллярная, легко доступна растениям; 8 – зона замкнутой капиллярной воды – все поры заполнены водой; 9 – уровень грунтовой воды; 10 – грунтовая вода.

Границы значений влажности, характеризующие пределы появления различных категорий и форм почвенной влаги, называются *почвенно-гидрологическими константами*. В агрономической практике величинами почвенно-гидрологических констант характеризуются пределы доступности влаги для растений. Распределение указанных констант вокруг почвенных частиц представлено на схеме (рис. 2.21).

Категории почвенной влаги и почвенно-гидрологические константы

(по А. А. Роде) [39].



Максимальная адсорбционная влагоемкость (МАВ) – наибольшее количество прочносвязанной воды, удерживаемой силами адсорбции; недоступна для растений.

Максимальная гигроскопичность (МГ) – наибольшее количество влаги, которое почва может сорбировать из воздуха, почти насыщенного водяным паром (при относительной влажности воздуха более 94%); влага недоступна растениям.

Почвенная влажность устойчивого завядания растений (ВЗ) – влажность при которой растения начинают обнаруживать признаки завядания, не исчезающие при перемещении в атмосферу, насыщенную водяными парами; нижний предел доступности влаги растениям.

Влажность разрыва капиллярной каймы (ВРК) – влажность почвы, лежащая в интервале между наименьшей влагоемкостью (НВ) и почвенной влажностью устойчивого завядания растений (ВЗ), при которой подвижность подвешенной влаги в процессе иссушения резко уменьшается.

Наименьшая влагоемкость (НВ) – содержание в почве капиллярно-подвешенной воды; может передвигаться к испаряющей поверхности.

Полная влагоемкость (ПВ) – наибольшее количество воды, которое может содержаться в почве при заполнении всех ее пор.

Для развития растений наиболее благоприятна влажность почвы в интервале ВРК-НВ. В интервале НВ-ПВ ухудшается газообмен, и такое увлажнение является избыточным. При влажности почвы, соответствующей величинам в интервале ВРК-ВЗ, влага труднодоступна для растений, и их продуктивность при этом заметно снижается (табл. 2.15).

Формы воды в почвах, их доступность и способ перемещения к корням [5]

Доступность воды растениям	Подвижность и способ передвижения к корням
<i>Продуктивная влага</i>	
<i>От полной влагоемкости (ПВ) до наименьшей влагоемкости (НВ)</i>	
Легкодоступная гравитационная и избыточная при недостатке воздуха	Передвигается к корням свободно в жидком виде, может вытекать из почвы под влиянием силы тяжести
<i>От наименьшей влагоемкости (НВ) до влажности разрыва капилляров (ВРК)</i>	
Средне доступная почвенная влага	Средне подвижная, не течет, прочно удерживается почвой. Поступает к корням в основном по капиллярам и пленкам в жидком виде, может и в виде пара
<i>От влажности разрыва капилляров (ВРК) до влажности завядания (ВЗ)</i>	
Труднодоступная почвенная влага	Трудно подвижная, поступает к корням в форме пара, возможен и пленочный механизм передвижения воды
<i>Непродуктивная влага</i>	
<i>От влажности завядания (ВЗ) до максимальной гигроскопичности (МГ)</i>	
Недоступная или труднодоступная почвенная влага	Слабо подвижная, передвигается только в виде пара, частично поглощается корнями с большой сосущей силой
<i>От максимальной гигроскопичности (МГ) до химически связанной воды</i>	
Недоступная растениям влага	Малоподвижная в виде пара и неподвижная влага

Особенности водного баланса и типы водного режима почв. Водным режимом называется совокупность всех явлений поступления влаги в почву, ее передвижения, удержания в почвенных горизонтах и расхода из почвы.

Основные источники увлажнения почвы – осадки и грунтовые воды. Влага в почве постоянно движется – поглощается растениями, испаряется в воздух, перемещается в глубокие горизонты. Временами наблюдается ее аккумуляция в почве в результате конденсации паров воды, восходящих токов из глубоких горизонтов и других статей водного баланса. Количественным выражением водного режима почв является водный баланс.

Водный баланс рассматривается как итог, учитывающий все статьи прихода и расхода воды за определенный период. Общее уравнение водного баланса:

$$O_c + B_r + B_{пр} = E_{исп} + E_t + B_n + B_{п},$$

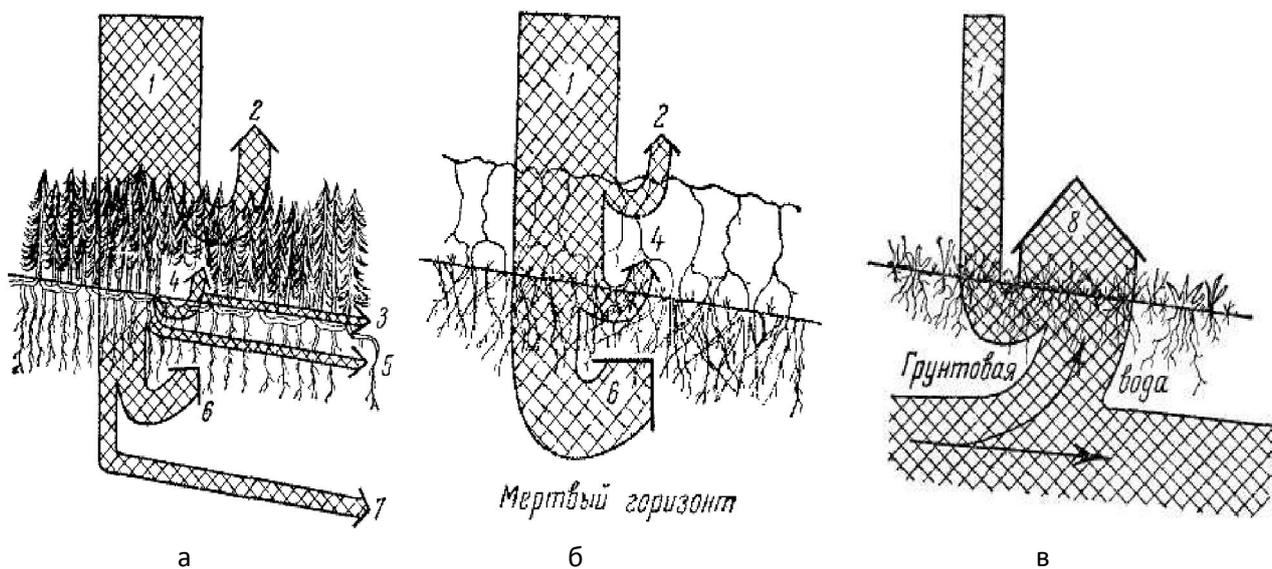
где

O_c – сумма атмосферных осадков; V_r – количество влаги, поступающей из грунтовых вод; $V_{пр}$ – количество влаги, поступающей в результате поверхностного притока воды; $E_{исп}$ – физическое испарение; E_t – транспирация; $V_{и}$ – инфильтрационная влага; $V_{п}$ – поверхностный сток.

В левой части уравнения – приходные статьи, в правой – расходные. В большинстве случаев приход и расход воды в почве равны между собой. Различают несколько типов годового водного баланса (по Н. Г. Высоцкому), представленных на рис. 2.22

Рис. 2.22

Схема влагооборота и составляющих водного баланса для различных типов водного режима (по А. А. Роде) [39]



а – водный режим промывного типа; б – водный режим непромывного типа; в – водный режим выпотного типа. 1 – осадки; 2 - влага, задержанная кронами; 3 – поверхностный сток; 4 – физическое испарение; 5 – внутрипочвенный сток; 6 – влага, потребляемая растениями; 7 – грунтовый сток; 8 – испарение и влага, потребляемая растениями.

Промывной тип водного режима характерен для территорий, где сумма годовых осадков больше величины испаряемости (а). Тогда избыток осадков, принося в глубокие слои вплоть до грунтовых вод, будет превышать поступление грунтовых вод к поверхности почвы. Уравнение водного баланса будет иметь следующий вид: $O_c + V_{пр} > E_{исп} + E_t + V_{п}$. Для промывного типа водного режима коэффициент увлажнения $KУ > 1$. Промывной тип характерен

для большинства почв таежно-лесной зоны, влажных субтропических и некоторых других почв.

Непромывной тип водного режима свойственен областям, где влага осадков распределяется только в верхних горизонтах (обычно не глубже 4 м) и не достигает грунтовых вод. Почвенная влага представлена преимущественно капиллярно-подвешенной формой. Между верхней границей глубоко залегающей капиллярной каймы грунтовых вод и нижней границей капиллярно-подвешенной почвенной влаги залегает толща с влажностью, близкой к влажности завядания. Эта толща названа Г.Н. Высоцким «мертвым горизонтом» (б); обмен влагой в ней происходит путем передвижения воды в форме пара. Тогда уравнение годового водного баланса будет иметь вид: $O_c + V_{пр} = E_{исп} + E_T + V_{п}$, а коэффициент увлажнения $KУ \approx 1$. Непромывной тип водного режима характерен для большинства степных почв (черноземы, каштановые и др.).

Выпотной тип водного режима отличается преобладанием восходящего потока влаги в толще почвы из неглубоко залегающих (до 5...7 м) грунтовых вод. Влага в почвенном профиле находится в капиллярно-подпертом состоянии и сообщается с корнеобитаемым слоем и поверхностью почвы. Испарение превышает сумму осадков, а дефицит влаги погашается потоком грунтовых вод. Уравнение годового водного баланса имеет вид: $O_c + V_{пр} < E_{исп} + E_T + V_{п}$. Для выпотного типа водного режима коэффициент увлажнения $KУ < 1$.

Выпотной тип водного режима характерен для гидроморфных солончаков, пойменных, плавневых и некоторых других почв.

Поддержание плодородия почв неразрывно связано с регулированием водного режима, которое основывается на учете климатических и почвенных условий, а также потребностей в воде выращиваемых культур и осуществляется комплексом приемов, направленных на устранение причин неблагоприятного водоснабжения растений. Оптимальные условия создаются при коэффициенте увлажнения $KУ \approx 1$, что достигается осушением избыточно влажных почв и орошением почв засушливых областей.

В почвах доступная растениям влага передвигается главным образом под действием капиллярных сил. Поэтому, регулируя плотность пахотного слоя и восстанавливая структуру почвы, можно либо сохранить влагу в почве, либо увеличить ее расход путем физического испарения. В зоне неустойчивого увлажнения регулирование водного режима направлено на максимальное накопление влаги в почве и на ее рациональное использование (например, устройство снегозадержания, лесных полос и др.).

Рассматривая проблему питания растений, все формы влаги, сосредоточенные в почве, можно рассматривать как интегрированный почвенный раствор, который является средой для миграции и дифференциации химических элементов в процессе почвообразования. Этот раствор участвует в процессах преобразования минеральных и органических соединений и питания растений.

Состав и концентрация почвенного раствора зависят от характера почвы, материнской породы, растительности, времени года и т.д. и существенно изменяются по генетическим горизонтам одного и того же типа почв. В нем содержатся минеральные, органические и органоминеральные соединения, представленные в виде ионов, молекул и коллоидов. Кроме того, в почвенном растворе присутствуют растворенные газы - кислород, углекислый газ и др.

Основные анионы (HCO_3^- , NO_2^- и NO_3^-) поступают в почвенный раствор преимущественно в результате биологических процессов. Содержание ионов SO_4^{2-} , Cl^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} обусловлено растворением соответствующих минералов и разрушением растительных остатков. Среди катионов в почвенном растворе постоянно находятся в значительном количестве Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , H^+ , в некоторых почвах - Al^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} . Помимо минеральных соединений в почвенном растворе постоянно присутствуют водорастворимые органические соединения: фульвокислоты, аминокислоты, сахара, спирты и др.

Концентрация почвенного раствора обычно невелика и не превышает нескольких граммов вещества на литр. Исключение составляют засоленные почвы, где концентрация может достигать десятков и сотен граммов на литр.

Важнейшими свойствами раствора являются его реакция (кислая, нейтральная или щелочная) и величина осмотического давления. Осмотическое давление раствора определяется количеством частиц (ионов, молекул или коллоидных частиц), находящихся в единице объема раствора. Поэтому растворы, содержащие легкорастворимые соли, обладают высоким осмотическим давлением. В засоленных почвах оно в 3...4 раза выше, чем в незасоленных. Если осмотическое давление почвенного раствора равно или больше, чем клеточного сока растений, то прекращается поступление воды в растение, и оно погибает от физиологической сухости.

Газовая фаза почвы, ее состав и свойства. Наряду с твердым веществом и почвенным раствором важной составляющей почвы является почвенный воздух. Суммарный объем почвенных пор (так называемая «порозность», в отличие от общепринятого понятия пористости в грунтоведении) составляет от 25 до 60% объема почвы. Часть порового пространства, не занятая влагой, заполнена воздухом. Соотношение между почвенным воздухом и водой определяется степенью увлажнения почвы.

Состав почвенного воздуха существенно отличается от атмосферного (табл. 2.16). Объясняется это биологическими процессами, совершающимися в почве. Корни растений, микроорганизмы и почвообитающие животные потребляют кислород и выделяют диоксид углерода (CO₂). Незначительная часть кислорода расходуется на химические процессы окисления. Оптимальные условия для развития растений создаются при содержании кислорода в почвенном воздухе около 20%.

Табл. 2.16

Состав атмосферного и почвенного воздуха [3]

Газы	Атмосфера	Газовая фаза почвы
N ₂	78	78-86
O ₂	21	10-20
CO ₂	0,03	0,1-15
H ₂ O, относительная влажность	Менее 95	Более 95

Углекислый газ имеет большое значение в химическом изменении минеральной части почвы и в накоплении питательных веществ. На протяжении суток почвы нашей страны выделяют от 10 - 20 до 100 кг углекислого газа с 1 гектара. Концентрация CO_2 в почвенном воздухе колеблется обычно от 0,05 до 10 - 12% (реже до 15 - 20%). Оптимальной является концентрация в пределах 0,3...3,0%. Высокое содержание CO_2 может оказывать отрицательное влияние на семена, корни и урожай растений. Однако, при оптимальном содержании кислорода вредное действие углекислого газа проявляется только при высокой его концентрации. Отрицательное действие почвенного воздуха проявляется при содержании кислорода менее 8 - 12% от всего объема, а при содержании кислорода менее 5% большая часть растений гибнет. Велика почвенно-химическая и геохимическая роль диоксида углерода. Вода, насыщенная CO_2 , растворяет многие труднорастворимые соединения – кальцит CaCO_3 , доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, магнезит MgCO_3 , сидерит FeCO_3 . Это вызывает миграцию карбонатов в почвенном профиле и в сопряженных геохимических ландшафтах.

Газы воздуха в почве находятся в нескольких состояниях: свободном (в крупных капиллярных и некапиллярных порах), заземленном (в порах, изолированных водными пробками), адсорбированном (на поверхности частиц) и растворенном (в почвенной воде). Наиболее хорошо растворяются в воде аммиак, сероводород, диоксид углерода. По способности сорбироваться газы располагаются в следующей последовательности: $\text{N}_2 < \text{O}_2 < \text{CO}_2 < \text{NH}_3$ (табл. 2. 17). Более активно, чем газы, частицы почвы поглощают пары воды.

Основными показателями воздушных свойств почвы являются показатели её *воздухоёмкости и воздухопроницаемости*. *Воздухоёмкость* – та часть объема почвы, которая занята воздухом при данной влажности. В сухих почвах она может колебаться в пределах 25...90% от объема почвы. Однако в природных условиях почва всегда содержит влагу, и ее воздухоёмкость ниже указанных пределов. Нормальная аэрация обеспечивается при воздухоёмкости более 15% от объема почвы.

Способность к поглощению почвенного воздуха и его компонентов частицами
твёрдой фазы, см³/100 г при 20°С [31]

Почвенная масса	Воздух	CO ₂	NH ₃
Кварцевый песок	0,75	12	145
Каолин	-	166	197
Гумус	-	1264	24228
Супесь	2,26	-	-
Легкий суглинок	4,93	-	-
Тяжелый суглинок	7,00	-	-
Чернозем	14,40	-	-

Различают *капиллярную воздухоёмкость*, характерную для тяжелосуглинистых, бесструктурных, плотных, набухающих почв, и *некапиллярную*, т.е. воздухоёмкость межагрегатных пор, трещин и камер, достигающую максимальных значений в хорошо структурированных и слабо уплотненных почвах. *Воздухопроницаемость* – способность почвы пропускать через себя воздух. Она зависит от гранулометрического состава почвы, ее оструктурённости, от объема и строения порового пространства. Воздух перемещается по порам, не заполненным водой и не изолированным друг от друга. Крупные поры способствуют лучшей воздухопроницаемости, увеличению в почвенном воздухе содержания кислорода и уменьшению углекислого газа. Наиболее благоприятные условия для воздухопроницаемости создаются в хорошо структурированных почвах. Воздухопроницаемость в естественных условиях изменяется в широких пределах от 0 до 1 л/с и выше.

Между почвенным воздухом и внешней атмосферой существует постоянный газообмен через воздухоносные поры почвы. К факторам, вызывающим аэрацию почвы, относятся следующие:

- 1) атмосферные условия (колебания температур воздуха и атмосферного давления, количество осадков, ветер и пр.);
- 2) физические свойства почвы;

3) физические свойства газов (скорость диффузии, градиенты концентрации газов в почвенном профиле и в атмосфере, способность к сорбции-десорбции и пр.);

4) обменные физико-химические реакции между ППК, почвенным раствором и газовой фазой;

5) поступление влаги в почву с осадками или при орошении. Все указанные факторы газообмена действуют в природных условиях совместно. Однако основным следует признать диффузию, а остальные являются подчиненными.

Газообмен почвы с атмосферой может быть затруднен либо плотным сложением почвы, либо ее избыточной увлажненностью, в результате которой вода занимает не только капилляры, но и макропоры. В этом случае в почвенном воздухе резко уменьшается содержание кислорода, и начинают развиваться анаэробные микробиологические процессы, приводящие к образованию метана, сероводорода, аммиака и других газов. Скорость этих потоков зависит от влажности почвы. При влажности не более величины наименьшей влагоемкости (*НВ*) газообмен совершается свободно, концентрация кислорода в почвенном воздухе близка к концентрации его в атмосфере, а концентрация CO_2 равна примерно от 1,5-2% до 4%. При влажности, превышающей наименьшую влагоемкость, газообмен ухудшается, концентрация CO_2 может увеличиться до 10-15% и более, а содержание O_2 уменьшится до 5-10%. Концентрация двуокиси углерода в почвенном воздухе обычно возрастает сверху вниз. Наибольшей величины она достигает над уровнем грунтовых вод даже при хорошем газообмене.

Сильное влияние на поглощение O_2 и выделение CO_2 почвой оказывает тепловой режим. При увеличении температуры с 5 до 30°C интенсивность поглощения O_2 и выделения CO_2 возрастает в 10 раз. Летом почва поглощает кислорода и выделяет углекислого газа в несколько раз больше, чем ранней весной и поздней осенью.

В почве широко развиты *окислительно-восстановительные процессы*, и в

этом отношении ее можно рассматривать как сложную *окислительно-восстановительную систему*. Окислительные процессы широко развиты при явлениях превращения органического вещества в почве. Гумификация представляет собой в целом процесс окислительный.

Большинство реакций окисления органических веществ почвы относится к группе необратимых. Обратимыми являются реакции окисления и восстановления железа, марганца, азота, кислорода и водорода, серы. Основным окислителем в почве является молекулярный кислород почвенного воздуха и раствора. Поэтому развитие окислительно-восстановительных процессов в почвах тесно связано с условиями их аэрации и зависит от свойств почвы, определяющих газообмен, и, прежде всего влажности. Интенсивность микробиологических процессов в почве непосредственно влияет на развитие окислительно-восстановительных процессов.

Для количественной оценки окислительно-восстановительного состояния почвы используют величину *окислительно-восстановительного потенциала (ОВП)*. Он отражает суммарное воздействие различных окислительно-восстановительных процессов в почве в данный момент. Чем выше концентрация окислителя, тем больше потенциал. Окислительно-восстановительный потенциал по отношению к водороду называют показателем *Eh*, измеряется он в милливольтгах.

Проявление окислительно-восстановительных процессов в почве зависит от генетических свойств ее и от состояния водно-воздушного и температурного режимов. Ухудшение аэрации в результате повышения влажности почвы, ее уплотнения, образования корки и других причин ведет к снижению окислительно-восстановительного потенциала. Наиболее резко он падает в почвах при влажности, близкой к полной влагоемкости. Существенно влияют на окислительно-восстановительные процессы в почве содержание и формы органических веществ. Свежее неразложившееся органическое вещество, богатое белками и растворимыми углеводами, необходимыми для жизнедеятельности микрофлоры, способствует интенсивному развитию

восстановительных процессов в избыточно увлажненной почве.

Величина ОВП в периоды хорошей аэрации в различных почвах колеблется от 350 до 750 мВ. При интенсивном развитии восстановительных процессов величина ОВП падает ниже 200 мВ, в почве развивается оглеение, и накапливаются вредные для жизни растений соединения. Величина ОВП выше 750 мВ соответствует полному *аэриобиозу* в почве, при котором нарушаются процессы питания растений. Для большинства почвенных типов характерна неоднородность окислительно-восстановительного состояния их профиля как по глубине, так и в пределах одного генетического горизонта в отдельных его участках и во времени.

Динамику окислительно-восстановительных процессов определяет сезонная изменчивость водно-воздушного, температурного и микробиологического режимов. Поэтому, под *окислительно-восстановительным режимом почв* следует понимать соотношение окислительно-восстановительных процессов в почвенном профиле в годичном цикле почвообразования.

Различают следующие типы окислительно-восстановительного режима почв:

1) почвы с абсолютным господством окислительной обстановки – автоморфные почвы степей, полупустынь и пустынь (черноземы, каштановые серо-коричневые, сероземы и др.);

2) почвы с господством окислительных условий при возможном проявлении восстановительных процессов в отдельные влажные годы или сезоны (автоморфные почвы таежно-лесной зоны, влажных субтропиков, лиственно-лесной зоны и др.);

3) почвы с контрастным окислительно-восстановительным режимом (полугидроморфные почвы различных зон) и почвы с явлениями временного избыточного увлажнения (подзолистые, дерново-подзолистые, бурые лесные, солоды, солонцы и др.);

4) почвы с устойчивым восстановительным режимом (болотные и

гидроморфные солончаки).

Наиболее изменчивы показатели ОВП в верхних, обогащенных органическим веществом, горизонтах, где наблюдается наибольшее колебание в увлажнении почвы, и интенсивно протекают микробиологические процессы. Нижние, бедные органическим веществом горизонты, обычно характеризуются более высокими показателями ОВП.

Физические, водные и механические свойства почв. Для характеристики указанных свойств обычно используются те же показатели, что и в грунтоведении для различных пород с небольшими изменениями, при этом сохраняется буквенное обозначение и размерность показателей (см. табл. 2.3). Так говорят о плотности почвы, плотности скелета и плотности минеральной части, при этом плотность скелета почв меняется в широких пределах: у минеральных почв она колеблется в пределах от 0,9 до 1,8 г/см³, у болотных – от 0,15 до 0,40 г/см³. Для большинства сельскохозяйственных культур, произрастающих на суглинистых и глинистых почвах, оптимальная величина плотности скелета составляет 1,0 – 1,2 г/см³.

А вот суммарный объем всех пор почвы называется *порозностью* или *скважностью*, что сопоставимо с пористостью минеральных грунтов n (%). В зависимости от величины пор различают капиллярную (диаметр пор от 1 до 0,001 мм и менее) и некапиллярную пористость (диаметр пор более 1 мм). Размер пор находится в тесной зависимости от механического и агрегатного состава: чем легче почва по механическому составу, тем больше размер пор. Сумма всех видов пористости составляет общую пористость почвы. От пористости зависят рыхлость и степень аэрируемости почвы и, следовательно, рост растений. В разных горизонтах минеральных почв пористость изменяется в широких пределах (25...80%), в гумусовых горизонтах обычно составляет 50...60%, в болотных торфяных почвах – 80...90%. Наибольшей порозностью обладают почвы с хорошо выраженной структурой, наименьшая – у песчаных и оглеенных почв. Для сельскохозяйственных культур оптимальной считается пористость 45 - 50%. Самые благоприятные условия увлажнения и

воздухообеспеченности складываются в почвах при соотношении капиллярной и некапиллярной пористости 1:1. В агрономическом отношении важно, чтобы почвы имели наибольшую пористость капилляров, заполненную водой, и одновременно пористость аэрации не менее 15% объема в минеральных и 30-40% в торфяных почвах.

Влажность почв, как и любых горных пород, выражают отношением массы воды, заполняющей поры, к массе сухой почвы или грунта в долях единиц или в процентах от массы сухой почвы или грунта. Для полевых исследований рекомендуется использовать специальную шкалу увлажнения почв. Точно также оценивают физическое состояние почв и грунтов показателями консистенции (пределы Аттерберга), которые приведены в табл. 2.3 (см. выше, с. 21).

Водные свойства почв. В грунтоведении в основном используются показатели водных свойств пород, впервые установленные в почвоведении. *Влагоемкость* – способность почвы вмещать и удерживать определенное количество воды. В зависимости от сил, удерживающих влагу в почве, различают *максимальную адсорбционную, гигроскопическую, молекулярную, капиллярную, наименьшую и полную влагоемкости*.

Полной влагоемкости соответствует полное насыщение почвы водой. Такое состояние увлажнения характерно для залегания грунтовых вод у поверхности, когда на водоупорном слое скапливаются гравитационные воды, заполняя все поры почвы над водоупором или скапливаясь в понижении водоупорного слоя.

Наименьшая влагоемкость (в инженерно-геологической практике она называется *максимальной молекулярной влагоемкостью*) определяет максимальное количество физически связанной пленочной воды, которое может удержать почва на поверхности своих частиц сорбционными силами при ее отжатии из тяжелых почв или свободном гравитационном стоке из почв легкого состава.

Капиллярной влагоемкости соответствует заполнение только капиллярных пор. Так как у тяжелых почв поры преимущественно капиллярные, то для них капиллярная влагоемкость равна или близка полной влагоемкости.

Способность сорбировать парообразную влагу называется *гигроскопичностью*, а поглощенная влага – *гигроскопической*. Когда относительная влажность воздуха приближается к 100%, почва насыщается водой до величины максимальной гигроскопичности. По ее величине определяют влажность завядания растений. Отношение величины влаги завядания к максимальной гигроскопичности дает «коэффициент завядания», который в подавляющем большинстве случаев равняется 1,3...1,5. Наиболее влагоемкими являются гумусированные почвы тяжелого состава.

Водопроницаемость представляет собой способность почвы воспринимать и пропускать через себя воду. При поступлении воды в почву сначала она быстро поглощается (впитывается) в результате образования пленочной и капиллярной форм почвенной влаги. В дальнейшем происходит только процесс фильтрации, в котором принимает участие гравитационная вода. Фильтрация может проявляться лишь при выпадении большого количества осадков, бурном снеготаянии или при орошении большими нормами. Водопроницаемость почв прямо пропорциональна пористости и обратно пропорциональна удельной поверхности почвенных частиц. Она также зависит от формы почвенных пор, механического состава, оструктуренности, температуры воды. На водопроницаемость оказывает большое влияние состав поглощенных оснований почвы. При содержании значительных количеств поглощенного натрия почвы быстро набухают и становятся практически непроницаемыми для воды.

Водоподъемная способность обуславливается капиллярным подъемом воды. Высота подъема, определяемая радиусом капилляра и величиной поверхностного натяжения воды, зависит от структурных особенностей почвы, ее гранулометрического состава, формы зерен, минерального состава и др. С

увеличением дисперсности почв увеличивается водоподъемная способность. Максимальная высота капиллярного подъема для песчаных почв 1,5...2 м, для глинистых – 3...4 м.

Большое практическое значение, кроме высоты капиллярного поднятия, имеет скорость этого процесса. Она в значительной степени зависит от радиуса капилляров почвы, а также от вязкости воды, обуславливаемой ее температурой. Скорость подъема воды по капиллярам находится в обратной пропорциональной зависимости от их диаметра. Соответственно в более грубозернистых почвах и грунтах вода поднимается быстрее, чем в глинистых. Кроме того, по мере поднятия капиллярной влаги скорость передвижения ее уменьшается.

В грунтоведении к физическим и водным свойствам относят и такие качества грунтов как набухание, усадка, липкость, а вот в почвоведении эти свойства склонны относить к механическим.

Набухание – увеличение объема почвы при увлажнении, присуще почвам, содержащим большое количество коллоидов, и объясняется это явление связыванием тонкими частицами почвы молекул воды с увеличением гидратных оболочек. Набухание выражают обычно в долях единиц или в процентах от начального объема образца почвы по приращению его высоты в результате набухания. Набухание почвы тесно связано с наличием и составом глинистых минералов почвы, составом обменных катионов. Как было отмечено выше, наибольшей набухаемостью обладают минералы монтмориллонитовой группы, наименьшей – каолинитовой. Насыщение почв одновалентными основаниями (особенно Na^+) способствует значительному набуханию, тогда как при насыщении двух- и трехвалентными катионами значительного увеличения в объеме при набухании не наблюдается.

Неблагоприятным следствием набухания может быть разделение агрегатов почвы пленками воды, что приводит к разрушению этих образований.

Усадка – сокращение объема почвы при высыхании. Величина усадки обусловлена теми же факторами, что и набухание. Чем больше набухание, тем

сильнее усадка почвы. Ее выражают обычно в долях единиц или в процентах от начального объема почвы. При сильной усадке в почве образуются многочисленные трещины, происходит разрыв корней растений, усиливается физическое испарение влаги.

Липкость – свойство влажной почвы прилипать к другим телам. Величина липкости определяется силой, требующейся для отрыва металлической пластины от влажной почвы. Она проявляется при увлажнении почвы, приближающемся к верхнему пределу влажности. Состав поглощенных оснований почвы в значительной мере определяет липкость почвы: насыщенность почвы кальцием способствует снижению величины прилипания, тогда как с возрастанием насыщенности натрием она резко увеличивается.

Собственно, к механическим свойствам почв следует относить *связность, твёрдость и сопротивление резанию*.

Связность – способность почвы сопротивляться внешнему усилию, стремящемуся разъединить почвенные частицы. Вызывается она силами сцепления между частицами почвы и обусловлена механическим и минералогическим составом, структурным состоянием почвы, влажностью и характером ее сельскохозяйственного использования. Наибольшей связностью характеризуются глинистые почвы, наименьшей – песчаные. Слабо структурированные почвы в сухом состоянии имеют максимальную связность.

Твердость – сопротивление, которое оказывает почва проникновению в нее под давлением какого-либо тела (шара, конуса, цилиндра и т.п.). Высокая твердость – признак плохих физико-химических и агрофизических свойств почвы, когда почва плохо пропускает влагу и воздух, растения плохо развиваются. Твердость почвы зависит от ее увлажнения, структурности, количества гумуса, механического состава.

Удельное сопротивление – усилие, затрачиваемое на подрезание пласта, его оборот и трение о рабочую поверхность. В зависимости от механического состава, физико-химических свойств, влажности и агрохозяйственного состояния удельное сопротивление изменяется в пределах от 0,02 до 0,12 МПа.

Наименьшим удельным сопротивлением характеризуются не насыщенные основаниями почвы легкого механического состава (супесчаные и песчаные), самым большим – тяжелосуглинистые и глинистые почвы солонцового типа. Существенное влияние на удельное сопротивление оказывает увлажнение почвы.

Очень важной характеристикой почв являются её *тепловые свойства* и соответственно *тепловой режим*, устанавливающийся в почвенном слое. Тепловой режим в значительной мере определяет интенсивность механических, геохимических и биохимических процессов, протекающих в почве. Под *тепловым (температурным) режимом почвы* понимают совокупность всех явлений поступления, передвижения и отдачи тепла в системе приземный слой воздуха – почва - почвообразующая порода. Основным показателем теплового режима, играющего большую роль в почвообразовании, является температура, которая определяет скорость химических реакций, растворимость газов, пептизацию и коагуляцию коллоидов, реакции сорбции и десорбции, микробиологическую активность, скорость выветривания горных пород и пр.

Разность между солнечной радиацией, поглощенной поверхностью, и эффективным излучением называется *радиационным (тепловым) балансом* [34]. Тепловой баланс можно представить в следующем виде: $R = Q_1 + Q_2 + Q_3$. Поступающее количество энергии (R) расходуется на нагревание (теплообмен) почвы (Q_1), отдачу теплоты в атмосферу (Q_2) и испарение и конденсацию воды (Q_3). В среднем годовом цикле тепловой баланс равен нулю, т.к. не происходит нарастающего разогревания почвы и ее охлаждения.

В связи с различной интенсивностью поступления лучистой энергии к поверхности почвы различают годовой и суточный ход ее температуры с минимумами и максимумами в различные месяцы и время суток.

Тепловой режим почв обуславливается их географическим положением, с которым связано поступление лучистой энергии к поверхности почвы, и проявлением основных тепловых свойств, оказывающих непосредственное влияние на развитие растений, особенно корневой системы. Рельеф, в

частности экспозиция склонов и их крутизна, определяют степень прогрева почв. Растительность и снеговой покров уменьшают колебания температур в верхнем слое почвы, препятствуют глубокому ее промерзанию и потере тепла. Благодаря задержанию растительностью солнечной радиации и под влиянием транспирации температура почвы летом может быть ниже, чем температура воздуха. Зимой температура почвы под лесом несколько выше, а глубина промерзания меньше, чем на полях. Механический состав и соответствующее ему увлажнение за счет различных форм физически связанной влаги обуславливают быстрое замерзание песков и медленное нагревание глинистых почв весной. Тёмноцветные почвы, содержащие много гумуса, нагреваются лучше, чем светлоокрашенные. Регулируют тепловой режим почв разными приёмами: агротехническими (уплотнение верхнего слоя, гребневание, оставление стерни, мульчирование), агрометеорологическими (орошение, осушение, посадка лесных полос и др.), агрометеорологическими (укрытия от заморозков созданием дымовых завес, солнцезащитные мероприятия и т.д.).

Теплопоглощательная способность проявляется в поглощении почвой лучистой энергии Солнца. Ее обычно характеризуют величиной альбедо (A), которая показывает, какую часть, в процентах от общей величины поступающей солнечной энергии, отражает почва. Альбедо зависит от цвета почвы, определяемого ее гумусированностью, структурного состояния, гранулометрического состава, влажности, выравненности поверхности, от особенностей растительного покрова. В таблице 2.18 приводятся значения альбедо для различных почв и растительных покровов [34].

Объект исследований	A, %	Объект исследований	A, %
Чернозём сухой	14	Пшеница яровая	10-25
Чернозём влажный	8	Пшеница озимая	16-23
Серозем сухой	25-30	Травы зеленые	26
Серозём влажный	10-12	Травы высушенные	19
Глина сухая	23	Хлопчатник	20-22
Глина влажная	16	Рис	12
Песок белый и желтый	34-40	Картофель	19

Под *теплоемкостью* (С) понимают количество теплоты, необходимое для нагревания на 1°С 1 г почвы (удельная теплоемкость) или 1см³ почвы (объемная теплоемкость). Теплоемкость зависит от минерального, механического состава, влажности и пористости почвы, а также от содержания в ней органического вещества и гидрофильности коллоидов.

Теплоемкости твердой, жидкой и газовой частей почвы отличаются друг от друга. Удельная теплоемкость компонентов почв (минеральной части, воды, газа и органической составляющей) изменяется в сравнительно узких диапазонах, Дж/(г·град): $C_m=0,7...0,88$, $C_v=4,19$; $C_r=1,02$; $C_{торф}=0,8...2,1$. По мере повышения влажности теплоемкость почв возрастает. Глинистые почвы, как более влагоемкие, весной медленно прогреваются, поэтому называются «холодными», а легкие (песчаные, супесчаные) – «теплыми».

Теплопроводность почвы (λ) – способность ее проводить тепло. В почве тепло передается различными путями: при контакте частиц между собой; излучением от частицы к частице; конвекционной передачей тепла через газ или жидкость.

На величину теплопроводности влияют: плотность (рыхлая почва имеет более низкий коэффициент теплопроводности, чем плотная); влажность; содержание воздуха; температура почвы (с повышением температуры увеличивается теплопроводность почвенного воздуха и почвы в целом). Теплопроводность почв при прочих равных условиях уменьшается с

увеличением дисперсности. Увлажнение почвы существенно увеличивает величину λ , т.к. низко теплопроводный воздух заменяется более теплопроводной водой. Значения теплопроводности составных частей почвы приводятся в табл. 2.19 [Вт/(м·град)].

Табл. 2.19

Вещество		Теплопроводность	Вещество		Теплопроводность
Воздух	0°C	0,024	Пески	сухие	0,3-0,35
	-23°C	0,022		влажноссыщенные	1,7-2,6
Вода	+4,1°C	0,54	Суглинки лессовидные	сухие	0,19-0,22
	+20°C	0,60		влажноссыщенные	0,6-1,0
Торфа	сухие	0,012-0,14	Глины	сухие	0,8-1,0
	влажноссыщенные	0,7-0,9		влажноссыщенные	1,2-1,4

Структура почвы. Для понимания свойств почв очень важна их морфологическая характеристика, выражающаяся в её структурности. Способность почвы распадаться на отдельные или агрегаты является структурностью, при этом необходимо различать понятие о структуре как характерном её морфологическом признаке от понятия структуры в агрономическом смысле. В морфогенетическом плане понятие структуры включает размеры, форму и организацию твердых компонентов почв и пор между ними. Поскольку структура почвы зависит от характера почвообразования, отдельным типам и генетическим горизонтам почвы соответствует определенная структура. Структурные отдельные подразделяются на три основных типа: *кубовидный, призмовидный и плитовидный*. Важное значение для характеристики структуры имеет величина отдельных [40]. Характеристика структур почвы приведена в табл. 2.20.

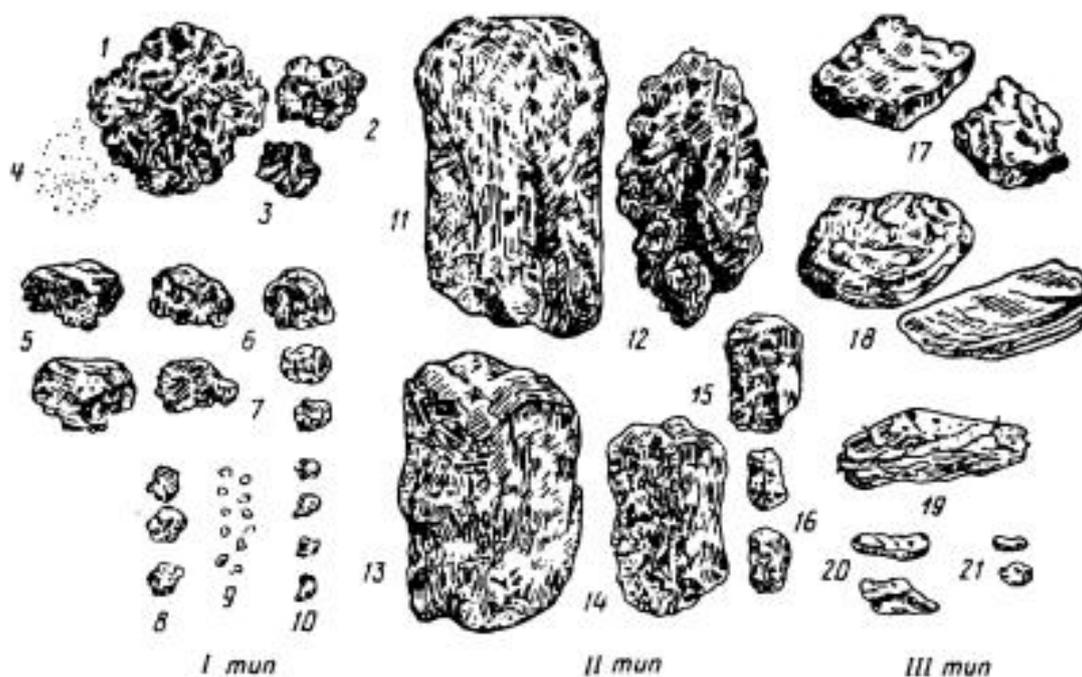
Морфологическая классификация структур почв (по С.А. Захарову)

Наименование структуры		Характеристика	Поперечный размер отдельностей, см
I. Кубовидный тип структуры			
1	глыбистая	грани и ребра плохо выражены	> 5
2	комковатая		0,05-5,0
3	ореховая	грани и ребра хорошо выражены	0,7-2,0
4	зернистая		0,05-0,7
5	пылеватая		0,05 мм
II. Призмовидный тип структуры			
6	столбчатая	гладкие боковые грани, округлая верхняя поверхность	3-5 и более
7	призматическая	гладкие, часто глянцеватые грани и острые ребра	1-5
III. Плитовидный тип структуры			
8	плитчатая	отдельности представлены тонкими плиточками различной плотности и окраски	3-5
9	пластинчатая	тонкие, не выдержанные по простиранию пластиночки, более тонкие к краям	1-3
10	листоватая		тоньше 1 мм

Наглядные представления о структурных элементах почв даёт рис. 2.23

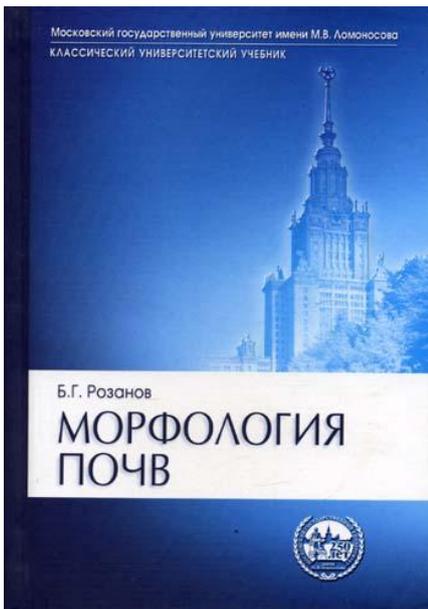
Рис. 2.23

Типичные структурные элементы почв (по С. А. Захарову)



I тип: 1 — крупнокомковатая; 2 — среднекомковатая; 3 — мелкокомковатая; 4 — пылеватая; 5 — крупноореховатая; 6 — ореховатая; 7 — мелкоореховатая; 8 — крупнозернистая; 9 — зернистая; 10 — порошистая; II тип: 11 — столбчатая; 12 — столбчатовидная; 13 — крупнопризматическая; 14 — призматическая; 15 — мелкопризматическая; 16 — тонкопризматическая; III тип: 17 — сланцеватая; 18 — пластинчатая; 19 — листоватая; 20 — грубочешуйчатая; 21 — мелкочешуйчатая

Наиболее полно морфология почв рассмотрена в книге Б. Г. Розанова [40].



С агрономической позиции, согласно Н.А. Качинскому [20], совокупность агрегатов различной величины, формы, порозности, механической прочности, водопрочности и качественного состава представляет почвенную структуру в целом. Совокупность механических элементов, взаимодерживающихся в силу коагуляции коллоидов, склеивания, слипания их в результате сил Ван-дер-Ваальса, остаточных валентностей и водородных связей, адсорбционных

и капиллярных явлений в жидкой фазе, а также с помощью корневых тяжей и гифов грибов является агрегатами или структурными отдельностями. По И.С. Кауричеву [30], почва считается структурной, если комковато-зернистые агрегаты размером от 10 до 0,25 мм составляют более 55%.

Наиболее агрономически ценными являются микроагрегаты размером 0,25-10 мм, обладающие высокой пористостью (>45%), механической прочностью и водопрочностью. Структура почвы может быть хорошо или слабо выраженной в зависимости от механического состава, возраста и интенсивности почвообразования. В песчаных и супесчаных почвах механические элементы обычно находятся в раздельном состоянии; суглинистые и глинистые почвы могут быть структурными и бесструктурными.

В структурных почвах отмечается благоприятное сочетание капиллярной

(внутри комка) и некапиллярной (между и внутри агрегатов) пористости. Воздух содержится между агрегатами и в порах аэрации внутри комка. Наличие некапиллярных пор предохраняет почву от испарения влаги с поверхности. Хороший воздухообмен способствует развитию окислительных и микробиологических процессов, благоприятному питательному режиму. Рыхлое сложение почвы облегчает прорастание семян и распространение корней растений, уменьшаются энергетические затраты на механическую обработку почвы.

В бесструктурных почвах механические элементы лежат плотно, поэтому в них образуются в основном капиллярные поры. Вода поглощается медленно, значительная часть ее может теряться вследствие поверхностного стока и испарения. При избыточном увлажнении все промежутки заполнены водой, воздух отсутствует, развиваются анаэробные процессы и неблагоприятный питательный режим. Повышается удельное сопротивление при обработке, ухудшается развитие корней растений.

Структура оказывает положительное влияние на физико-механические свойства (пористость, плотность, связность, удельное сопротивление при обработке) и режимы (водный, воздушный, тепловой, окислительно-восстановительный, микробиологический и питательный) почв. Важна структурность в их противозерозионной устойчивости. При формировании макроструктуры почвы под совокупным воздействием физико-механических, физико-химических, химических и биологических факторов происходит механическое разделение ее на агрегаты (комки) и образование прочных, не размываемых водой отдельностей.

Физико-механические (и физические) факторы обуславливают процесс крошения почвенной массы под влиянием давления или механического воздействия (переменное высушивание и увлажнение, замерзание и оттаивание воды в почве, нагревание и охлаждение, набухание и усыхание, давление корней растений, деятельность роющих животных и человека). Под влиянием физико-химических факторов (коагуляция и цементирующее воздействие

почвенных коллоидов) агрегаты приобретают водопрочность. Необратимо коагулирующими элементами в почве являются двух- и трехвалентные катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} . При наличии одновалентных катионов, таких как Na^+ , необратимой коагуляции не происходит и прочной структуры не образуется. Наиболее прочно скрепляющими веществами являются органические коллоиды, в частности гуматы кальция, которые в присутствии минералов глин (групп монтмориллонита и гидрослюд) и минералов гидроокисей железа и алюминия образуют водопрочную структуру. Чем больше почва содержит глинистых частиц, тем прочнее ее структурные отдельности. Образование водопрочных микроагрегатов может быть связано с различными причинами: в почвах степного и аридного почвообразования - с наличием гуматов кальция, карбонатностью почв; в более гумидных почвах - с присутствием полуторных оксидов.

Химические факторы способствуют образованию труднорастворимых химических соединений (углекислого кальция, гидроокиси железа, силикатов магния и др.). Так, при временном избыточном увлажнении может проявиться структурирующая роль соединений железа.

Основная роль принадлежит биологическим факторам – растительности и почвенным организмам. Наиболее сильное структурное влияние оказывают многолетняя травянистая растительность, деятельность дождевых червей и микроорганизмов.

Структура почвы динамична. Она разрушается и восстанавливается под влиянием различных факторов. Управление ими позволяет поддерживать почву в необходимом структурном состоянии.

Плодородие почвы

От бесплодной горной породы почву отличает и выделяет в самостоятельное природное тело ее плодородие, или способность обеспечивать нормальный рост и развитие естественных и культурных растений. Плодородие - это природное свойство всякой почвы в той или иной степени обеспечивать

растения в течение их роста и развития пищей, водой, воздухом и другими условиями.

Плодородие бывает естественное (природное) и искусственное. Плодородие естественное складывается в процессе формирования почв под влиянием факторов почвообразования и оценивается продуктивностью естественной растительности. Естественное плодородие встречается лишь у целинных почв и у почв, освобожденных из-под леса. Плодородие обрабатываемых почв измеряется урожаем сельскохозяйственных растений и в значительной мере определяется уровнем сельскохозяйственного производства: умением нейтрализовать вредные химические свойства данной почвы и создать оптимальный водный и воздушный режим, возможностью использовать минеральные, органические и бактериальные удобрения, степенью механизации сельскохозяйственного производства.

Окультуренная почва практически обладает искусственным плодородием, но в ней всегда остается и естественное плодородие, которое обуславливается природными свойствами почвы. Совместное проявление естественного и искусственного плодородия определяет эффективное (экономическое) плодородие. В составе экономического плодородия различают его эффективную (возможности естественного и искусственного плодородия, которые реализуются в урожае данного года) и потенциальную (то, что остается для последующих урожаев) части. Приемы окультуривания почв направлены, с одной стороны, на повышение урожаев, а с другой – на улучшение агрономических свойств самих почв. Поэтому в условиях интенсивного земледелия важнейшая задача рационального использования почвы - повышение урожайности не только в данном году (эффективное плодородие), но и сохранение плодородия почвы на будущее (потенциальное плодородие).

В обыденной жизни под плодородием обычно понимают почву, благоприятную для определенных культурных растений. В действительности неплодородных почв нет, так как плодородие является неотъемлемым

свойством почвы. Любая почва плодородна по отношению к тем растениям, которые на ней хорошо развиваются. Например, сероземы весьма плодородны для хлопчатка, но неплодородны для картофеля; дерново-подзолистые почвы плодородны для картофеля и неблагоприятны для пшеницы и т.д.

Нормальное развитие растений возможно в условиях обеспеченности их элементами питания и водой в доступной форме, необходимым для жизнедеятельности количеством кислорода, благоприятной структурой почвенной массы и при отсутствии вредных соединений.

В качестве основных элементов питания растения поглощают из почвы азот, фосфор, калий, магний, железо, серу (см. рис. 2.16). При этом для растений имеет значение не все количество химических элементов, содержащихся в почве, но лишь те формы, которые становятся доступными в результате микробиологической деятельности и растворения их водой.

Для обеспечения нормального развития культурных растений и, следовательно, получения достаточных урожаев следует некоторые элементы питания в усвояемой форме вносить в почву дополнительно, в виде органических, минеральных и бактериальных удобрений. Эта необходимость обуславливается еще и тем, что ежегодно с урожаем из почвы удаляется часть химических элементов, необходимых для нормального развития растений. Применяя удобрения, человек активно влияет на биологический круговорот веществ, направляя и корректируя его в своих целях. Опыт показал, что в районах с достаточно активным атмосферным увлажнением применение химических удобрений в сочетании с другими приемами позволяет увеличивать продуктивность почв в несколько раз.

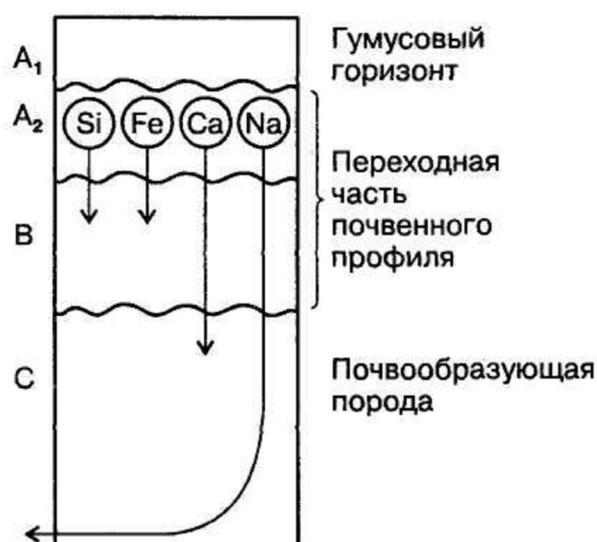
С развитием науки и технологии земледелия искусственное плодородие будет прогрессивно повышаться. Таким образом, эффективное плодородие обусловлено развитием человеческого общества, развитием его производительных сил и производственных отношений. По этой причине плодородие почв и продуктивность земледелия возрастали на протяжении исторического времени.

Заканчивая характеристику процессов формирования почв, их состава и свойств, необходимо подчеркнуть важность морфологического подхода к типизации почв. С учётом почвенной структуры, новообразований, окраски и различных включений можно говорить об обобщённом морфологическом почвенном профиле, который отражает закономерное изменение почвенной толщи сверху вниз и разделение ее на генетические горизонты. Генетические горизонты обособляются постепенно в процессе формирования почвы, но даже в окончательно сформированных почвах горизонты, как правило, не имеют резкой границы и постепенно переходят один в другой. Этим они отличаются от осадочных слоев, отделяющихся друг от друга четкой границей. В различных типах почв генетические горизонты будут существенно отличаться, однако в самом первом приближении можно выделить следующие два типа строения почвенного профиля.

Первый тип строения почвенного профиля характерен для *автоморфных почв*, формирование которых происходит в условиях хорошо дренируемых водоразделов, с относительно глубоким положением грунтовых вод. Эти почвы формируются под влиянием атмосферной влаги, систематически нисходящие токи которой обуславливают закономерное перемещение химических элементов сверху вниз. Режим почвенной влаги в этих условиях может быть, как промывным, так и непромывным. Формирование профиля автоморфных почв схематично изображено на рис. 2.24.

Рис. 2.24

Схема формирования генетических горизонтов профиля автоморфных почв [34, 35]



Для почвенного профиля этого типа характерны следующие основных генетические горизонты.

1. В *перегнойно-аккумулятивной части профиля*, обозначаемой обычно буквой A , совершается преобразование отмершего органического вещества и происходит систематическое накопление почвенного перегноя. Одновременно имеет место аккумуляция зольных элементов, необходимых для нормального питания растений.

В *перегнойно-аккумулятивной части профиля* преобладают процессы накопления; однако часть химических элементов в виде подвижных как органических, так и неорганических соединений выносятся за пределы гумусового горизонта A_1 . Цвет аккумулятивной части профиля более или менее темный от содержания органических соединений, мощность меняется в различных почвах от нескольких сантиметров почти до метра. На поверхности почвы часто накапливаются слабо измененные растительные остатки, образуя лесную подстилку или степной войлок, которые обозначаются A_0 , или торфяной горизонт A_m .

2. Переходная часть профиля ($A_2 + B$) представляет постепенный переход от гумусового горизонта к почвообразующей породе. В пределах переходной части профиля совершаются различные, часто противоположно направленные процессы.

Явления вымывания характерны для верхнего горизонта переходной части профиля. В некоторых почвах они выражены необычайно сильно (например, в подзолистых почвах). В этом случае обособляется самостоятельный горизонт вымывания, откуда вынесены все более или менее подвижные соединения. результате действия слабокислых растворов выносятся менее растворимые соли (сульфаты кальция, карбонаты). В случае сильнокислых почв (рН почвенного раствора около 5 и ниже) за пределы

горизонта вымывания также выносятся оксиды железа и марганца. Кроме того, в результате движения гравитационных вод перемещаются тонкодисперсные частицы. Вследствие этого горизонт вымывания приобретает белесую окраску, напоминающую цвет золы, и резко выделяется на почвенном профиле. Горизонт вымывания принято обозначать символом A_2 .

В нижней половине переходной части профиля преобладают явления вымывания химических элементов и мелких частиц, которые были вымыты из верхней части почвенной толщи. Глубина перемещения частиц и соединений в разных условиях довольно значительно отличается, однако, более растворимые соединения мигрируют глубже, чем менее растворимые. Горизонт вымывания (*иллювиальный*) четко выделяется в почвенном профиле более темной окраской и большей плотностью. Он обозначается символом B . Этим же символом обозначается весь переходный горизонт в тех почвах, в которых не происходит обособления горизонтов вымывания и иллювиального.

3. Ниже переходной части профиля залегает почвообразующая порода, обозначаемая буквой C . Следует отметить, что верхняя часть горизонта C несет следы почвообразования в виде соединений, привнесенных сюда на верхней части почвенного профиля.

4. В том случае, когда почвообразующая порода имеет небольшую мощность и в обнажении или в шурфе вскрывается порода, подстилающая почвообразующую, то она называется почвоподстилающей и обозначается символом D .

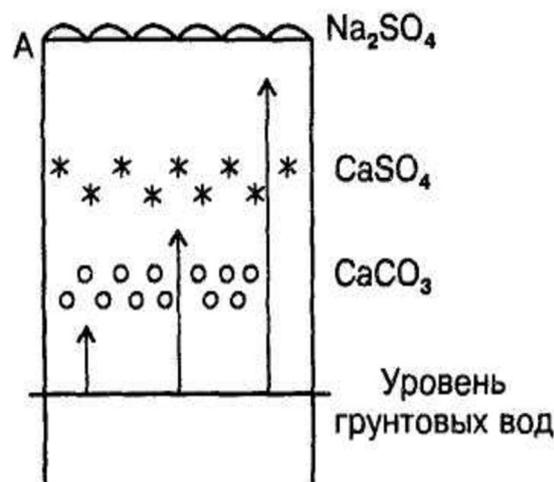
Иным типом строения профиля обладают *гидроморфные почвы*. В этом случае процесс почвообразования протекает под воздействием близко расположенных грунтовых вод, которые периодически или постоянно обогащают почвенную толщу определенными химическими элементами и создают специфическую геохимическую обстановку. Режим почвенной влаги в этих условиях соответствует выпотному или застойному.

При восходящем движении грунтовых вод и их капиллярном поднятии более растворимые соединения выпадают в осадок близко к поверхности или

располагаются непосредственно на ней. Поэтому почвенный профиль гидроморфных почв состоит, во-первых, из более или менее выраженной перегнойно-аккумулятивной части и, во-вторых, из системы минерально-аккумулятивных горизонтов, каждый из которых называется по слагающему его соединению (рис. 2.25).

Рис. 2 25

Схема формирования генетических горизонтов профиля гидроморфных почв [34,35]



На рис. 2.24 выделяются (снизу-вверх) карбонатный, гипсовый и сульфатно-натриевый горизонты.

Помимо двух основных типов строения почвенного профиля - автоморфного и гидроморфного, в природе встречаются многочисленные случаи переходного строения профиля почвы. Это объясняется сменой условий автоморфного и гидроморфного почвообразования.

При более детальном изучении строения почвенного профиля внутри основных генетических горизонтов выделяют характерные подгоризонты. Например, в горизонте вымывания подзолистой почвы могут быть выделены подгоризонты B_1 , B_2 , B_3 .

Таким образом, сумма мощностей всех горизонтов составляет мощность почвы или почвенного профиля.

Интересен характер смены генетических горизонтов. Обычно переход между ними очень постепенный, поэтому граница между горизонтами в известной мере условна и представлена не линией, а некоторой переходной

полосой. Иногда переход между горизонтами чрезвычайно четкий, но граница при этом бывает не обязательно ровной, а языковатой. В этом случае масса верхнего горизонта в виде языков и потеков заходит в пределы нижерасположенного генетического горизонта.

Чем мощнее почва, тем выше ее агрономические и лесорастительные свойства, т.к. такая почва способна больше запастись воды, лучше обеспечивать растения питательными веществами, она благоприятнее для развития глубокой корневой системы. Особенно важна мощность гумусового горизонта A_1 , где сосредотачивается наибольшая масса корней растений.

Глава 3. Влияние подземных вод на инженерно-геологические условия строительства зданий и сооружений.

Виды и состояния подземных вод. Вода присутствует практически во всех горных породах, независимо от их типа, глубины залегания или климатических условий. Попадая в поры и трещины горных пород, вода может существовать в парообразном, жидком и твердом виде, изменяя со временем свое состояние в зависимости от внешних факторов. Характеристика видов воды в породах подробно рассмотрена в главе 2. Ниже рассмотрены те виды воды, которые образуют водоносные горизонты.

Свободной поземной водой принято называть воду, заполняющую поры или трещины горных пород, способную относительно быстро в них перемещаться под действием гравитационных или капиллярных сил. В зависимости от того, какие из этих сил преобладают, различается гравитационная и капиллярная свободная вода.

Гравитационная подземная вода, обладая всеми физическими свойствами обычной воды, заполняет в водоносных породах поры и трещины, образуя водоносные горизонты. Гравитационные воды формируют в водоносных горизонтах потоки подземных вод, направленные от источников питания к зонам разгрузки.

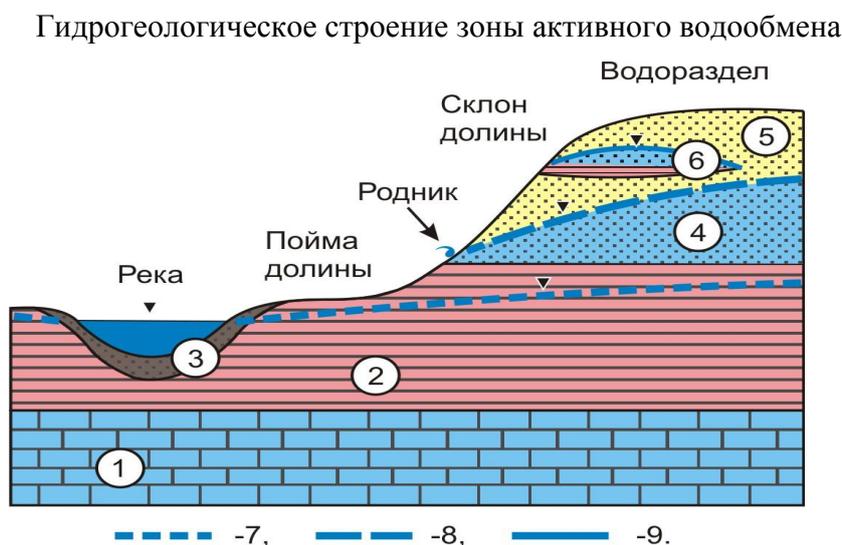
Капиллярная вода, в отличие от гравитационной, полностью или частично заполняет только те капиллярные поры, которые находятся выше свободного уровня грунтовых вод, образуя над ним капиллярную кайму. При частичном высыхании горных пород или при снижении уровня грунтовых вод капиллярная вода сохраняется только вблизи зон контакта твердых частиц горной породы. Высота капиллярного поднятия над уровнем грунтовых вод определяется размером минеральных зерен, формирующих пористую среду. Определенные опытным путем предельные величины высоты капиллярной каймы для различных типов пород приводятся в таблице 3.1.

Табл. 3.1

Наименование пород	Предельная высота капиллярного поднятия (в сантиметрах)
Трещиноватые породы, галечники	–
Пески грубо - и крупнозернистые	15
Пески среднезернистые	50
Пески мелко - и тонкозернистые	110
Супеси	200
Суглинки	650
Глины	1200

Гидрогеологическое строение верхней зоны земной коры. Верхнюю часть земной коры называют зоной активного водообмена. Подземные воды в горных породах этой зоны регулярно пополняются за счет фильтрующихся с поверхности атмосферных осадков и служат одним из основных источников питания рек и водоемов. Зона активного водообмена может включать в себя зону аэрации, ниже которой залегают *водоносные горизонты*, разделенные между собой относительно водоупорными слоями горных пород (рис.3.1).

Рис. 3.1



1 – напорный водоносный горизонт (известняки), 2 – региональный водоупор (глины), 3 – напорно-безнапорный водоносный горизонт аллювиальных отложений (пески, глины), 4 – безнапорный водоносный горизонт (пески), 5 – зона аэрации (пески), 6 – верховодка (пески, залегающие на локальном водоупоре глин), 7,8,9 – положение уровней подземных вод: напорные, безнапорные, верховодка соответственно

Водоносным горизонтом принято называть элементарную гидрогеологическую структуру, состоящую из одного или нескольких гидравлически связанных пластов с единой поверхностью уровней подземных вод [21]. Другими словами, две расположенные рядом наблюдательные скважины, оборудованные на разные интервалы водоносного горизонта, в естественных условиях должны показывать равное или близкое положение уровня подземных вод.

Повсеместно, за исключением заболоченных участков, в самой верхней части разреза располагается *зона аэрации*, состоящая из частично осушенных горных пород: песков, песчаников, известняков либо других рыхлых или трещиноватых пород.

Породы зоны аэрации, обладающие неоднородным литологическим строением, могут включать в себя относительно водоупорные локальные линзы глинистых пород. При паводке или после интенсивных дождей над локальными водоупорными линзами формируется так называемая «*верховодка*», состоящая из накопившихся при инфильтрации свободных подземных вод. В сухое время года, а также в период зимней межени, когда атмосферное питание существенно сокращается или прекращается, верховодка постепенно исчезает, поскольку свободная вода уходит из нее в расположенные ниже водоносные горизонты.

Грунтовые воды залегают на ближайшем к земной поверхности водоупорном слое горных пород и формируют самый верхний постоянно существующий водоносный горизонт. Грунтовые воды могут заполнять собой как рыхлые четвертичные отложения, так и в верхние слои коренных горных пород. Типичным примером грунтовых вод являются водоносные горизонты аллювиальных отложений в поймах рек. Верхней границей грунтового водоносного горизонта является свободная поверхность грунтовых вод, на которой давление не отличается от текущего атмосферного давления. Нижней его границей служат водоупорные породы, препятствующие вертикальной фильтрации грунтовых вод в нижележащие слои. Водоупорными могут быть

выдержанные по площади глинистые слои четвертичных или коренных горных пород, а также монолитные или слабо трещиноватые скальные породы. Как правило, водоупорные слои крайне редко бывают абсолютно водонепроницаемы. На участках выклинивания или в местах образования тектонических трещин в них появляются так называемые гидрогеологические окна, через которые происходит взаимодействие со смежными водоносными горизонтами.

Напорные или артезианские водоносные горизонты залегают глубже грунтовых вод между перекрывающими и подстилающими водоупорными слоями. Артезианские воды могут формироваться как в пределах крупных платформенных структур со спокойной тектоникой, так и заполнять значительно меньшие по размерам межгорные впадины. Главной особенностью напорных водоносных горизонтов является присутствие в них, избыточного давления, благодаря которому пьезометрическая поверхность уровней подземных вод поднимается выше кровли водоносного горизонта.

При сложном литологическом строении водоносных горизонтов и присутствии в них большого числа локальных водоупоров, несколько водоносных слоев могут объединяться в более крупную структурную единицу – *водоносный комплекс*. Их основное отличие от водоносного горизонта – возможность изменения текущего положения пьезометрических напоров не только в плане, но и в разрезе выделенного комплекса.

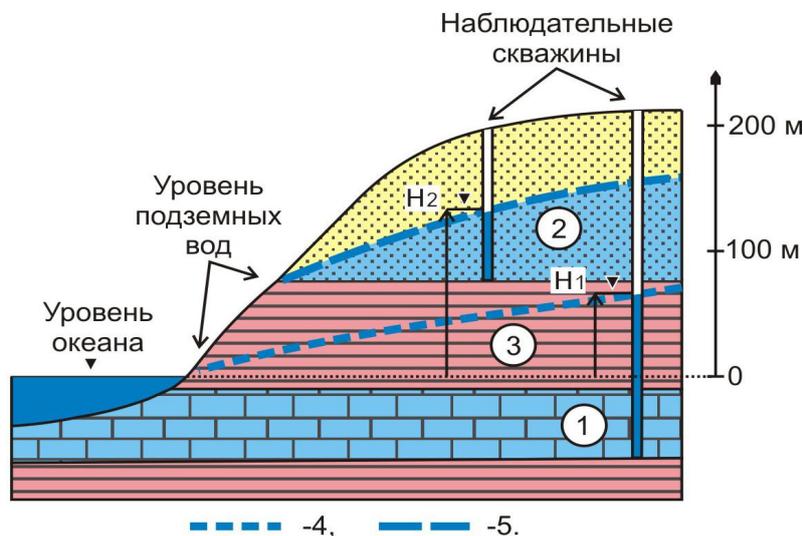
В горных массивах, состоящих, преимущественно из метаморфических и вулканогенных горных пород, выделение водоносных горизонтов затруднено, либо весьма условно. Поэтому, применительно к горным районам, гидрогеологические зоны, выделяются возрасту, литологическому составу горных пород, либо по тектоническому строению соответствующего района. Степень обводнения гидрогеологических зон зависит, в первую очередь, от количества, размеров и расположения тектонических трещин или трещин выветривания в скальных горных породах. При отсутствии крупных тектонических разломов трещиноватость скальных пород с глубиной

постепенно затухает и обводненность их уменьшается. Исключение составляют массивы интенсивно закарстованных карбонатных пород, в которых широкие водопроницаемые каналы уходят на глубину до 1-2 км.

Условия и закономерности движения подземных вод. Гидродинамический режим водоносных горизонтов. Движение подземных вод в горных породах происходит под влиянием разности *гидростатических напоров*, значения которых определяют гравитационный потенциал во всех точках поля фильтрации. Величина гидростатического напора H определяется как сумма возможной высоты подъема воды над заданной точкой при оборудовании в ней наблюдательной скважины и высоты расположения этой точки над условной горизонтальной плоскостью, которая, обычно, соответствует положению уровня Мирового океана (рис. 3.2).

Рис. 3.2

Определение величины гидростатического напора в водоносных горизонтах



1 – напорный водоносный горизонт, 2 – безнапорный водоносный горизонт, 3 – разделяющие водоупорные слои, 4,5 – положение уровней подземных вод: напорные и безнапорные, соответственно; H_1 и H_2 – измеренные напоры подземных вод в напорном и безнапорном водоносных горизонтах.

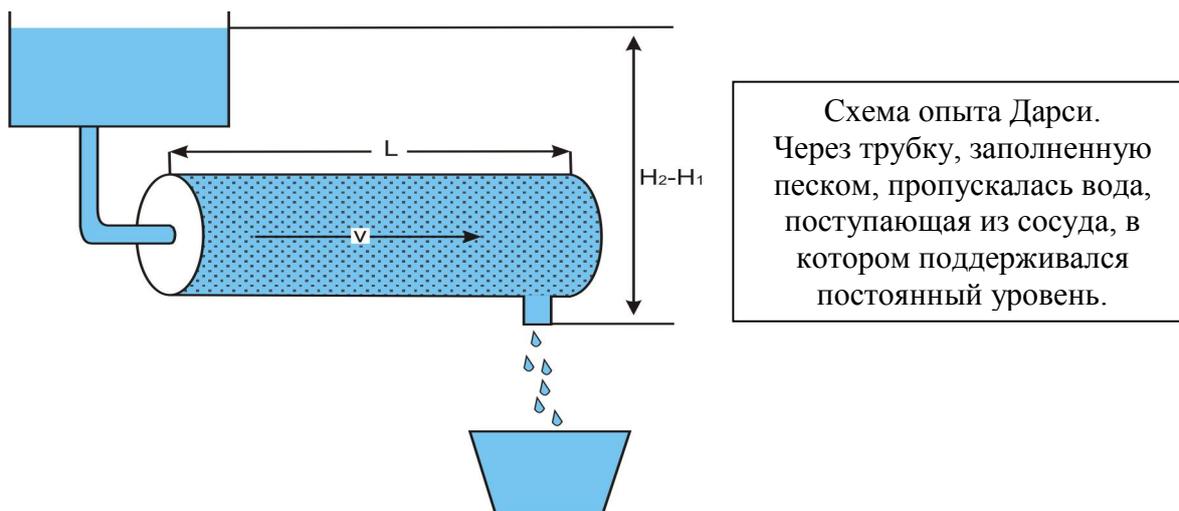
Энергия потока подземных вод расходуется, в основном, на преодоление сил вязкого трения, возникающих на контактах между элементарными струями воды и стенками фильтрующих каналов (либо пор,

либо обводненных трещин) в горных породах. Силы вязкого трения возрастают как с увеличением скорости фильтрации, так и с уменьшением поперечных размеров каналов фильтрации. Соответственно возрастает и градиент напоров в области фильтрации, под которым понимают разницу напоров в двух произвольно расположенных по направлению подземного потока наблюдательных точках, отнесенную к горизонтальному расстоянию между этими точками L :

$$I = \frac{H_2 - H_1}{L} \quad (3.1)$$

Напор подземных вод убывает в направлении их движения, и наличие градиента напоров является необходимым условием движения подземных вод. Если величины напоров в пределах области фильтрации не изменяются во времени, режим фильтрации называют *стационарным*. Рост, снижение или периодические колебания напоров свидетельствуют о *нестационарном* режиме фильтрации.

Основной закон фильтрации (закон Дарси). Данный закон носит имя французского инженера-гидротехника Анри Дарси, который в 1856 г экспериментально установил линейную зависимость между расходом жидкости и градиентом напоров в пористых средах (рис. 3.3).



Формула Дарси в упрощенной форме имеет вид:

$$Q = V \times F = k \times F \times \frac{\Delta H}{L} \quad (3.2)$$

где V - скорость фильтрации жидкости, Q - объемный расход, F - площадь поперечного сечения образца или эффективная площадь рассматриваемого объема пористой среды, k - коэффициент фильтрации среды, L – длина участка фильтрации, ΔH – градиент напоров.

Параметр k , имеющий размерность скорости, является физической характеристикой фильтрационных свойств пористой среды. Он определяет пропускную способность среды при фильтрации воды через единичную площадь при единичном градиенте напоров. При этом под скоростью фильтрации понимается не действительная скорость перемещения воды в поровом пространстве, но некоторая условная величина, характеризующая отношение измеренного расхода к расчетному поперечному сечению фильтрующей породы, включая, как поры, так и твердые частицы.

Закон Дарси входит в категорию эмпирических и справедлив только для *ламинарных потоков* при относительно малых скоростях фильтрации – до десятков метров в сутки. Тем не менее, закон Дарси пригоден для

гидродинамических расчетов в подавляющем большинстве практических случаев. Редкими исключениями могут быть грубообломочные, сильнотрещиноватые или закарстованные скальные горные породы, в которых при больших градиентах напора движение подземных вод приобретает турбулентный или вихревой характер. В таких случаях зависимость скорости фильтрации от градиента напоров становится нелинейной и характеризуется формулой Шези – Краснопольского:

$$V = k \times \sqrt{I} \quad (3.3)$$

Следует также иметь в виду, что величина коэффициента фильтрации заметно зависит от температуры подземных вод, влияющей на их вязкость. В характерном для средней полосы и северных районов диапазоне температур от нуля до 10°С в одних и тех же породах величина коэффициента фильтрации увеличивается, примерно, на 3% с ростом температуры на один градус. Диапазоны вероятных значений коэффициента фильтрации для различных типов рыхлых пород приведены в таблице 3.2.

Емкостные свойства водоносных пород. Способность горной породы изменять содержание влаги, частично отдавая свободную или связанную воду под влиянием внешних физических факторов, носит название *водоотдачи*. Различают *гравитационную и упругую водоотдачу* горных пород. Под гравитационной водоотдачей горных пород понимают количество воды, которое теряет единичный объем горной породы после снижения уровня подземных вод, при этом осушенный объем породы переходит из верхней зоны безнапорного водоносного горизонта, в зону аэрации. Количество этой воды зависит от общего объема пор или трещин в горной породе, а также, от их геометрических размеров и конфигурации. Для характеристики процесса водоотдачи используют *безразмерный коэффициент гравитационной емкости* водоносного горизонта μ , который представляет собой изменение количества воды в единичном объеме породы при его осушении. Величина его будет

несколько меньше полной влагоемкости породы, поскольку при осушении в зоне аэрации будет сохраняться капиллярная влага.

Наибольшей гравитационной водоотдачей (0,25...0,3) обладают хорошо отсортированные крупнозернистые пески и гравийно-галечные отложения. С уменьшением размеров частиц минерального скелета водоотдача рыхлых отложений падает в мелко- и тонкозернистых песках – до 0,15 – 0,2, в супесях – до 0,1, в суглинках – до 0,05. В трещиноватых породах коэффициент гравитационной емкости принимает значительно меньшие значения и обычно составляет сотые или тысячные доли единицы.

В напорных водоносных горизонтах природа упругой водоотдачи связана с изменением объема пор или трещин под влиянием внутренних гидравлических сил, уравнивающих внешнюю нагрузку на водоносную структуру. При этом, как подземная вода, так и сами минеральные частицы породы свой объем практически сохраняют, поскольку их сопротивление сжатию весьма велико. Таким образом, величина упругой водоотдачи водоносного горизонта определяется коэффициентом сжимаемости составляющих его пород a_0 , который равен отношению изменения коэффициента пористости e (см. главу 2) к приращению эффективного напряжения σ , вызвавшего деформацию породы:

$$a_0 = -\frac{de}{d\sigma} \quad (3.4)$$

Параметром, количественно характеризующем упругую емкость напорного водоносного горизонта, служит коэффициент упругой водоотдачи μ^* , представляющий собой изменение объема подземных вод в пределах единичной площади водоносного горизонта (1 кв. м) после изменения в горизонте напора на 1 м. Пренебрегая ничтожной сжимаемостью воды, данный параметр может быть рассчитан по формуле:

$$\mu^* = a_0 \times m \times (1 - n) \quad (3.5)$$

где m – мощность водоносного горизонта; n – пористость или трещиноватость водоносных пород.

Значения коэффициентов упругой водоотдачи для реальных водоносных горизонтов невелики и, как правило, укладываются в диапазон от 10^{-6} для глубоко залегающих чисто трещиноватых пород до 10^{-3} для песков и песчаников.

Возможные значения пористости и гравитационной водоотдачи для различных типов рыхлых горных пород приведены в таблице 3.2.

Табл. 3.2

Характерные величины фильтрационных параметров рыхлых горных пород

Грунт	Пористость (%)	Коэффициент фильтрации (м/сут.)	Гравитационная водоотдача
Глина	0.45	<0.001	0.05
Суглинок	0.40	0.001 - 0.01	0.10
Супесь	0.40	0.01 - 0.05	0.20
Песок мелкий глинистый	0.35	0.05 - 0.1	0.30
Песок среднезернистый	0.33	0.1 - 1	0.32
Песок крупнозернистый	0.30	1 - 5	0.29
Гравий	0.25	5 – 10 и более	0.24

Аналитические зависимости для решения элементарных геофильтрационных задач. Стационарная плоскопараллельная фильтрация в напорном водоносном горизонте. Фильтрационный поток подземных вод с определенной долей условности может считаться плоскопараллельным при незначительном изменении ширины выделенных расчетных лент тока по направлению течения. Таким условиям соответствует фильтрация вблизи линейных горизонтальных дрен или рядом с протяженными откосами крупных строительных котлованов, из которых ведется открытый водоотлив. Фильтрационные расчеты позволяют оценить вероятный приток подземных вод к дренажным системам и выбрать оптимальный способ дренажа для защиты инженерных сооружений.

Из закона Дарси следует, что для одномерного потока в изолированном напорном пласте с неизменным по длине расходом q и коэффициентом проводимости пласта $T = k \times m$ при постоянном градиенте напоров $I = \frac{(H_0 - H_1)}{L}$ (рис. 3.4) фильтрационный расход в ленте тока шириной 1 м определяется по формуле:

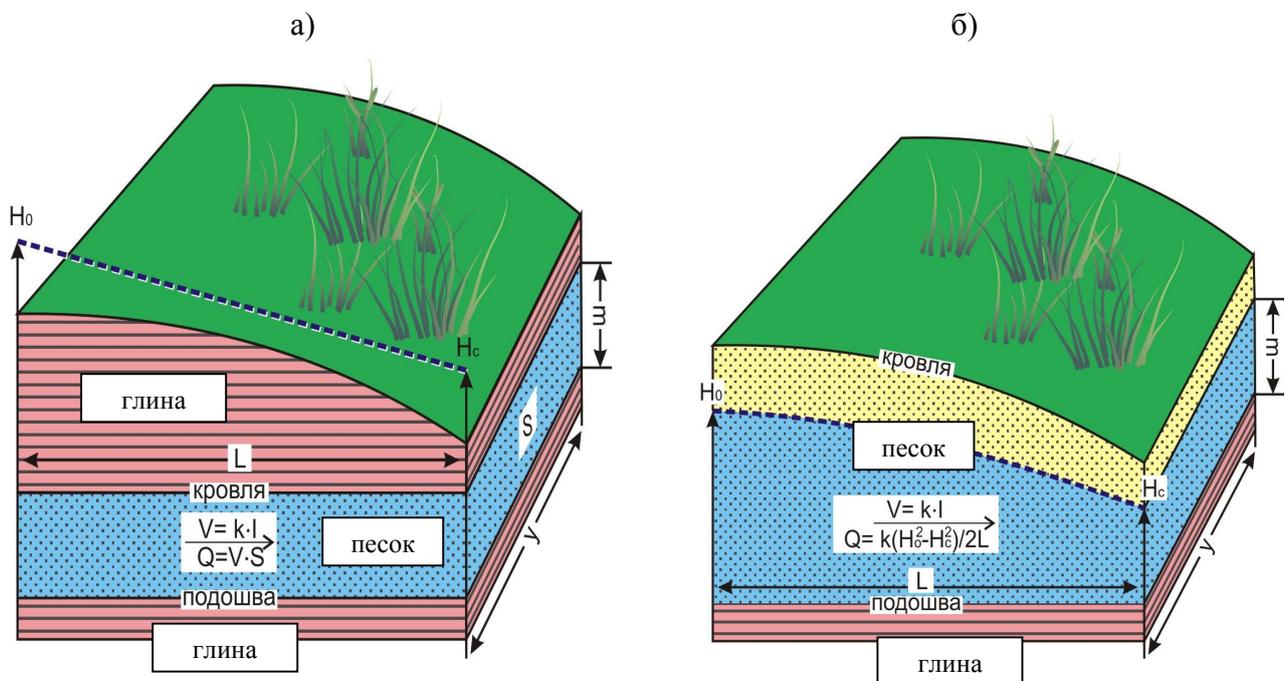
$$q = \frac{T \times (H_0 - H_1)}{L} \quad (3.6)$$

Расход через сечение водоносного горизонта, ортогональное направлению потока, будет определяться как произведение единичного расхода на ширину этого сечения. При этом значение напора H на расстоянии x от контура питания водоносного горизонта будет уменьшаться по линейной зависимости:

$$H = H_0 - \frac{x \times (H_0 - H_1)}{L} \quad (3.7)$$

Рис. 3.4

Расчётная схема одномерной стационарной фильтрации для напорного (а) и безнапорного (б) случаев



Для одномерного плоскопараллельного безнапорного потока (рис. 3.4) расчетные формулы для определения единичного расхода и напора будут иметь следующий вид:

$$q = k \times \frac{(H_0^2 - H_1^2)}{2L} \quad (3.8)$$

$$H^2 = H_0^2 - \frac{x \times (H_0^2 - H_1^2)}{L} \quad (3.9)$$

Обратим внимание: из формул (3.8) и (3.9) видно, что при стационарном режиме фильтрации положение депрессионной поверхности совершенно не зависит от фильтрационных параметров водоносного горизонта и полностью определяется значениями напоров на его ближайших границах. Таким образом, зная реальное или прогнозное положение уровней в водоносном горизонте вблизи контура котлована или траншеи, можно рассчитать удельную величину притока подземных вод на единицу его протяженности.

Плоскорadiaльная стационарная фильтрация к скважине. В настоящее время дренажные скважины являются одним из основных средств осушения крупных водоносных горизонтов, притоки из которых осложняют ведение строительных работ нулевого цикла. Выбор требуемого количества дренажных скважин, их конструкции и насосного оборудования требует предварительного расчета возможной производительности скважин и ожидаемого дренажного эффекта.

На рис. 3.5а показана скважина, откачивающая воду с постоянным расходом Q из однородного напорного водоносного пласта. Для соблюдения плоскорadiaльной схемы фильтрационного потока условимся, что на расстоянии R от скважины в пласте существует круговой контур обеспеченного питания, на котором поддерживается постоянный напор H_0 . В этом случае зависимость для определения расхода скважины примет вид:

$$Q = \frac{2\pi \times T \times S}{\ln \frac{R}{r}} \quad \text{или} \quad Q = 2,72 \times \frac{T \times S}{\lg R - \lg r} \quad (3.10)$$

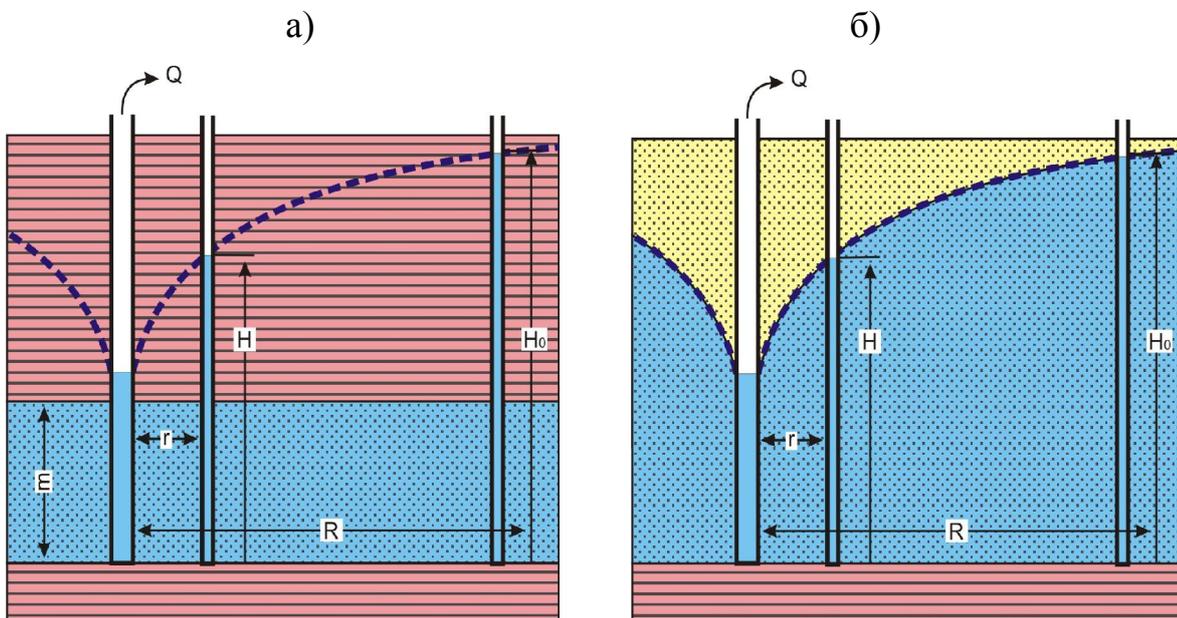
где $S = H_0 - H$

Изменяя величину R , нетрудно рассчитать значения напоров на любом расстоянии от работающей скважины, формирующей вокруг себя депрессионную воронку.

Аналогичная расчетная зависимость для безнапорной радиальной стационарной фильтрации (рис. 3.5б), имеет вид:

$$Q = \frac{\pi \times k \times (H_0^2 - H^2)}{\ln \frac{R}{r}} \quad \text{или} \quad Q = 1,36k \times \frac{H_0^2 - H^2}{\lg R - \lg r} \quad (3.11)$$

Рис. 3.5



Из рис. 3.5 видно, что зависимости (3.10) и (3.11) справедливы для скважин, *совершенных* по степени вскрытия пласта, т. е. оборудованных фильтрами на всю мощность водоносного горизонта.

Расчет несовершенных скважин ведется с использованием более сложных решений, которые приводятся в специальных руководствах [28, 29]. Приблизительно оценивая вероятный приток в несовершенную скважину, можно считать, что при прочих равных условиях приток этот будет сокращаться пропорционально соотношению длины рабочей части фильтра несовершенной и совершенной скважинах. Так при вскрытии скважиной половины обводненной мощности горизонта при равных понижениях приток к ней будет

примерно в два раза меньшим, чем к скважине, оборудованной на полную мощность водоносного горизонта.

Работа водозаборных скважин в условиях стационарного режима фильтрации возможна в тех случаях, когда в зону влияния действующих скважин попадают источники обеспеченного питания водоносного горизонта, способного компенсировать водоотбор. Дополнительное питание может поступать из расположенных вблизи рек, или за счет перетекания из смежных водоносных горизонтов, отделенных от основного относительно водоупорными породами.

Зависимости (3.10) и (3.11) могут быть использованы для расчета притоков в строительные котлованы. В этом случае радиус скважины заменяется на приведенный радиус котлована R_k , рассчитанный по формуле:

$$r_k = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (3.13)$$

где S – площадь котлована.

Широкие несовершенные траншеи и котлованы, глубина которых не достигает нижнего водоупорного слоя, можно рассчитывать, как совершенные при условии, что расстояние до ближайшей боковой границы дренируемого слоя будет более чем в 10 раз превышать его мощность. Как правило, такое условие выполняется. Для расчета притока в несовершенные дренажные траншеи со сравнительно малым поперечным сечением, ширина которых составляет менее четверти обводненного слоя на контуре дренажа (рис. 3.6), целесообразно вводить так называемый фиктивный напор, который рассчитывается по следующим формулам:

для напорного потока
$$h_\phi = h + 0.73 \frac{q}{k} \lg \frac{m}{\pi \cdot r_\phi}$$

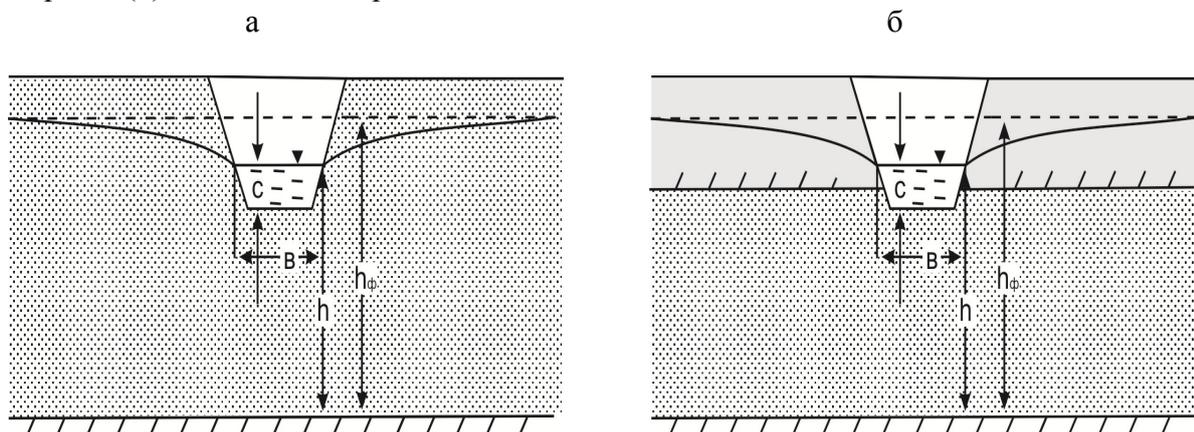
для безнапорного потока
$$h_\phi = \sqrt{h^2 + 1,46 \frac{q}{k} \cdot h \lg \frac{h}{\pi \cdot r_\phi}},$$

где h - мощность водоносных пород на контуре дренажа; q - удельный двухсторонний приток на один погонный метр дренажной траншеи, k -

коэффициент фильтрации водоносных пород, m мощность напорного водоносного слоя; $r_{\phi} \approx 0.27(b + 2c)$ - условный приведенный радиус поперечного сечения дренажной траншеи шириной b при рабочей обводненной глубине c .

Рис.3.6.

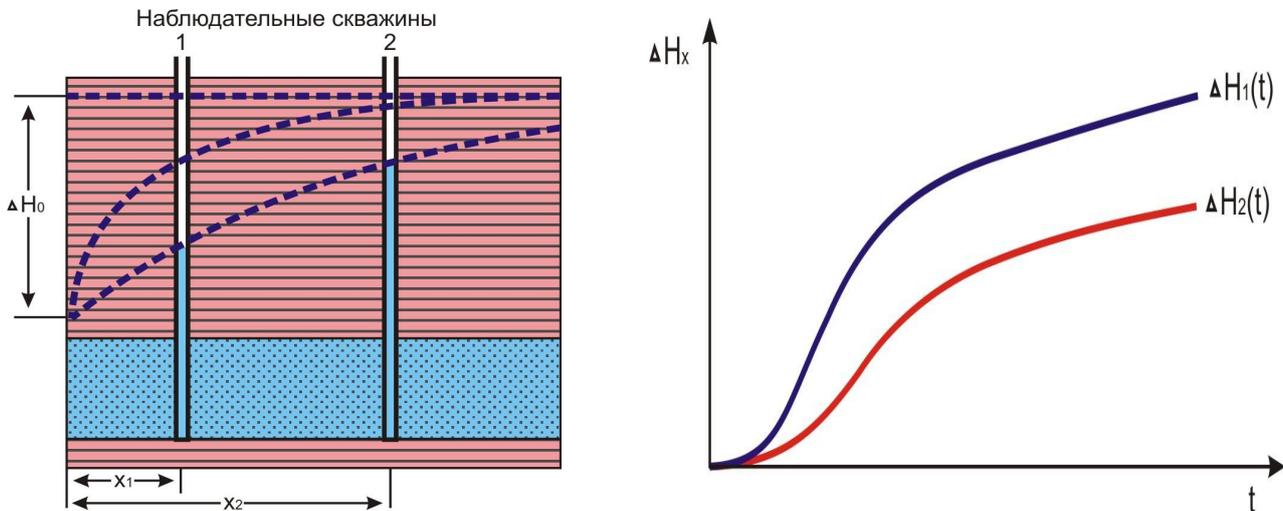
Схема к расчету притока в несовершенные траншеи, дренирующие безнапорный (а) или напорный (б) водоносные горизонты.



Нестационарный, плоскопараллельный поток. Для нестационарного режима характерна сработка упругих (в случае напорного пласта) или гравитационных (в случае безнапорного пласта) запасов водоносных систем, сопровождаемая подъемом или снижением положения депрессионной поверхности. Решения, полученные даже для самых простых одномерных нестационарных задач фильтрации довольно сложны [28], и ниже будут приведены полученные на основе этих решений расчетные зависимости, пригодные для практического использования.

На рис. 3.7 схематично показан процесс развития депрессии в полуограниченном водоносном горизонте после снижения напоров на его границе, которая, в зависимости от гидродинамической обстановки может служить контуром питания или разгрузки данного горизонта. Такая ситуация может возникнуть при вскрытии водоносного горизонта любой горизонтальной дреной или во время паводка на реке, имеющей гидравлическую связь с водоносным горизонтом.

Расчетная схема одномерной нестационарной фильтрации при быстром падении напоров на границе водоносного горизонта.



а – положение наблюдательных скважин относительно контура разгрузки;
б – графики снижения напоров во времени в наблюдательных скважинах 1 и 2.

Расчетная формула, которая позволяет оценить возможные изменения напоров $\Delta H(x, t)$ во времени на любом удалении от внешнего контура водоносного горизонта после «скачка» напоров на его границе на величину ΔH_0 , имеет вид:

$$\Delta H_{(x,t)} = \Delta H_0 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{at}} \quad (3.15)$$

где t – текущее время с момента изменения напора на границе водоносного горизонта;

x – удаление расчетной точки от внешней границы;

$a = km/\mu$ – параметр пьезопроводности для напорного режима фильтрации или уровнеспроводности для безнапорного режима фильтрации;

k – коэффициент фильтрации водоносных пород;

m – мощность водоносного горизонта;

μ – упругая или гравитационная водоотдача.

$erfc(x / 2at)$ - табулированная функция (дополнительный интеграл вероятности), значения которой приведены в специальных приложениях [24,25].

Формула (3.15) носит название фундаментального решения для одномерного нестационарного потока и может быть использована для расчета скорости осушения водоносного пласта при быстром изменении уровней на горизонтальной дрене или при включении линейного ряда откачивающих скважин. Используя ее, необходимо принимать во внимание следующие моменты.

— Формула (3.15) справедлива как для напорных, так и для безнапорных условий, но не годится для напорно-безнапорного случая, когда депрессионная поверхность в некоторой точке пересекается с кровлей водоносного горизонта.

— Гравитационная водоотдача, как правило, по величине намного превосходит упругую водоотдачу. Поэтому при близких значениях коэффициентов фильтрации распространение гидравлического возмущения в напорном горизонте будет происходить быстрее, чем в безнапорном горизонте.

— Формула (3.15) может применяться при любом первоначальном положении депрессионной поверхности водоносного горизонта, поскольку позволяет рассчитывать не абсолютные или относительные величины напоров связанные с горизонтальной плоскостью сравнения, но их приращения к исходному положению.

Некоторые элементарные расчеты работы дренажных сооружений.

При строительстве и эксплуатации многих инженерных сооружений уровень подземных вод необходимо поддерживать ниже их основания. Для обеспечения этого условия на подтопленных территориях предусматриваются специальные системы дренажа подземных вод с использованием горизонтальных дрен или откачивающих скважин. В зависимости от гидрогеологических условий и размеров защищаемого объекта могут быть использованы такие виды дренажа, как *систематический, контурный или линейный*.

Систематический дренаж представляет собой сеть горизонтальных дрен или вертикальных скважин, покрывающих более или менее равномерно всю дренируемую площадь (рис.3.8). Расчет систематического дренажа с помощью горизонтальных дрен совершенного типа сводится к определению оптимального расстояния между дренами, работа которых обеспечивала бы требуемую норму осушения. Для условий безнапорного водоносного горизонта расстояние между дренами определяется по формуле:

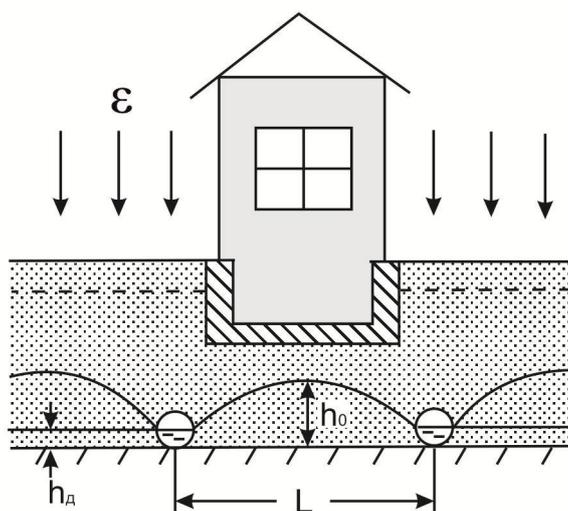
$$L = \sqrt{4k \frac{h_0^2 - h_d^2}{\varepsilon}} \quad (3-16)$$

где h_0 – остаточная максимальная мощность водоносного горизонта грунтовых вод, вызванная работой дрен; h_d – глубина воды в дрене; k – коэффициент фильтрации и инфильтрации грунтового водоносного горизонта, ε – интенсивность инфильтрационного питания водоносного горизонта за счет атмосферных осадков.

Удельный расход воды, поступающей с двух сторон в отдельную горизонтальную дрину на 1м ее длины, определится, как $q = \frac{\varepsilon}{L}$. Тогда приток воды в каждую дрину длиной l составит $Q = q \cdot l$.

Рис. 3.8.

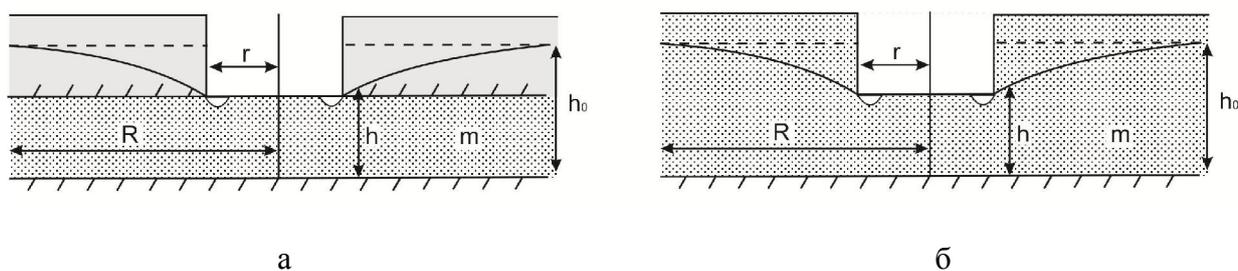
Схема к расчету систематического дренажа горизонтального типа [33].



Пунктирной линией показано естественное положение уровня подземных вод.

Контурный или **кольцевой дренаж** применяют для защиты отдельных сооружений либо для осушения ограниченных по площади участков, предназначенных под строительство. При неглубоком снижении уровней подземных вод дренаж ведется с использованием открытых или закрытых горизонтальных дрен, пройденных по контуру осушаемого участка (рис.3.9).

Рис. 3.9. Схема к расчету притоков в котлован методом «большого колодца».



а – для напорного водоносного горизонта;
 б – для безнапорного водоносного горизонта

Пунктирной линией показано естественное положение уровня подземных вод

В тех случаях, когда требуется снизить напоры на десятки метров, а водоносные горные породы обладают высоким коэффициентом проводимости ($T=k \times m$), для осушения используются дренажные скважины, пройденные по кольцевому контуру. Для расчета возможного притока в строительные котлованы при отсутствии дополнительной дренажной защиты или для определения производительности контурного дренажа строительных объектов обычно применяется метод «большого колодца», согласно которому дренажный контур заменяется равновеликим по площади фиктивным колодцем

с радиусом $r_k = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$, где F – площадь защищаемой от подтопления территории.

Суммарный расход дренажных скважин для условий напорной фильтрации составит:

$$Q = \frac{2\pi \times T \times S}{\ln R - \ln r_k} \quad (3.17)$$

где T – коэффициент проводимости напорного пласта; S – понижение уровня воды по контуру «большого колодца»; R – расчетный радиус влияния откачки.

В пластах с питающими границами, расположенными недалеко от контура

дренажа, стационарный режим фильтрации наступает достаточно быстро, и величина R принимается постоянной. При наличии линейного контура обеспеченного питания (например, реки) на расстоянии L от котлована установившийся радиус влияния рассчитывается по простой формуле $R = 2L$. Аналитические зависимости для других типовых граничных условий можно найти в справочных руководствах по расчетам дренажа [33].

При отсутствии вблизи источников обеспеченного питания подземных вод, в условиях нестационарной фильтрации радиус влияния дренажного контура определяется по формуле:

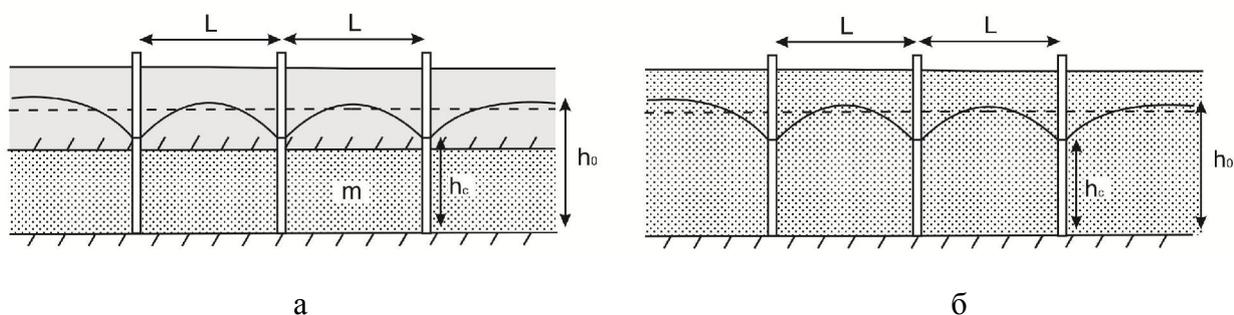
$$R_{(t)} = r_k + \sqrt{\pi \times a \times t} \quad (3.18)$$

где $a = \frac{k \times m}{\mu}$ коэффициент пьезопроводности или уровнепроводности осушаемого пласта, t – время работы дренажного контура, μ - водоотдача, m - обводненная мощность пласта.

Линейный дренаж предназначен для полного или частичного перехвата потока подземных вод (например, со стороны реки или водоема), благодаря чему временно или постоянно удается понизить уровни подземных вод на объекте осушения. Такой дренаж обычно представляет собой достаточно протяженный линейный контур откачивающих скважин с примерно равными расстояниями между соседними скважинами (рис. 3.10).

Рис.3.10.

Схема к расчету притоков к линейному ряду дренажных скважин



а – для напорного водоносного горизонта; б – для безнапорного водоносного горизонта
Пунктирной линией показано положение фиктивного напора подземных вод на контуре дренажных скважин.

Для расчета линейного дренажа используется метод фильтрационных сопротивлений, согласно которому линейный ряд дренажных скважин можно заменить эквивалентной совершенной траншеей с фиктивным напором h_ϕ , связанным с расходом отдельной дренажной скважины Q_c соотношением для безнапорных условий фильтрации формулой (3.19):

$$h_\phi = \sqrt{h_c^2 + \frac{Q_c}{\pi \cdot k} \ln \frac{l}{\pi \cdot d_c}}, \quad (3.19)$$

и для напорных условий формулой (3.20):

$$h_\phi = h_c + \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m} \ln \frac{l}{\pi \cdot d_c}, \quad (3.20),$$

где h_c – средний расчетный напор в действующих дренажных скважинах диаметром d_c ; l – расстояние между соседними скважинами дренажного контура, k – коэффициент фильтрации и m мощность осушаемого пласта. Величина h_ϕ должна отвечать требованиям строительства и эксплуатации объекта, находящегося под защитой дренажа. Выбранная схема расчета предполагает, что производительность всех скважин ряда будет одинаковой. Производительность каждой скважины будет зависеть только от расстояния между соседними скважинами, фильтрационных параметров осушаемого пласта и градиента напоров направленного к дренажному ряду потока подземных вод. Расчет возможной производительности линейного дренажа можно выполнить, используя зависимости (3.6) и (3.8).

Физические свойства и химический состав подземных вод. *Физические свойства.* Большое отличие воды по физическим и физико-химическим свойствам от других жидкостей обусловлено дипольным строением ее молекулы, в которой два атома водорода присоединены к атому кислорода строго под углом $104,45^\circ$.

Пресная вода имеет наибольшую плотность 1 г/см^3 при температуре $+4^\circ\text{C}$. Вода обладает аномально высокой теплоемкостью, теплотой плавления, силами поверхностного натяжения, уступая по последнему показателю только ртути.

Минимальной температурой (до минус 5°С) обладают подземные рассолы в районах распространения многолетнемерзлых пород. Вблизи действующих вулканов напорные подземные воды могут разогреваться до температуры выше 100°С.

Цвет и прозрачность воды зависят от содержания в ней механических и органических примесей, повышенное содержание которых может придавать воде желтоватую или бурую окраску. Растворенный сероводород придает воде специфический гнилостный запах.

Благодаря растворенным минеральным солям – электролитам, подземные воды обладают электропроводностью, по величине которой можно приблизительно определять общую минерализацию проб воды с поправкой на температуру, которая также влияет на электропроводность воды. Удельная электропроводность пресных подземных вод может составлять от 100 до 1300 мкСм/см, увеличиваясь у рассолов до 10^5 – 10^6 мкСм/см. Электропроводность большинства горных пород (исключая угли и богатые сульфидные руды различных металлов) также в основном зависит от количества и минерализации содержащейся в них воды.

При проведении геофизических электроразведочных работ пользуются величиной, обратной электропроводности: электрическим сопротивлением горных пород, измеряемым в Омах, или кажущимся электрическим сопротивлением, измеряемым в Ом·метрах, при этом электрическое сопротивление образца один Ом соответствует его электропроводности один Сименс.

Радиоактивность подземных вод связана с наличием в них растворенных соединений радиоактивных изотопов природного или техногенного происхождения, среди которых наиболее распространены изотопы цезия, стронция, урана, плутония, радона и ряда других химических элементов. Радиоактивность подземных вод измеряется в беккерелях (сокращенно – Бк). Согласно санитарным требованиям (СанПиН 2.6.1.2523 - 09)

при значениях суммарной альфа- и бета-активности ниже 0,2 и 1,0 Бк/кг, питьевая вода считается полностью безопасной для организма человека.

Классификация подземных вод по химическому составу. К настоящему времени предложено несколько десятков классификаций природных вод (в том числе, подземных) по химическому составу, среди которых чаще других употребляется три классификации:

— по содержанию водородных ионов, определяющему степень кислотности или щелочности воды;

— по соотношению основных растворенных минеральных макрокомпонентов, позволяющему отнести воду к определенному гидрохимическому типу;

— по общему содержанию всех растворенных минералов, характеризующему степень солености воды.

Ионы водорода, несмотря на относительно низкое их содержание, в подземных водах, оказывают очень большое влияние на гидрогеохимические процессы. В чистой воде без растворенных примесей при температуре 25° С концентрация ионов водорода H^+ и гидроксил-ионов OH^- одинаковы и составляют 10^{-7} моль/л. Такая вода имеет нейтральную реакцию. При добавлении в такую воду любой кислоты концентрация ионов водорода растет, раствор становится кислым, если же добавляется основание (например, KOH) количество ионов водорода снижается и раствор приобретает щелочную реакцию. Для обозначения содержания ионов водорода в воде пользуются их десятичным логарифмом, взятым с обратным знаком, который назван водородным показателем — *pH*.

$$pH = - \lg [H^+]$$

В зависимости от преобладания растворенных солей, различают воды по преобладающим анионам: гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные, и по катионам: кальциевые, магниевые и натриевые.

К гидрокарбонатному классу относится большая часть пресных вод верхних водоносных горизонтов. В подземных водах гидрокарбонатному и карбонатному ионам (HCO_3^- и CO_3^{2-}) чаще всего сопутствуют ионы магния и кальция, образуя с ними гидрокарбонатные воды зоны активного водообмена. Вследствие небольшой растворимости бикарбоната кальция, содержание его в таких водах не превышает 500 мг/л. Вместе с тем, известны воды, в которых содержание гидрокарбонат и карбонат ионов может достигать граммов и даже десятков граммов в литре. Это так называемые содовые воды, в которых преобладающим катионом является натрий. Карбонат - ионы отсутствуют в водах, у которых $pH < 7$. С увеличением значения водородного показателя воды содержание карбонатов в них также увеличивается. Происхождение гидрокарбонатного класса подземных вод связано с растворением известняков, доломитов, мергелей и других карбонатных пород.

Сульфат ионы (SO_4^{2-}) обладают хорошей подвижностью и практически всегда присутствуют в подземных водах. Содержание их сдерживается присутствием иона кальция, с которым образуется малорастворимое соединение $CaSO_4$. В отсутствие растворенного кислорода сульфат ионы восстанавливаются до сероводорода. Естественными источниками сульфатов в подземных водах являются минералы гипс и ангидрит. Кроме того, большое количество сульфидов выделяется при вулканических извержениях. Часто сульфатные подземные воды сопровождают нефтяные месторождения, располагаясь выше и ниже нефтеносных пластов.

Хлор-ион является наиболее подвижным среди других анионов, поскольку все хлористые соли легко растворимы. В природных водах содержание хлоридов может достигать сотен грамм в литре. Высокоминерализованные хлоридные воды более характерны для глубоких водоносных горизонтов. В поверхностных водах повышенное содержание хлоридов может быть связано с загрязнением их техногенными или хозяйственно-бытовыми отходами. Главным источником хлора в подземных водах является широко распространенный минерал галит ($NaCl$) или каменная

соль ($NaCl+KCl$). Кроме того, хлор поступает в подземные воды при выветривании вулканических пород и при внедрении морских вод в прибрежные водоносные горизонты.

Существует еще одна общепринятая классификация по степени минерализации подземных вод. По предложению В.И. Вернадского различают пресные подземные воды, содержащие до 1 г/л растворенных веществ, солоноватые, содержащие 1-10 г/л, соленые, содержащие 10-50 г/л и рассолы, содержащие свыше 50 г/л.

Для наглядности химический состав подземных вод может быть записан в виде формулы Курлова. В качестве примера приведем возможную формулу Курлова солоноватой воды хлоридно-гидрокарбонатного натрий-кальциевого состава.

$$M_{5,3} \frac{HCO_3 \ 50 \ Cl \ 30 \ SO_4 \ 20}{Na \ 50 \ Mg \ 25 \ Ca \ 25} \ pH7 \ T46,6 \ D270$$

В приведенной формуле $M_{5,3}$ означает общую минерализацию воды 5,3 г/л, в числителе и в знаменателе дроби показано содержание анионов и катионов в процент-эквивалентах, величина pH , температура в °C и дебит источника (D), в котором произведен отбор пробы воды в м³/сут.

Оценка агрессивности подземных вод по отношению к строительным материалам. Различают агрессивность воды по отношению к бетону и к железу. Агрессивной по отношению к бетону является вода, содержащая повышенное количество сульфатов и агрессивную углекислоту. При контакте бетона с водой, в которой много сульфатов, в бетоне кристаллизуются новые соединения: гипс и сульфоалюминат кальция, которые со временем приводят к разрушению бетона. Предельное содержание контактирующих с бетоном растворенных сульфатов установлено ГОСТами и в зависимости от содержания хлоридов составляет 250 - 1000 мг/л.

Свободная углекислота, представляющая собой растворенный в воде углекислый газ CO_2 сверх равновесного количества с растворенным

бикарбонатом кальция $Ca(HCO_3)_2$, способна перевести углекислый кальций бетона в растворимый бикарбонат. Опасной для бетона является малая жесткость воды (до 1,5 мг-экв.). Малая концентрация бикарбонат - иона в подземных водах приводит к тому, что равновесное с атмосферой содержание растворенного углекислого газа (0,6 мг/л) частично переходит в агрессивную форму.

Кроме упомянутых видов агрессии подземных вод к бетону, выделяют также общекислотную агрессию у кислых вод с $pH < 5$ и магниальную агрессию, когда содержание ионов магния в воде заметно превышает содержание ионов сульфата.

Электрохимическая коррозия металлических конструкций при соприкосновении с подземными водами особенно активно протекает, если воды обладают низким pH , малой жесткостью, высоким содержанием кислорода, углекислого газа, сероводорода, сернистого газа, органических кислот, сульфатов железа. Активизируются процессы электрохимической коррозии также с ростом температуры и скорости потока подземных вод, контактирующего с металлом.

Любые подземные воды в большей или меньшей степени способствуют коррозии контактирующих с ними металлов. По этой причине все подземные металлические конструкции требуют использования специальных методов противокоррозионной защиты.

Глава 4. Инженерная геодинамика.

Инженерная геодинамика – самостоятельное научное направление инженерной геологии, где изучаются и оцениваются геологические процессы и явления (ГПиЯ), как естественные (природные), так и возникающие в связи со строительством сооружений и хозяйственным освоением территорий [1, 23].

Инженерная геодинамика изучает и разрабатывает:

1. Закономерности распространения экзогенных и эндогенных процессов и явлений, происходящих на поверхности земли и в верхних горизонтах земной коры;
2. Механизмы возникновения и развития геологических процессов и явлений;
3. Динамику и кинематику различных геологических процессов и явлений, формы их проявления и обусловленность (детерминизм) разнообразными природными и искусственными факторами;
4. Качественные и количественные методы оценки воздействия ГПиЯ на устойчивость территорий и сооружений;
5. Методы прогноза ГПиЯ по месту проявления, времени и силе.
6. Методику инженерно-геологических исследований для обоснования проектов защиты и подготовки территорий для хозяйственного освоения.

Группировка геологических процессов и явлений приведена в таблице 4.1 (по В. Д. Ломтадзе, 1977).

Табл. 4.1

Процессы	Явления
Деятельность поверхностных вод (морей, озёр, водохранилищ, рек и временных водотоков) Паводки на горных реках	- Подмыв и разрушение берегов морей, озёр и водохранилищ - Подмыв и разрушение речных берегов - Размыв склонов – овражно-балочные явления - Сели
Совокупная деятельность поверхностных и подземных вод	- Переувлажнение и заболачивание территорий - Просадочные явления - Карст

Деятельность подземных вод	- Плывуны - Суффозионные явления
Действие гравитационных сил	- Оползни - Обвалы
Деятельность ветра	- Развевание и навевание
Промерзание и оттаивание горных пород	- Термокарст - Морозное пучение - Наледи
Проявление внутренних сил в горных породах	- Набухание - Усадка - Разуплотнение
Действие внутренних (эндогенных) сил планеты	- Вулканизм, землетрясения и сейсмические явления
Инженерная деятельность человека	- Разрушение и уничтожение территорий при строительстве, разработке месторождений полезных ископаемых, устройстве свалок и хранилищ опасных отходов - Оседание поверхности земли при значительных откачках подземных вод, нефти и газа - Затопление и подтопление территорий - Вторичное засоление пород при орошении территорий

Существование определённых противоречий в состоянии минеральных и органоминеральных систем, природно-техногенных комплексов вызывают неизбежное возникновение и развитие геологических процессов и явлений. Важнейшими характеристиками любого процесса являются показатели его интенсивности и активности (см. таблицу 4.2) [13].

Объект изучения	ПОКАЗАТЕЛИ	
	Интенсивность развития	Активность развития
Процесс	1. Продолжительность цикла и его стадий	1. Количество вновь образующихся форм или повторений цикла в единицу времени или на единицу площади
	2. Скорость процесса	
	3. Скорость денудации или аккумуляции под действием данного процесса	
Формы, образованные процессом (явления)	4. Количество форм на единицу площади и их размеры	2. Отношение количества свежих форм к их общему количеству
	5. Доля или процент площади, или длины, или объема, занятых формами от общей площади или длины, или объема участков их развития	

Нарушение равновесий, сложившихся в природе за геологическое время, грубое вмешательство человека в эти равновесия определяют неизбежные изменения в природной среде. Задачи рационального использования и охраны Геологической среды со всей очевидностью ставят вопрос о познании механизмов геологических процессов, о разработке способов управления этими процессами, о минимизации рисков и опасностей для строительной и инженерной деятельности человека. Оценка рисков для территорий, поражённых тем или иным геологическим процессом, может иметь совершенно конкретный характер, если мы знаем вероятность развития процесса и стоимость недвижимого имущества, находящегося на данной территории.

Проявление геологических процессов на определённой территории зависит, как правило, от нескольких причин. Это, прежде всего, зависимость от определённых комплексов пород, от ландшафто-климатических и структурно-тектонических факторов. В современную эпоху громадную роль играет инженерная и хозяйственная деятельность человека. Последствия проявления геологических процессов могут иметь локальный, региональный или планетарный характер. В зависимости от источников энергии и места проявления все геологические процессы можно разделить на эндогенные и экзогенные. Эндогенная геодинамика определяется внутренними силами Земли,

и её проявление выражается в тектонических движениях, в сейсмических и вулканических явлениях. Экзогенная геодинамика обусловлена энергией Солнца и действием геофизических полей планеты, прежде всего гравитационного и теплового. Всё более очевидным становится влияние Космоса на общую геодинамическую обстановку на нашей планете. Спектр экзогенных процессов и явлений чрезвычайно широк (см. таблицу 4.1).

Основные задачи инженерной геодинамики заключаются в разработке методов управления геологическими процессами и снижения рисков для различных видов строительной деятельности.

Для установления возможности и целесообразности строительного освоения территории, выбора конструктивных и технологических решений строительства и разработки защитных мероприятий Строительными правилами СНиП 22–01–95 «Геофизика опасных природных воздействий» рекомендуется использовать количественные показатели поражённости территории тем или иным геологическим процессом [43].

Большое значение имеет прогноз различных геологических процессов по типу, времени, месту и масштабу их проявления. Прогноз должен быть комплексным, основанным на учёте совокупности всех природных и техногенных факторов. Это предполагает научное знание механизмов их развития и тех структурных изменений, которые вызываются в Геологической среде действием того или иного процесса.

Современные методы прогноза геодинамических процессов и явлений чрезвычайно разнообразны. Все эти методы подробно рассматриваются в соответствующих разделах инженерной геодинамики и могут быть сведены в несколько методических групп (А. А. Каган, 1984; Л. Б. Розовский, И. П. Зелинский, В. М. Воскобойников, 1987; Г. П. Постоев, 1992; А. И. Шеко, 1996 и др.): методы геологических аналогий и подобия, экспериментального моделирования, вероятностно-статистические методы и расчётно-теоретические [23]. Следует подчеркнуть, что прогнозные методы создают прочную основу для оценки масштаба геодинамической опасности,

определения средств регулирования, предупреждения и локализации опасных геологических процессов.

Эндогенная группа процессов.

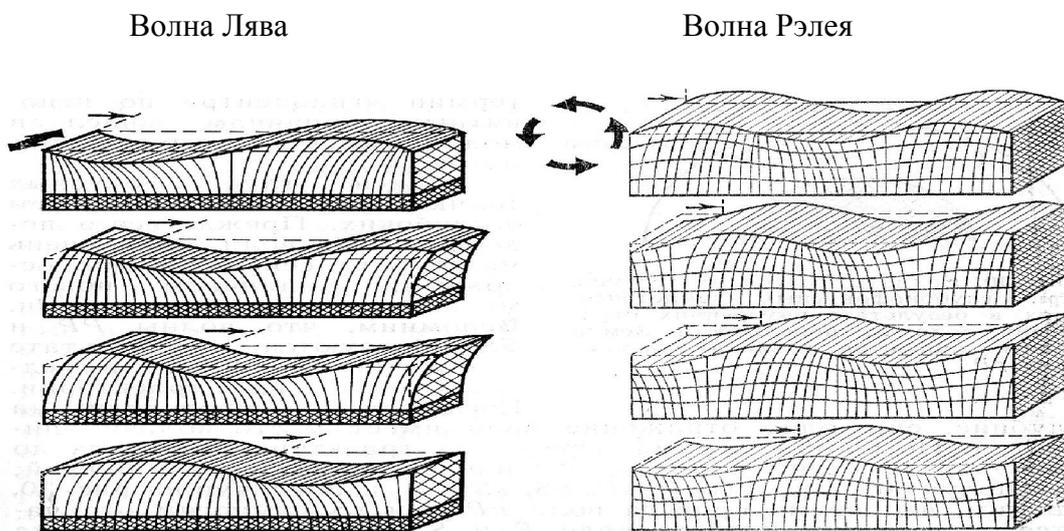
Сейсмические явления и вулканизм.

Землетрясения. В настоящее время землетрясения вызываются двумя основными причинами: либо энергией, заложенной природой в тектогенез Земли (см. главу 1), либо энергией взрывов и ядерного распада, используемых человеком в различных целях. В некоторых случаях происходит изменение сейсмической активности на территориях создания крупных водохранилищ, так называемые наведённые *техногенные землетрясения*. Такого рода землетрясения вызваны не только дополнительной нагрузкой от веса воды в водохранилище, а главным образом, воздействием воды по трещинам и разломам, облегчающим разгрузку напряжённого состояния пород вдоль тектонических нарушений [23].

Землетрясения разного типа неоднократно приводили к катастрофическим последствиям для человека. Изучением землетрясений занимается наука *сейсмология*, использующая инструментальные наблюдения за упругими колебаниями в горных породах. Землетрясения – это колебания Земли, вызванные разрядкой упругих напряжений в недрах литосферы. Очаг возникновения землетрясения, называемый *гипоцентром*, может располагаться на разных глубинах от 1 до 50 км (коровые землетрясения), от 70 до 300 км (астеносферные), от 300 до 700 км (глубокофокусные). От гипоцентра во все стороны распространяются *продольные и поперечные сейсмические волны*, скорости которых зависят от упругих свойств горных пород и строения плейстосейстовой области, в которой накапливается упругая энергия. Продольные волны Р связаны с расширением и сжатием пород в направлении движения. Их скорость изменяется от 0,5 км/с в рыхлых грунтах до 6-8 км/с в скальных грунтах. Поперечные волны S представляют колебания пород в направлении, перпендикулярном к направлению луча продольных волн. Этот тип волн распространяется только в твёрдой среде и имеет скорость в 1.7 раза

меньше, чем у продольных волн. Общая волновая картина распространения сейсмических волн в слоистой среде усложняется явлениями рефракции и преломления на границах раздела слоёв с различными характеристиками. На поверхности земли землетрясения вызывают образование *поверхностных волн* L, представляющих наибольшую опасность для инженерных сооружений. В поверхностных волнах наблюдаются, как горизонтальные колебания (волны Лява и Рэлея), так и вертикальные - только в волнах Рэлея (см. рисунок 4.1). Распространение этих волн сопровождается явлениями дисперсии, что обуславливает проявление сотрясений за многие километры от эпицентра [55].

Рис. 4.1

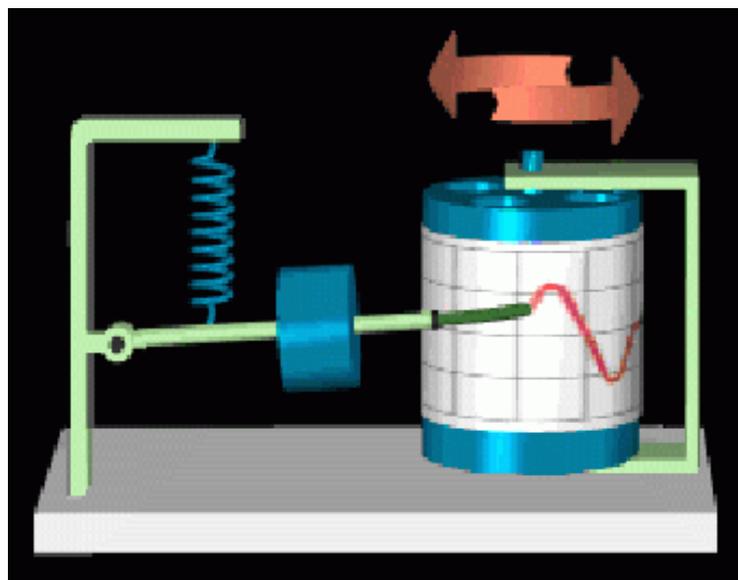


Последствия сейсмических толчков на поверхности земли могут быть катастрофическими для целых регионов и городов. На рис. 4.2 показаны последствия землетрясения в Нефтегорске (о. Сахалин, 1955) (магнитуда ок. 7,5, балльность 8-10).

Последствия землетрясения в Нефтегорске (о. Сахалин, 1955)
Магнитуда ок. 7,5, балльность 8-10 (из работы П. Сёмина, 2011)



Для регистрации сейсмических колебаний создана сеть стационарных сейсмостанций и специальных полигонов, раскиданных по всему миру. На них установлены специальные приборы – сейсмографы и обрабатываются формы записи сейсмических колебаний – сейсмограммы. Обычный сейсмограф состоит из подвешенной части (типа маятника) с *демпфирующим* и *усилительным устройствами*. Простейшая конструкция сейсмографа с вертикальным барабаном для записи колебаний представлена на рис. 4.3.



Сейсмограммы позволяют определять положение очага землетрясений, называемого гипоцентром, положение проекции гипоцентра на дневную поверхность (*эпицентр землетрясения*), глубину залегания гипоцентра, интенсивность, силу и энергию землетрясений. Во всех случаях землетрясений их гипоцентры находятся в зонах контакта литосферных плит или в зонах глубоких тектонических разломов и подвижных внутриконтинентальных зон раздвига (рифты) (см. глава 1, рис. 1.5).

Сила землетрясения (степень интенсивности) оценивается по величине *максимального сейсмического ускорения* частиц породы в мм/с²:

$$\alpha = \frac{4\pi A}{T^2}$$

где A – *амплитуда колебания* частиц породы, мм;

T – *период колебаний*, с (величины A и T снимаются с сейсмограммы).

По величине максимального сейсмического ускорения вычисляется *коэффициент сейсмичности*, использующийся для обобщения результатов сейсмических наблюдений и регионального сейсмического районирования:

$$K_c = \frac{\alpha_{\max}}{g}$$

На основе сейсмического ускорения и степени воздействия землетрясений на инженерные сооружения, на человека и животный мир для оценки интенсивности землетрясений используется *12-балльная международная шкала Медведева, Шпонхойера и Карнике – шкала MSK*.

Обычно применяемая характеристика «силы» землетрясения – это интенсивность («балльность») землетрясения. *Интенсивность* – это мера нарушений, наблюдаемых на дневной поверхности и повреждений различных сооружений, а также реакция человека и некоторых представителей животного мира на сотрясения. Поэтому исторические записи приобретают огромное значение для современных расчётов сейсмического риска. Районы, в которых оценена интенсивность землетрясений, могут быть оконтурены на картах изолиниями, которые образуют карту изосейст. Такая карта даёт грубые, но ценные сведения о размерах очага, о распределении сотрясений на дневной

поверхности, о влиянии геологического строения, почвенного покрова, подземных вод и о других фактах, важных для задач страхования и строительства. Для территории России выполнено сейсмическое районирование, отражающее распределение сейсмогенных областей различной интенсивности. Эти карты сведены в единый Атлас ОСР - 97, к которому приложен список населённых пунктов с указанием баллов возможных землетрясений [31].

В международной практике широко применяется инструментальная шкала магнитуд, разработанная Ч. Ф. Рихтером, в которой используются параметры землетрясений, продолжительность и амплитуда некоторых пиков волн. *Магнитудой* называют условную величину энергии, выделяемой в гипоцентре. Поскольку сила землетрясений варьирует в огромном диапазоне удобно при измерении амплитуд сейсмических волн использовать логарифмы.

$$M = \lg \frac{A_{\max}}{A_{\text{эт}}}$$

где A_{\max} – максимальная амплитуда, определяемая по сейсмограмме;

$A_{\text{эт}}$ – эталонная амплитуда при слабом землетрясении, принятом за эталонное. Магнитуда землетрясений изменяется от 0 при очень слабых толчках до 8,9 при очень сильных, катастрофических. Энергия землетрясений измеряется в эргах и джоулях (1 эрг = 1дин/см; 1 дж = 10^7 эргов).

Примеры оценки силы землетрясений по шкале Рихтера (в магнитудах):

- Квантское (1948) - 8,2 М;
- Ашхабадское (1948) – 7,3 М;
- Гоби – Алтайское (1957) – 8,6 М;
- Ташкентское (1966) – 5,3 М;
- Японское (2011) – 8,9 М.

Сильнейшее землетрясение 2011 года в Японии по разным оценкам привело к смещению оси вращения Земли от 10 до 15 см и вызвало сокращение земных суток на 1,6 микросекунды.

Экспериментально установлено, что землетрясение, магнитуда которого равна нулю, выделяет энергию около 10^5 Дж. У наиболее сильных землетрясений с магнитудой более 8, выделяющаяся энергия достигает $10^{20} \dots 10^{25}$ Дж. Увеличение интенсивности землетрясения на 0,5M соответствует увеличению энергии приблизительно в 10 раз. Соотношение между энергией (в эргах) и магнитудой может быть установлено по формуле:

$$\lg E = 12 + 1,8 M$$

Сравнительная шкала интенсивности (баллы) и энергии (магнитуды) землетрясений приведена в таблице 4.3

Табл. 4.3

Балл по шкале MKS	Магнитуда по Рихтеру	a_{\max} , мм/с ²	Сравнительная категория землетрясения	Последствия
1	1	<2,5	Незаметное	Регистрируется только сейсмографами.
2	2	2,6...5	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми на верхних этажах.
3	3	5,1...10	Слабое	Ощущается некоторыми людьми внутри помещения.
4	4	11...25	Умеренное	Отмечается многими людьми, открываются двери, дрожит мебель, скрип полов и стен
5	4,5	26...50	Довольно сильное	Раскачиваются висючие предметы, дребезжат стёкла, спящие просыпаются.
6	5	51...100	Сильное	Лёгкие повреждения в зданиях, трещины в штукатурке, домашние животные выбегают из укрытий, звон малых колоколов на колокольнях.
7	5,5	101...250	Очень сильное	Повреждения зданий. Люди с трудом удерживаются на ногах. Звонят большие колокола.

8	6	251...500	Разрушительное	Сильные повреждения зданий. Испуг и паника. Сдвигается и иногда опрокидывается тяжёлая мебель. Кое-где обламываются ветви деревьев. Повреждается часть висячих ламп.
9	7	501...1000	Опустошительное	Всеобщее повреждение зданий. Всеобщая паника. Искривление рельсов. Обвалы и оползни. Трещины в асфальтовом покрытии дорог. Животные мечутся и кричат.
10	7,5	1001...2500	Уничтожающее	Всеобщее разрушение зданий, мостов, трещины в породах шириной до 1 метра. Многочисленные завалы.
11	8	2501...5000	Катастрофическое	Изгиб рельсов в складки, разрывы земли. Вертикальные смещения и сбросы.
12	8,5	>5000	Сильная катастрофа	Полные разрушения. Сильные изменения рельефа. В горах обвалы, оползни, сели. Изменение русел рек.

Грозным проявлением подводных землетрясений являются морские волны – *цунами*, распространяющиеся по поверхности морей и океанов со скоростью до 800 км/час. В открытом море эти волны почти незаметны, так как имеют небольшую высоту и большую длину. На мелководье такие волны в результате торможения о дно резко увеличивают свою высоту до 10-30 метров и обрушиваются на сушу, вызывая разрушение берегов, различных сооружений и гибель людей. В 2004 году произошло катастрофическое цунами, поразившее берега Индонезии, Таиланда, Индии и даже Мадагаскара. Погибло более 200 тыс. человек.

На фотографии с воздуха показана волна цунами высотой более 10 метров, обрушившаяся на северные берега Японии в результате мощнейшего землетрясения 11 марта 2011 года (рис. 4.4).

Рис. 4.4



Строительство в сейсмических районах требует, прежде всего, уточнения сейсмической балльности конкретных строительных площадок. Для детализации сейсмических условий производится *сейсмическое микрорайонирование* (иногда неправильно называемое

микросейсмическим районированием). Для этой цели рассчитывается так называемая средняя сейсмическая жёсткость толщи грунтов до глубины h , равной 10 метрам. *Сейсмическая жёсткость* характеризуется безразмерным произведением скорости распространения упругих сейсмических волн на плотность пород. Например, для продольных сейсмических волн сейсмическая жёсткость численно будет равна произведению $V_p \times \rho$. В таблице 4.4 приведена сравнительная характеристика сейсмической жёсткости для некоторых групп пород (по С. В. Медведеву). Более полная и развёрнутая характеристика скоростей продольных и поперечных волн и значений сейсмической жёсткости различных групп пород приводится в рекомендациях по сейсмическому микрорайонированию РСМ - 73 [43]. Непреходящее значение для строительства имеет классическая монография С. В. Медведева «Инженерная сейсмология» (1962), многократно переиздаваемая во многих странах мира [27].

Табл. 4.4

Горные породы	$V_p \times \rho$
Граниты	16,2
Известняки и песчаники	12,6...5
Полускальные грунты	7,2...2,9
Крупнообломочные грунты	4,2... 1,4
Пески	3,1...1
Глинистые грунты	3...1
Насыпные рыхлые	0,9...0,26

Кроме того, при сейсмическом микрорайонировании учитывается глубина залегания подземных вод и резонансные явления в исследуемых породах. Таким образом, полное приращение сейсмической интенсивности на основе детального изучения инженерно-геологических условий определяется по уравнению:

$$\Delta I_0 = \Delta I_{V\rho} + \Delta I_{УГВ} + \Delta I_{резонанс}$$

Как правило, в пределах значительных территорий может быть выделено несколько участков различной сейсмичности. На территориях, где фоновая сейсмичность оценивается не более чем в 6 баллов, сооружения проектируются без учёта сейсмических рисков. При фоновой сейсмичности более 7 баллов проектирование и строительство осуществляется по нормам для сейсмостойкого строительства (СНиП II-7-81, актуализированная редакция - СП 14.13330.2011) [45] [. Для особо ответственных зданий и сооружений принимают расчётную сейсмичность на 1 балл выше значений, полученных при сейсмическом микрорайонировании. Неблагоприятными с точки зрения сейсмической опасности всегда являются участки вблизи тектонических разломов, с сильно расчленённым рельефом, с близким к земной поверхности залеганием подземных вод.

Расчёт оснований зданий и сооружений и их фундаментов, возводимых в районах с расчётной сейсмичностью от 7 до 9 баллов, должен производиться с учётом сейсмических воздействий по *первому предельному состоянию*, т. е. по несущей способности. Несущая способность грунтов основания должна быть достаточной, чтобы не происходила потеря устойчивости или разрушение

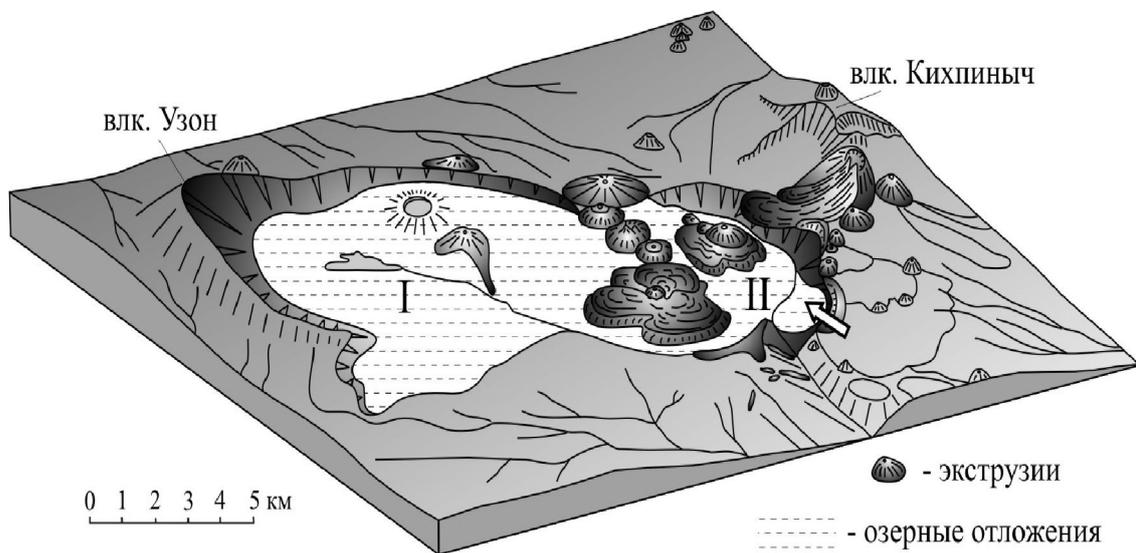
оснований. Кроме того, большое значение имеют конструктивные мероприятия, связанные с выбором размеров, этажности, формой в плане проектируемых зданий и сооружений, а также применение армирования, устройство антисейсмических швов [23, 45].

При проектировании линейных сооружений (дорог, линий электропередач и др.) следует особое внимание уделять выбору трасс, проектированию земляного полотна, выемок и насыпей, принимая более пологие углы откосов насыпей, выемок и полувыемок. Откосы рекомендуется укреплять подпорными сооружениями. Для мостов и тоннелей применяются конструктивные мероприятия, придающие им повышенную прочность и устойчивость. В сочетании глубокого знания инженерно-геологической обстановки и подбора соответствующих конструктивных мероприятий - залог успеха сейсмостойкого строительства.

Помимо землетрясений свидетельством эндогенных сил планеты являются *вулканические извержения*, одни из самых неистовых, эффектных и внушающих трепет явлений природы.

Миллионы людей живут рядом с действующими вулканами. Над ними постоянно тяготеет опасность вулканической катастрофы. Подсчитано, что за последние 500 лет в результате деятельности более чем 500 наземных вулканов погибло примерно 200 тыс. человек, одни были убиты непосредственно при извержении, другие были отравлены ядовитыми газами, третьи умерли от голода после уничтожения посевов и гибели скота [4]. Одновременно надо подчеркнуть, что именно вулканы создали многие тысячи квадратных километров суши и вулканические горы относятся к самым прекрасным созданиям природы, принося радость и вдохновение тысячам людей. Кроме того, человечество научилось использовать какую-то часть вулканического тепла в виде природного пара и горячей воды для выработки дешёвой электроэнергии и отопления жилищ, хотя это только малая доля вулканической энергии, которая может быть поставлена на службу человеку (рис. 4.5).

Долина гейзеров на Камчатке – уникальное явление природы



I - кальдера Узон; II – долина гейзеров

Плодородные вулканические почвы позволяют получать богатые урожаи зерновых, фруктов и овощей, в тропических областях именно вулканический пепел быстро восстанавливает плодородие почв, из которых в условиях тропических ливней быстро выщелачиваются питательные вещества. Всё это говорит о том, что надо научиться жить возле вулканов: предупреждать о времени, характере и месте приближающегося извержения, избегать его воздействия, ускорять восстановление опустошённых земель. Таковы основные цели современной вулканологии, которая достигла значительных успехов в изучении этого грозного явления природы.

Вулканом обычно называют конусообразную гору, образованную продуктами извержений. На вершине горы находится конусообразное углубление – кратер и жерло, соединённые с каналом, по которому поступает магматический расплав, т. е. расплавленные горные породы, насыщенные различными газами и парами воды. Отношение количества газа к количеству изливающейся магмы меняется в широких пределах, и характер извержения в основном зависит от того, насколько легко газ высвобождается из расплава. Растворимость газа в магме растёт с увеличением давления и на больших глубинах весь газ или большая его часть находятся в растворённом состоянии. Термодинамические процессы, протекающие в движущейся к поверхности магме, в конечном счёте, определяют характер освобождения газов и динамику самого извержения: от относительно спокойного перелива магмы через край кратера до мощнейших многоступенчатых взрывов с выбросом самой магмы, пепла, золы, обломков пород различных размеров. Выбрасываемый материал, будь то обломки твёрдых пород или брызги жидкой лавы, сразу выпадает обратно на землю или же уносится ветром на разные расстояния, иногда на сотни и даже на тысячи километров. Выбрасываемый материал образует особую группу пород, называемых пирокластическими. К ним относятся пемза (пористый вулканический шлак), пепел (частицы песчаной размерности), зола, лапилли (обломки диаметром от 2 до 60 мм), вулканические бомбы и глыбы

размером более 60 мм. Цементированные разности вулканического материала образуют вулканические туфы, туфопесчаники, туфобрекчии.

Жидкая магма, изливающаяся из кратера, называется лавой, которая имеет много разновидностей в зависимости от температуры и химического состава (лавы пахоэхоэ, глыбовые лавы, лава «аа» и др.) [4]. При подводном извержении образуются подушечные лавы и шарообразные отдельности. Лавовые потоки так же, как любая жидкость, движется по понижениям рельефа, но магма из-за её вязкости может быстро застывать, что приводит к пульсационному характеру движения и изменениям в направлении движения. Лавы повышенной вязкости при извержении часто формируют вулканические купола с крутыми склонами непосредственно в кратере вулкана и на его склонах. Появление куполов грозный признак последующего взрыва и формирования палящих лавин и пепловых потоков, составленных пылью, золой и раскалёнными добела глыбами. Вся эта масса твёрдого материала, насыщенная расширяющимся газом, может двигаться со страшной скоростью (до 150 км/час), уничтожая на своём пути все препятствия. Не менее грозными являются *вулканические грязевые потоки (лахары)*, представляющие смесь твёрдых обломков, горячих, но чаще всего холодных, с водой. Эти потоки формируются на склонах *эксплозивных вулканов*, где много незакреплённого вулканического материала.

На рис. 4.6 показан вид лахара, уничтожившего колумбийский город Армеро в 1983 году.

Рис. 4.6



Следует отметить, что последствия вулканических извержений могут иметь долгосрочный характер, поскольку продукты извержения, особенно пепел и зола (так называемая *тефра*), могут быть обогащены тяжёлыми металлами, определять повышенную кислотность почв и грунтовых вод. Без изучения этих моментов последствия извержения могут быть губительными для человека и животных в ближайшей или долгосрочной перспективе [4].

На территории России действующие вулканы известны на Камчатке (13 вулканов), на Курильских островах (около 100 вулканов). Потухшие вулканы распространены на Кавказе, Урале, Алтае, Саянах, Забайкалье, Приморье.

В исторических хрониках после 1500 года зафиксировано 450 вулканов, из них 353 на островах и побережье Тихого океана и 97 на побережье Атлантического океана и Средиземного моря.

На рис. 4.7 показаны примеры вулканических извержений: слева - извержение вулкана Этна в июне 2001 года, справа – извержение подводного вулкана Западная Мата (архипелаг Самоа) в 2009 году.

Рис. 4.7



Для спасение жизни людей и гибели имущества громадное значение имеет предсказание вулканических извержений по месту и по времени. В настоящее время основой таких предсказаний служит постоянный мониторинг вулканических областей с применением сейсмографов, геодезических приборов, геофизических, гидрохимических и термометрических наблюдений, позволяющих фиксировать малейшие отклонения от фоновых характеристик, что может свидетельствовать о приближающемся извержении. Большое значение имеет спутниковая съёмка вулканов. В ходе извержения применяются меры прямого воздействия на лавовые потоки, например, бомбардировка кратеров и потоков, возведение защитных и направляющих стенок для их распыления и изменения направления движения.

Ясно, что строительство и хозяйственное использование территорий близ вулканов связаны с определёнными рисками, которые требуют разумного и взвешенного подхода с точки зрения выбора места строительства, способа ведения сельскохозяйственного производства и страхования жизни и имущества. Как показывает практика статистических оценок в областях с постоянными вулканическими извержениями, риск невозможного ущерба не так уж велик. Так, наблюдения на Гавайских островах (США) показывают, что за последние 200 лет на высотах менее 2000 метров лавой покрыто 14% площади и риск полного уничтожения небольших участков земли и отдельных строений на самых опасных направлениях составляет примерно 1:60, а на менее опасных участках он вообще снижается до уровня 1:700 [4].

Экзогенная группа процессов.

Промерзание и оттаивание горных пород.

Во многих странах северного полушария породы в зимнее время промерзают на некоторую глубину, а летом оттаивают. Глубина зимнего промерзания колеблется от 0,2 м на юге России, до 3 – 5 м на границе с районами, где породы вообще находятся в многолетнемёрзлом состоянии. Это явление называется *сезонным промерзанием*, а промерзающий и оттаивающий слой часто называют *деятельным слоем*. Глубина сезонного промерзания

зависит от ландшафто-климатических параметров местности, мощности снегового покрова, состава и физического состояния пород.

При промерзании пород развивается процесс морозного пучения, т. е. увеличение объёма породы вследствие замерзания воды, находившейся в породе и поступившей в промерзающий слой в период промерзания. Связано это, прежде всего с тем, что вода при замерзании увеличивает объём на 9 - 11% за счёт льдовыделения. Если процесс промерзания протекает в условиях «открытой системы», когда количество влаги в породе увеличивается за счёт подтока воды к фронту промерзания извне, пучение породы сопровождается накоплением льда и протекает особенно интенсивно. Морозное пучение особенно широко распространено на территориях глубокого сезонного промерзания, в том числе на территории развития многолетней мерзлоты, т. е. в северных и частично средних широтах Европейской части России и Западной Сибири, почти на всей территории Дальнего Востока.

Для первичного определения нормативной глубины промерзания используется карта, приведённая в Своде Правил по Строительной климатологии - СП 131.13330.2012 [49]. Для района Санкт-Петербурга эта глубина для песчано-глинистых грунтов составляет 1,2...1,4 м, в условиях Сибири глубина промерзания изменяется от 4,0 м в песках до 2,5 м в глинистых грунтах. Для расчётов глубины сезонного оттаивания и промерзания используется Приложение 1 СНиП II-18-76 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» (актуализация 10.01.2008) [44].

Морозное пучение проявляется в образовании *пучин*, т. е. небольших вздутий и бугров высотой от 20-40 мм до 50 см на поверхности земли, полотне дорог, взлётно-посадочных полосах аэродромов, откосах земляных сооружений. Они могут поражать значительные по площади участки и особенно опасны для дорог, покрытий аэродромов, откосов выемок.

Кроме того, морозное пучение приводит к выпучиванию (вымораживанию) крупнообломочных включений, отдельно стоящих столбов, фундаментов зданий. В тёплое время года происходит протаивание пучин,

грунты насыщаются водой, разжижаются и выдавливаются в виде текучей грязеподобной массы, что вызывает многочисленные просадки пути и дорожных покрытий. На рис. 4.8 показаны ремонтные работы на дороге, покрытие которой поражено многочисленными мелкими провалами на месте пучин.

Рис. 4.8



Образование пучин — это многофакторный процесс, который зависит не только от природных факторов, - климата, состава и состояния грунтов, геоморфологического положения полотна дорог и аэродромов, но и от конструктивных особенностей земляного полотна, параметров выемок и насыпей. Большое значение имеет качество *балластного материала*, поскольку загрязнение балласта мелкозёмом делает его влагоёмким и пучинистым.

Оценивается величина пучения показателем относительной деформации ε_{fn} , рассчитанным по разности высот образца грунта до промерзания и после промерзания. Классификация грунтов по пучинистости приведена в таблице 4.5.

Табл. 4.5

Разновидность грунта	Относительная деформация пучения, ε_{fn}	Характеристика состава и состояния грунта
Практически непучинистый	Менее 0,01	Глинистые твёрдой консистенции $I_L < 0$ Песчаные при показателе водонасыщения $S_r < 0,6$ Крупнообломочные с заполнителем менее 10%
Слабо пучинистый	0,01...0,035	Глинистые полутвёрдой консистенции при $0 < I_L < 0,25$ Пески мелкие при $0,6 < S_r < 0,8$ Крупнообломочные с песчаным пылеватым заполнителем от 10 до 30%
Средне пучинистый	0,035...0,07	Глинистые при $0,25 < I_L < 0,5$ Пески пылеватые при $0,8 < S_r < 0,95$ Крупнообломочные с песком пылеватым более 30%
Сильно пучинистый	Более 0,07	Глинистые при $I_L > 0,5$ Пески пылеватые и мелкие при $S_r > 0,95$

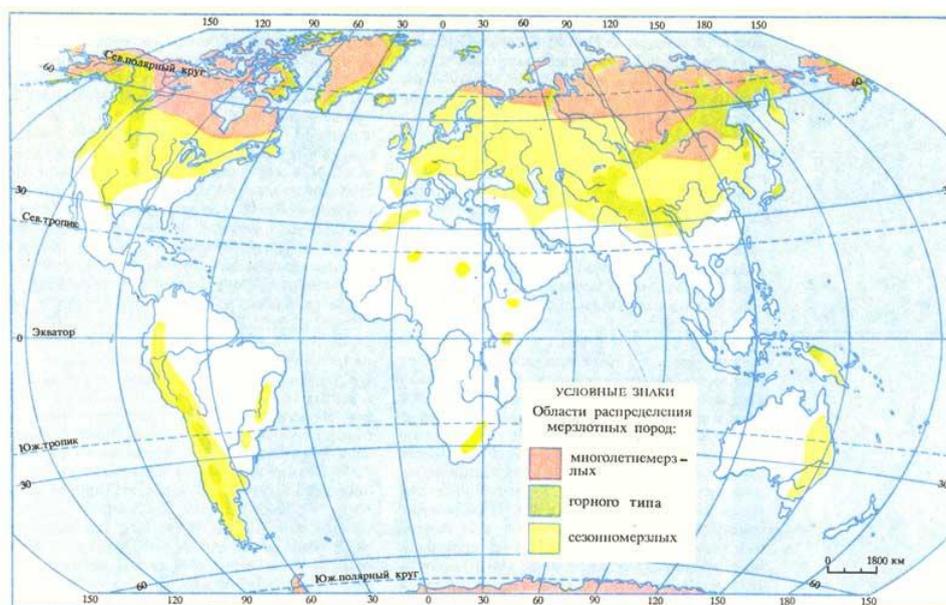
Для борьбы с пучинами на дорогах применяют профилактические и капитальные мероприятия. Последние направлены на коренное улучшение состояния земляного полотна. В группу этих мероприятий входят: устройство щебенисто-гравийных прерывателей капиллярного подъёма влаги к поверхности дорожного полотна, замена пучинистых грунтов основной площадки, а также балластного слоя и покрытия дорог, осушение пучинистых грунтов дренажами, уменьшение глубины сезонного промерзания укладкой теплоизоляционных материалов или шлака на откосах и под дорожным покрытием.

На фундаменты гражданских и промышленных сооружений при морозном пучении воздействуют нормальные и касательные силы. Нормальные усилия, воздействующие на подошву фундаментов, стремятся вытолкнуть фундамент из грунта. Это воздействие можно исключить, если заложить фундамент ниже глубины сезонного промерзания.

Касательные силы морозного пучения возникают при смерзании грунта с боковой поверхностью подземных конструкций, при этом движение грунта к дневной поверхности увлекает за собой и фундамент, смёрзшийся с грунтом. Касательные силы способны вызвать образование трещин в теле фундамента или полностью вытолкнуть фундамент лёгкого сооружения на поверхность, а также деформировать опоры мостов, линий электропередач и т. д. Меры борьбы с касательными силами требуют тщательного заанкеривания подземных конструкций, применения для обратной засыпки фундаментных пазух крупнообломочного несмерзающегося материала, использования специальных гидроизоляционных обмазок тела фундаментов.

Многолетняя мерзлота. Грунты верхней части земной коры под деятельным слоем, находящиеся постоянно в мёрзлом состоянии при температуре ниже 0°C , называются многолетнемёрзлыми, а территория их распространения – областью многолетней («вечной») мерзлоты. Вечная мерзлота – явление планетарного масштаба, она занимает не менее 25% площади всей суши, в границах России — это примерно 11.115.000 км², т. е. около 65% её территории. Схема распространения мёрзлых пород на Земле приведена на рис. 4.9

Рис. 4.9



Для России это стратегический тыл экономики, её топливно-энергетическая база и валютный цех. Здесь сосредоточено более 30% разведанных запасов всей нефти, около 60% природного газа, неисчислимы запасы каменного угля и торфа, большая часть гидроэнергоресурсов, запасов металлов, золота и алмазов, огромные запасы древесины и пресной воды. Для их вовлечения в хозяйственный оборот в России создана дорогостоящая и крайне уязвимая инфраструктура: нефтегазопромысловые объекты, магистральные нефте- и газопроводы, шахты, карьеры, гидроэнергетические узлы, возведены города и посёлки (Магадан, Якутск, Мирный, Норильск, Воркута и др.). Однако хозяйственный потенциал зоны вечной мерзлоты далеко ещё не исчерпан: на один квадратный километр здесь приходится менее одного жителя. Дальнейшее хозяйственное развитие зоны мерзлоты в ближайшей перспективе будет сталкиваться с последствиями глобального климатического потепления, которое будет вызывать усиление деградации мёрзлых толщ и связанных с ними природно-технических систем. Ожидается, что к 2050 году температура поверхности повысится на 0,9...2,3°C, глубина сезонного протаивания увеличится на 15...33%. Всё это вызовет активизацию разрушительных мерзлотно-динамических процессов: *термокарста, термоэрозии, солифлюкции*. Усилится *термоабразия* береговых уступов арктических морей. В целом экономика Севера России потребует колоссальных дополнительных затрат для обеспечения нормального функционирования многих зданий и сооружений (А. В. Павлов, Г. Ф. Гравис, 2000).

В настоящее время на территории России выделяют три зоны вечной мерзлоты:

1. Сплошная мерзлота (арктическая и субарктическая зоны). Мощность мёрзлых пород в этой зоне от 300 до 1000 метров. Отрицательная температура пород может достигать минус 14 °C (в среднем минус 5...10 °C).
2. Мерзлота с целиками. На фоне полей мёрзлых пород отмечаются отдельные участки талых пород, обусловленные разгрузкой и

отепляющим воздействием подземных вод вдоль тектонических разломов и в речных долинах. Мощность мёрзлых пород колеблется от 120 м в Чите и Игарке, до 200-300 м в Якутске и Магадане.

3. Островная мерзлота в виде отдельных массивов мёрзлых пород на полях талых. Мощность мёрзлых пород изменяется от 10 до 100 м. Температура колеблется от минус 2°C до 0.

Вечномерзлые толщи распространены не только на суше, но были обнаружены на шельфе приполярных морей Северного Ледовитого океана. Мощность шельфовой мерзлоты достигает нескольких сотен метров. Открытые вопросы — как она возникла и что с ней происходит сейчас. Возраст самых древних мёрзлых толщ, обнаруженных в Якутии, не менее 600 тыс. лет

В актуализированной строительной классификации грунтов [8] выделен класс природных мёрзлых грунтов, хотя возможно формирование и техногенных мёрзлых массивов в основании отдельных зданий и сооружений, в толще земляных плотин и т. д. В указанном документе следует обратить внимание на специфическую терминологию, применяемую при работе с мёрзлыми грунтами (многолетнемёрзлый, сезонномёрзлый, сыпучемёрзлый, морозный, твёрдомёрзлый, пластичномёрзлый, мёрзлый распученный и т. д.). Для большинства мёрзлых грунтов характерно присутствие льда в виде отдельных кристаллов, линзочек, прослоев вплоть до образования мощных толщ ископаемых льдов. В целом ряде случаев лёд выступает в роли цемента, связывающего обломки пород и минералов в породу с массивной текстурой, при этом структура самого льда меняется от мелкозернистой до крупнозернистой.

В зависимости от содержания льда выделяют разновидности: слабо льдистые с показателем льдистости менее 0,2, сильно льдистые – 0,4...0,6, очень сильно льдистые 0,6...0,9 (льдистость определяется при документации керн буровых скважин как отношение объёма ледяных включений разной формы к объёму мёрзлого грунта). Вид керна сильно льдистого грунта с

базальным ледяным цементом и ледяными прожилками показан на 4.10 (фото В. С. Фролова, п-ов Ямал).

Рис. 4.10



При содержании льда более 90% грунт относят к категории льда. Различают льды речные, наледные, озёрные, морские, донные, жильные, пещерные и ледниковые покровы мощностью до нескольких километров. На рис. 4.11 (фото Г. И. Дубикова) показан горизонтально слоистый пласт ископаемого льда в нижнем течении р. Се-Яха (п-ов Ямал).

Рис. 4.11



Ископаемый
лёд

Наши современные представления о состоянии и динамике ледяного покрова базируются на наблюдениях за горными ледниками. Эти наблюдения лежат в основе палеогеографических реконструкций за покровными оледенениями планеты в прошедшие геологические эпохи. На рис. 4.12 показан движущийся горный ледник и образующийся на переднем плане долинный зандр (нац. Парк Глейшер в штате Монтана, США).

Рис. 4.12



Динамика ледникового покрова и формирование ледникового рельефа и отложений показаны на схемах рис. 4.13 (из энциклопедии Кольера, 2012).

Рис. 4.13





В мёрзлом состоянии грунты являются достаточно прочным основанием для зданий и сооружений. Ископаемые льды и ледниковые покровы могут служить средой для специальных сооружений, но при этом приходится учитывать пластичность и текучесть льда как природного материала. В процессе эксплуатации сооружения неизбежно выделяют тепло, что приводит к растеплению мерзлоты, таянию льда, образованию пустот. С повышением температуры мёрзлые грунты резко меняют своё физическое состояние, что в первую очередь зависит от льдистости грунта. Это, как правило, вызывает неравномерные осадки зданий и сооружений вплоть до полной потери ими устойчивости. Всё это требует разработки специальных методов проектирования и строительства в зоне распространения мёрзлых пород/грунтов. Эти методы в зависимости от теплофизических характеристик пород/грунтов/почв (*теплопроводность, теплоёмкость, температуропроводность*) (см. гл. 2) и конструктивных особенностей сооружений можно свести к нескольким направлениям:

- строительство без учёта мёрзлого состояния на скальных грунтах малой льдистости;
- строительство с сохранением мёрзлого состояния для неотопливаемых помещений. Этот метод можно применять и для тепловыделяющих сооружений при мощности мёрзлой толщи более 15 м с применением специальных методов

по сохранению и консервации мёрзлого состояния (свайные основания, вентилируемые подполья, теплоотводящие и холодильные устройства и т. д.);
— строительство с предварительным протаиванием многолетнемёрзлых пород/грунтов;
— строительство на мёрзлых породах/грунтах при условии определения осадки, не превышающей допустимые деформации для данного типа сооружений.

Основной характеристикой сжимаемости мёрзлых пород/грунтов является коэффициент относительной сжимаемости a_0 под нагрузкой 0,1 МПа без возможности бокового расширения.

$$a_0 = \frac{h_m - h_t}{h_m}$$

где h_m и h_t – мощность слоя (высота образца) в мёрзлом и талом состоянии под нагрузкой.

При величине $a_0 > 0,08$ грунты рассматриваются как просадочные, а при значениях $a_0 > 0,1$ – как сильно просадочные. Наличие таких грунтов в основании зданий и сооружений часто вызывает катастрофические деформации. На фотографиях (рис. 4.14) показано аварийное состояние жилых зданий в Норильске, возведённых на сильно просадочных мёрзлых грунтах.

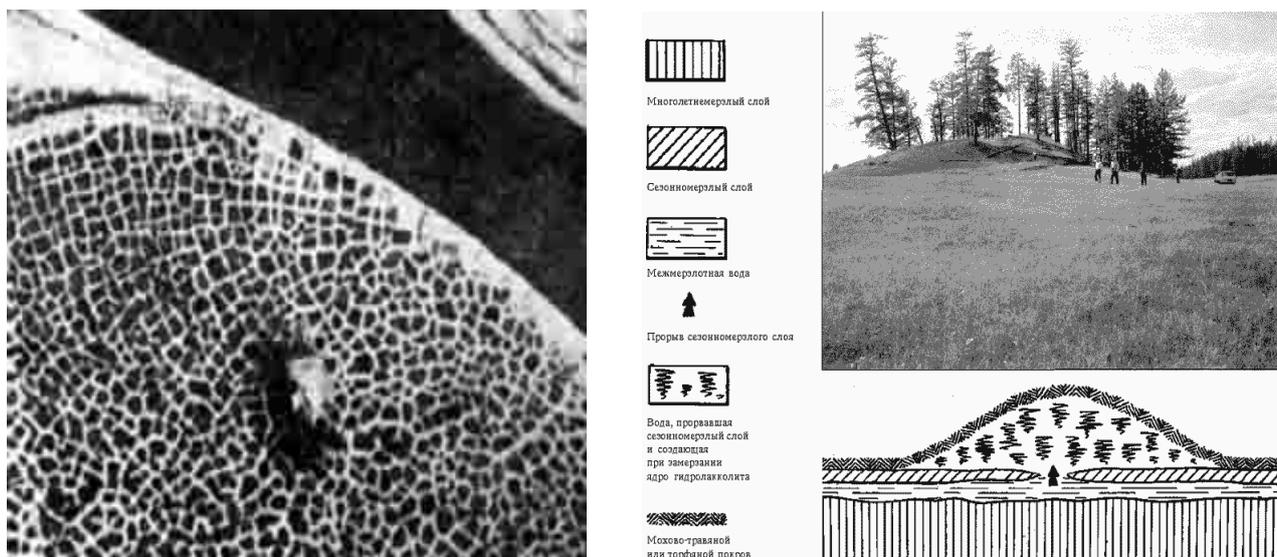
Рис. 4.14



В зоне развития мерзлоты проявляют себя многочисленные мерзлотно-динамические процессы: образование полигонального рельефа, бугров пучения, термокарст, термоэрозия, термоабразия, солифлюкция, наледные явления.

Полигональные образования включают в себя разнообразные формы многоугольников, плоских или несколько выпуклых, разграниченных морозобойными трещинами, по которым на поверхность выпучивается крупнообломочный и жидкий глинистый материал, образующий пограничные валики. Полигоны имеют размер в поперечнике от нескольких метров до нескольких сотен метров. Такие формы связаны с возникновением морозобойных трещин в зимнее время в суровых климатических условиях, обычно во влажных глинистых пылеватых и сильно пылеватых породах. В инженерном аспекте интерес представляет образование полигональных систем жильного льда, проникающих даже в многолетнемерзлые породы. Общий вид полигонального рельефа представлен на рис. 4.15 (на аэрофотоснимке в центральной части виден крупный многолетний *бугор пучения – булгуннях*), на фотографии справа показан крупный бугор пучения на болоте.

Рис. 4.15



Образование бугров пучения или гидролакколитов связано с проявлением талых вод деятельного слоя, приобретающих напор при промерзании грунтов

сверху и снизу. Высота бугров пучения изменяется от первых метров до 25 - 30 м, а диаметр от нескольких метров до 50 - 60 метров и более. Бугры пучения обычно располагаются в основании горных склонов, в низинах и на поймах рек или низких террасах. В центральной части бугра пучения располагается ледяное ядро, которое может расти от года к году, приподнимая поверхность и растительный слой. В заключительную стадию формирования центральная часть бугра под действием напора воды разрушается (иногда со взрывом и выбросом кусков породы). В этом случае в центре бугра может формироваться постоянно действующий источник или озерцо. На заболоченных участках с моховым покровом формируются так торфяные бугры или бугры-могильники, в пределах которых моховой покров, обладающий охлаждающим эффектом, способствует интенсивному росту высоты бугра в течение нескольких лет. Бугры пучения нарушают сохранность рельефа, но не представляют большой опасности, хотя и свидетельствуют об определённой интенсивности мерзлотно-динамических процессов.

В зоне мерзлоты в результате вытаивания льда и сильно льдистых пород типично образование провалов и понижений, занятых водой. Эти явления называются *термокарстом*. На аэрофотографии (рис. 4.16) представлен тундровый ландшафт, где большая часть территории занята термокарстовыми озёрами.

Рис. 4.16



Причин интенсификации образования термокарстовых понижений довольно много: это глобальное потепление климата, вырубка и уничтожение растительного покрова транспортом, избыточным выпасом оленей. В обычных условиях термокарст развивается при летнем протаивании грунтов. Образование даже небольшого водоёма на дне понижения усиливает протаивание грунтов за счёт отепляющего действия воды. Процесс вытаивания подземных льдов усиливается, озеро растёт, пока вода не уйдёт или на дне накопится значительный слой озёрных осадков. Осушенные термокарстовые котловины называются *аласами* и представляют собой участки, вполне пригодные для сельскохозяйственного производства даже в условиях короткого арктического лета. В пределах аласов возможно вторичное промерзание и формирование подземных льдов. На фотографии (рис. 4.17) показаны аласы Центральноленской равнины.

Рис. 4.17



В районах оттаивающей вечной мерзлоты могут интенсивно развиваться процессы термоэрозии и оврагообразования, особенно усиливающиеся вдоль дорожных трасс и магистральных трубопроводов. Легко разрушаются сложенные мерзлотой морские берега. Благодаря этому явлению – *термоабразии* – отступают берега многих арктических морей, исчезают небольшие острова. На фотографии (рис. 4.18) показан термоабразионный

берег о. Муостах (море Лаптевых), отступающий со средней многолетней скоростью 4-13 м/год (из работы М. Н. Григорьева, 1966).

Рис. 4.18



В комплекс мерзлотно-динамических явлений в зоне мерзлоты входит образование *наледей*, т. е. ледяных покровов на поверхности земли в результате замерзания изливающихся подземных или поверхностных (речных) вод. Известны случаи образования наледей при сбросе вод, откачиваемых из шахт и рудников, или вод, сбрасываемых промышленными предприятиями. Морфология наледей весьма разнообразна. Это бугры, валы, потоки, нависающие натёки и козырьки. Мощности наледных образований изменяется от первых метров до 10 метров, в некоторых случаях до 15-20 метров. Классификация наледей по площади и по объёму приведена в таблице 4.6 (по М. И. Сумгину).

Тип наледи	Площадь (тыс. м ²)	Объем (млн. м ³)
Очень малые	< 0,1	< 0,01
Малые	0,1 – 1	0,01 – 0,1
Средние	1 – 10	0,1 – 1
Большие	10 - 100	1 - 10
Очень большие	100 - 1000	10 - 100
Гигантские	> 1000	> 100

Вид речных наледей на реке Омолон показан на фотографиях (рис. 4.19)

Рис. 4.19



Речные наледи образуются за счёт поверхностных вод рек и ручьёв, которые по мере промерзания русла прорывают покровный лёд и изливаются

на поверхность. Крупные наледи – *тарыны*, не успевают растаять в течение короткого лета и могут служить источником местного водоснабжения.

Обычные наледи, формирующиеся за счёт подземных вод (грунтовых, надмерзлотных, межмерзлотных, подмерзлотных), образуются вблизи выходов таких вод на поверхность или возникают в период зимнего промерзания, когда происходит резкое сокращение живого сечения подземного потока и подземные воды приобретают значительный напор. Такие наледи обычно растут либо непрерывно, либо пульсационно, следуя динамике изменения напоров в пласте.

Наледи могут нарушать нормальные условия эксплуатации сооружений, создавать аварийные ситуации на дорогах, вызывать разрушение сооружений.

На фотографии (рис. 4.20) приводится вид дома, полностью затопленного наледью, которая возникла в результате промерзания обводнённого талика непосредственно под домом.

Рис. 4.20

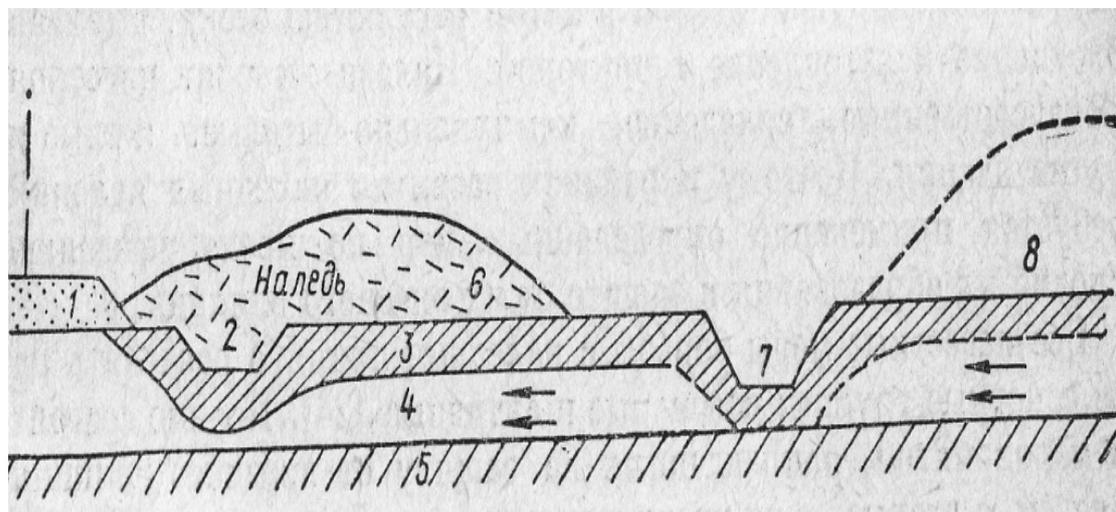


Для борьбы с наледными явлениями необходимо применять определённые меры, предупреждающие их образование и защищающие здания и сооружения от их опасного влияния. Пассивные меры борьбы с наледями

сводятся к выбору площадок и трасс, где исключено образование наледей, к периодическому скалываю образующегося льда и восстановлению нормальных размеров выемок и туннелей и других транспортных сооружений. Часто прибегают к устройству заградительных валов и ограждений, препятствующих распространению наледей.

Активные меры борьбы с наледями требуют каптажа источников и отвода воды, углубления и спрямления русел рек для расширения живого сечения потоков и увеличения скорости их течения там, где образование наледей нежелательно, утепления русел рек и ручьёв укатанными снежными валами и покровами. На дорогах часто прибегают к устройству мерзлотных поясов для изменения места образования наледи. Схема мерзлотного пояса показана на рисунке 4.21 [23].

Рис. 4.21



1 – полотно дороги; 2 – путевая канава; 3 – деятельный слой; 4 – талик с надмерзлотными водами; 5- верхняя граница мерзлоты; 6 – место формирования наледи; 7 – мерзлотный пояс; 8 – место принудительного формирования наледи.

В районах многолетней и сезонной мерзлоты наблюдается постоянное течение (оплывание) оттаявшего почвенного покрова и подпочвенных горизонтов по поверхности мёрзлых пород. Эти явление, называемое *солифлюкцией*, наблюдаются, как в природных условиях, так и в насыпях и выемках дорог. Скорость движения солифлюкционных потоков изменяется от

5...10 до 30...50 см в год при углах наклона склонов до 10°. Такие потоки угрожают устойчивости дорожного полотна и любых поверхностных незаанкеренных сооружений. На фотографиях (рис. 4.22) представлены солифлюкционные террасы на склонах различной крутизны.

Рис. 4.22



Деятельность поверхностных вод.

Подмыв и разрушение берегов морей, озёр и водохранилищ.

Подмыв и разрушение берегов – это геологический процесс, проявляющийся в изменении профиля, очертания и устойчивости берегов, являющихся составной частью *береговой зоны*, которая определяется, как зона современного взаимодействия суши и моря, состоящая из субаэральной (наземной) части (*берега*) и субаквальной части (*подводного берегового склона*) [30]. При характеристике и оценке устойчивости береговых зон различных водоёмов обычно пользуются понятиями и терминами, установленными для береговых зон морей, что показано на рисунке 4.23 (по В. П. Зенковичу).



Береговая линия – линия пересечения поверхности моря (океана, озера или водохранилища) с поверхностью суши, положение которой непостоянно и всё время изменяется. Полоса суши, примыкающая к современной береговой линии и отличающаяся развитием форм рельефа, созданных волнами при современном положении уровня моря, называется *берегом*. Полоса морского дна, примыкающая к берегу и подвергающаяся воздействию волн и прибрежных течений, называется *подводным береговым склоном* (прибрежье, или взморье).

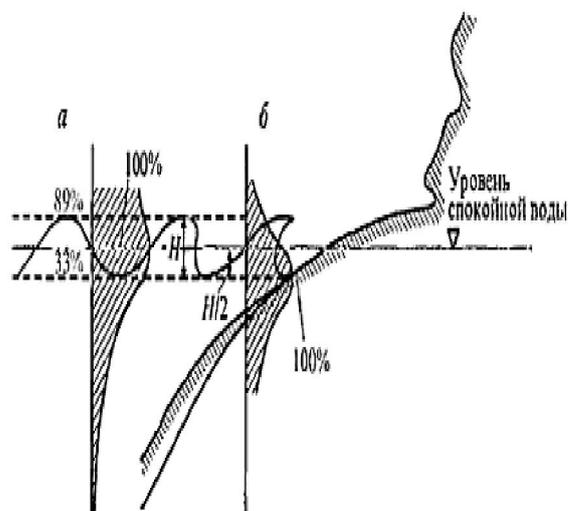
В береговой зоне крупных водоёмов, к которым относятся моря, озёра искусственные водохранилища, постоянно происходят размыв, разрушение горных пород, а затем перенос и отложение размываемого материала. В результате создаются новые формы рельефа, изменяются конфигурация береговой линии и строение береговых зон. Процесс изменения береговой линии морей и озёр в результате их разрушения под воздействием, главным образом, волноприбойной деятельности, называется *абразией*, в отличие от аналогичного процесса в водохранилищах, который принято называть *переработкой*, так как до их создания, берега формировались под воздействием других природных процессов, в иных естественных условиях. Изучение этих процессов необходимо при оценке возможности освоения береговых зон, в том числе и

для строительства различного рода сооружений, а также для выбора мероприятий по предотвращению неблагоприятных последствий переработки.

Разрушение береговой зоны морей происходит под действием гидравлических ударов волн, насыщенных обломками горных пород и химического воздействия морской воды на горные породы. Эти факторы в совокупности и представляют процесс абразии. В зависимости от вида воздействия воды на породы, слагающие берега, выделяют определённые типы абразии.

Механическая абразия, являющаяся наиболее распространённой, происходит *при* воздействии энергии волнового или прибойного потока. На фотографии показано действие удара прибойной волны на берегозащитное сооружение (буну), а на рисунке справа – схема набегания волны на берег и эпюра распределения силы её удара [7] (рис. 4.24).

Рис. 4.24



Абразионные берега характеризуются значительными глубинами прибрежья (приглубые берега) и преобладанием отвесных прибрежных откосов. Аккумулятивные берега, как правило, отмелые, и содержат обширные пляжи. На фотографиях (рис. 4.25) представлены типичные участки абразионного и аккумулятивного берегов.

Рис. 4.25



Механическая абразия представляет не только угрозу сооружениям, расположенным на участках подверженных её воздействию. На фотографии (рис. 4.26) показан переходный тип берега, когда интенсивный размыв ледниковых отложений сменяется аккумуляцией покровных грубозернистых песков, как на берегу, так и на подводном береговом склоне, что в значительной степени снижает рекреационную ценность таких участков.

Рис. 4.26



Следует упомянуть и химическое воздействие воды на определённые типы растворимых пород. Например, на поверхности известняков возникают

различные формы выщелачивания в виде борозд по трещинам или выемок по наиболее податливым участкам породы.

Термическая абразия представляет собой разрушение берега при определенных условиях в процессе теплообмена воды и слагающих берег пород, её особенности рассмотрены выше в разделе «промерзание и оттаивание горных пород».

Активность механической абразии определяют несколькими факторами. Основное влияние оказывают волны: их высота, направление, скорости движения, характер взаимодействия (торможения) волнового потока о прибрежное дно. Большое значение имеют размеры бассейна, глубина прибрежной зоны, направление и сила господствующих ветров. Породы, слагающие берег, под воздействием удара разрушаются, и образующиеся обломки переносятся в море, перемещаясь по дну или во взвешенном состоянии. Их распределение и перемещение вдоль берега определяется также направлением набега волны на берег. В результате процессов разрушения пород, слагающих берег, и накопления продуктов разрушения, вырабатывается профиль берега в его надводной и подводной частях. В защите берега от разрушения основную функцию выполняет пляж. В зависимости от его ширины, он может полностью или частично гасить энергию волн. Сокращение пляжей естественным или искусственным образом (добыча песка) приводит к увеличению темпов абразии.

Большое значение имеет литологический состав пород, их строение, физико-механические свойства, а также условия залегания. В таблице 4.7 приведена классификация горных пород в зависимости от их устойчивости к абразии. [51].

Табл. 4.7

Класс	Тип пород		Особенности абразионного процесса
I	Кристаллические, некоторые особо прочные метаморфические и осадочные породы		Преимущественно механическая, протекает крайне медленно
II	Большинство типов метаморфических и сцементированных пород, а также эффузивные породы		Протекает медленно
III	Слабосцементированные осадочные породы		Сопrotивляются абразии, но при размыве тонкий обломочный материал выносится из береговой зоны
IV	Слабосцементированные осадочные образования резко неоднородного состава		В береговой зоне остаются остаточные накопления из отмытых грубых включений (валунно-глыбовые и галечные отмостки)
V	Рыхлые породы песчаного, песчано-глинистого, песчано-галечного состава		Наиболее интенсивно подвергаются разрушению, дают начало большим массам наносов
VI	Хорошо растворимые породы	Сцементированные однородные, химически чистые породы - каменная соль, гипс, чистые известняки и мраморы	Подвержены химической абразии
		Глины и суглинки, сильно засоленные, содержащие значительное количество хорошо растворимых компонентов	
VII	Криогенные породы	Лёд Мёрзлые осадочные породы	Подвержены термической и химической абразии.

На рисунке 4.27 показано влияние условий залегания горных пород на интенсивность абразии.



Наиболее быстрое обрушение пород происходит в случае падения пластов в сторону берега (б), так как вода подрезает сразу целую пачку пластов или полную мощность слоя. Этот процесс несколько замедляется при горизонтальном залегании пластов (а), и наиболее медленно он протекает в случае падения пластов в сторону суши (в) [7].

Интенсивность развития абразии зависит от морфологии берега и направленности тектонических движений. Тектонические движения, выражающиеся в поднятии или опускании участков прибрежных территорий, влияют на формирование "берегов погружения", которые характеризуются извилистостью береговой линии, наличием большого количества заливов, бухт, в то время как "берега поднятия" обычно ровные и плоские.

Озёра – это закрытые водоёмы, непосредственно не сообщающиеся с морями и океанами. Формирование береговой зоны в озёрах происходит практически также, как и на морских побережьях. Озёрные воды участвуют в абразии береговых уступов и подводного берегового склона, обработке, сортировке и аккумуляции обломочного материала, образуя волноприбойные ниши и абразионные террасы. Изменения уровня воды в озере способствует распределению продуктов абразии в береговой части и на его дне: формируются пляжи, береговые валы, дюны.

Водохранилища характеризуются в общем виде такими же закономерностями формирования береговых зон, как в морях и озёрах, но их

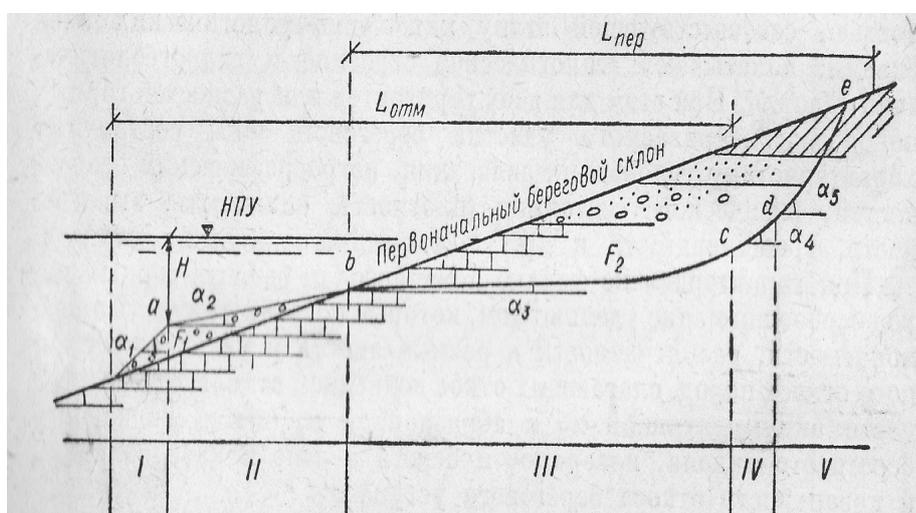
динамика и интенсивность существенно отличаются, так как влияет специфика искусственного образования и гидрологического режима водохранилищ [16].

При заполнении водохранилищ водой она перерабатывает берега, подмывая и разрушая их, что вызывает нарушение равновесия масс горных пород на склонах и образование осыпей, обвалов, оползней или оживления деформаций на участках старых оползней. Этот процесс происходит наиболее интенсивно в первые годы после наполнения водохранилища, так как резко изменяется устойчивость склонов. Впоследствии, они постепенно приобретают относительно устойчивое состояние, и процесс переработки замедляется.

Конфигурацию и размер зон переработки обычно рассчитывают и прогнозируют различными расчётными методами, среди которых широко используется балансово-геометрический метод Г. С. Золотарёва [23]. На рисунке 4.28 приведён абразионно-аккумулятивный берег, при развитии которого часть материала оседает у берега, определяя размер зоны переработки по соотношению объёмов (в плоской задаче – площадей) размыва и аккумуляции. Для реализации метода на конкретных участках необходимы стационарные наблюдения, чтобы установить реальные значения коэффициента аккумуляции.

Рис. 4.28

Графоаналитическое представление переформирования берега водохранилища
(по Г. С. Золотарёву)



I – откос подводной отмели; II – аккумулятивная часть подводной отмели; III – абразионная часть подводной отмели; IV – зона наката; V – надводный откос; $L_{пер.}$ – ширина зоны переработки; $L_{отм.}$ – ширина подводной отмели. H – глубина бровки подводной отмели; $\alpha_1... \alpha_5$ – характерные углы наклона различных участков береговой зоны водохранилища, возникшей в результате переработки; НПУ – нормальный подпёртый уровень водохранилища.

Для защиты берегов водоёмов от подмыва и разрушения применяют профилактические и капитальные мероприятия. Профилактические мероприятия направлены на предупреждение развития процессов в береговой зоне и включают охрану существующих пляжей, берегоукрепительных сооружений, а также стационарные /режимные/ наблюдения за состоянием тех или иных участков и сооружений. Капитальные мероприятия предусматривают строительство сооружений и береговых укреплений, которые предназначены как для непосредственной защиты берега от прямого воздействия волноприбоя (сооружения пассивной защиты), так и для сохранения и накопления в прибрежной зоне рыхлого материала, слагающего пляж и аккумулятивную отмель. [7, 23]. На фотографии слева показан участок берега, защищаемый от абразии системой бун и затопленных волноломов (Черноморское побережье России). Справа - показана защита берега с помощью наброски *тетраподов* (Адриатическое побережье Черногории) (рис. 4.29).

Рис. 4.29

Примеры инженерной защиты берегов (фото М. С. Захарова)



При инженерно-геологической оценке береговых зон, кроме природных факторов, влияющих на их разрушение, необходимо учитывать всё возрастающие техногенные нагрузки, которые они испытывают в настоящее время, являясь территориями интенсивного освоения.

Эрозионные явления (плоскостная эрозия, смыв почв и оврагообразование, формирование речных долин, селевые потоки).

Плоскостная эрозия и оврагообразование. На поверхность материков ежегодно в виде дождя и снега выпадает до 112 тыс. км³ [52]. Выпавшие жидкие атмосферные осадки на склонах образуют плоскостной сток и производят струйчатую эрозию дневной поверхности. В результате деятельности рассеянного поверхностного стока и гравитационных сил на склонах формируются *делювиальные отложения*, весьма склонные к оползневым явлениям различного масштаба.

На наклонных поверхностях струи воды увлекают за собой мелкие частицы и вызывают плоскостной смыв. Сливаясь вместе, струи воды вызывают образование промоин, которые со временем могут совершенно изменить конфигурацию первоначального склона. Струйчатая эрозия выражается, прежде всего, в *оврагообразовании*. Оврагообразование наносит существенный ущерб народному хозяйству в целом ряде областей. Овраги глубоко и интенсивно расчлняют местность, уничтожают пахотный слой, иссушают грунтовые воды. Ко второй половине XX века на территории б. СССР овраги и прилегающие к ним размывы земли занимали около 5 млн. га, причём ежегодный прирост оврагов составлял около 2% от их общей площади [23].

На фотографии показаны активные овраги в районе Днепропетровска (Украина) (рис. 4.30). В заключительную стадию овраг переходит в балку с пологими склонами, обычно закреплёнными растительностью (на фото справа).



Овраг — это форма рельефа, сформировавшаяся на склоне или водоразделе и представляющая собой извилистый или ветвящийся врез, по тальвегу которого может протекать временный или постоянный водоток, связанный с грунтовыми водами. Длина оврагов изменяется от первых десятков метров до многих десятков километров, глубина соответственно от первых метров до 20-30 метров. Овраги в процессе своего развития проходят несколько последовательно сменяющихся стадий: от V-образной промоины до распластанной балки с пологими склонами. В активную фазу роста скорость развития оврага может составлять 40 – 70 м/год. Особенно интенсивно овраги растут на склонах крутизной более 8°. Обычно интенсивность проявления оврагообразования оценивается по *показателю овражности*, т. е. по суммарной протяжённости оврагов на каждый квадратный километр площади. Этот показатель может меняться в широких пределах: от 0,5 до 3 км/км². Высокий показатель овражности имеют многие районы Украины, Молдавии, Северного Кавказа, Поволжья, Западной и Восточной Сибири.

Генетически овраги связаны с легко размываемыми породами/грунтами. Особенно склонны к оврагообразованию лёссовые грунты, отличающиеся исключительной водонеустойчивостью в силу особенностей своего состава, состояния и свойств (см. главу 2). Наиболее широко овраги развиты в степной и лесостепной полосе, где в геологическом строении местности принимают

участие лёссовые породы и некоторые другие образования (элювиально-делювиальные, аллювиальные), повсеместно перекрывающие низкие водоразделы, склоны и речные террасы. Эти образования представлены лёгкими пылеватыми и сильно пылеватыми суглинками, имеющими малую плотность и являющимися легко размываемыми и размокаемыми грунтами. Наличие таких грунтов и отсутствие растительного покрова являются решающими факторами для развития овражно-балочных явлений.

Борьба с овражно-балочными явлениями должна носить комплексный характер и включать в себя такие мероприятия как лесомелиоративные работы в виде различных форм лесонасаждения для регулирования поверхностного стока и укрепления поверхностных горизонтов почв и подстилающих горных пород. Эффективным дополнением к лесомелиоративным мероприятиям является посев многолетних трав, которые благодаря своей мощной корневой системе хорошо укрепляют почвенный покров. Для предотвращения размыва необходимо создание системы водоулавливающих и водорегулирующих сооружений непосредственно в пределах водосборного бассейна (нагорные и водоотводные канавы, лотки, каскады малых плотин и фильтрующих дамб). Рост активных оврагов может остановить засыпка промоин, мощение дна оврагов камнем, укрепление склонов. Инженерные мероприятия и работы должны опираться на продуманную систему землепользования и агротехнических правил: безотвальная вспашка земель, недопустимость вырубки леса, избыточного выпаса скота и т. п.

Водная эрозия во всех своих проявлениях наносит колоссальный ущерб почвенному покрову. Различают нормальную (естественную) и ускоренную эрозию почв. Нормальная эрозия - это медленный смыв механических частичек с поверхности почвы, покрытой естественной растительностью, в минимальных размерах, который восстанавливается в результате природного почвообразовательного процесса. *Ускоренная эрозия* - значительный смыв

верхних, наиболее плодородных почвенных слоев и глубокий размыв почв, материнских и коренных пород, вплоть до образования промоин и оврагов.

При плоскостной водной эрозии под влиянием стекающих по склону талых и дождевых вод на поверхности пашни образуются мелкие струйчатые размывы, которые легко разравниваются обработкой. При этом мощность пахотного слоя уменьшается, и для ее восстановления последующими обработками припахивают нижележащие, менее плодородные слои почв.

На основе длительных наблюдений установлено, что почвы сельскохозяйственных угодий России ежегодно теряют около 1,5 млрд. т плодородного слоя вследствие проявления водной эрозии. Годовой прирост площади эродированных почв составляет от 0,4 до 1,5 млн. га, оврагов - от 80 до 100 тыс. га. Более 54% сельскохозяйственных угодий и 68% пашни в настоящее время эродировано или эрозионно опасно. Оврагами разрушено 6,6 млн. га земель. На таких эродированных землях урожайность снижается на 10-30%, а порой и на 90%. Причиной снижения биопродуктивности сельскохозяйственных почв является уменьшение запасов гумуса. Ежегодные его потери составляют в среднем 0,62 т/га. Если сейчас на каждого жителя планеты приходится в среднем по 0,28 га плодородной земли, то к 2030 г. эта площадь может сохраниться до 0,19 га.

Эрозия почв развивается активно, когда не проводят противоэрозионные мероприятия, даже не требующие больших материальных затрат, или в случаях неправильного использования человеком земельных угодий. К ним относятся: вспашка и посев сельскохозяйственных культур вдоль склонов; возделывание пропашных культур на эрозионно-опасных территориях; распашка приовражных и прибалочных площадей, днищ и склонов балок; рубка леса, играющего почвозащитную роль; неумеренная пастьба скота, выбивающего тропы, по которым растут промоины, дающие начало оврагам; разбивка полей севооборотов без учета рельефа местности вдоль склонов, приводящая к образованию промоин по межевым бороздам. Неправильная разбивка дорог,

плохой уход за ними приводят к тому, что неукрепленные кюветы превращаются в овраги. Большой вред почвам наносит многократная механическая обработка: вспашка, культивация, боронование и т.д.

Повышение культуры земледелия и организационно-хозяйственного уровня сельскохозяйственного производства обеспечивает практически полное прекращение эрозионных процессов.

Линейная эрозия и формирование речных долин. Временные потоки атмосферных вод, стоки из болот, источники подземных вод образуют постоянные водотоки – реки. Долины рек – это области, где с доисторических времён сосредоточена жизнь и деятельность человека. В долинах рек расположено большинство населённых пунктов: от маленьких посёлков до крупнейших городских агломераций и столиц многих государств, а также многочисленные промышленные объекты: плотины, гидромелиоративные системы, энергоёмкие производства, мосты, речные порты. По берегам рек проложены шоссейные и железные дороги, магистральные трубопроводы, линии электропередач. Геологические процессы, протекающие по берегам рек и на склонах речных долин, нарушают их устойчивость, угрожают существующим и проектируемым сооружениям, осложняют нормальную жизнь людей и представляют большой научный и практический интерес.

Геологическая работа любой реки определяется количеством воды в русле, скоростью течения и положением *базиса эрозии*, к которому стекает речной поток. Количество воды зависит от площади водосбора, называемой бассейном реки. Скорость течения определяется продольным уклоном русла или профилем равновесия между верховьями реки и положением базиса эрозии. Количество и скорость воды в русле – величины переменные, зависящие от режима питания реки в годовом цикле.

Различают: меженный период (межень) - период наименьшего количества воды в реке, которому соответствует самый низкий уровень воды в русле –

меженный горизонт. Половодье (паводок) - период максимального количества воды в русле, которому соответствует самый высокий уровень воды в русле.

Гидротехническое строительство в речных долинах и прежде всего выбор мостовых переходов и возведение мостов требуют данных о расчётном горизонте высоких вод, соответствующем средним значениям из наибольших значений за многолетний цикл наблюдений; о наивысшем уровне высоких вод, т. е. о положении горизонта воды, выше которого по многолетним данным вода не поднималась. Основными источниками питания рек являются таяние снега и льда, дожди и подземный сток. Поток движущейся воды в русле характеризуется турбулентным вихревым режимом с непостоянной скоростью в различных точках живого сечения реки. Энергия потока зависит от массы воды и скорости её течения, т. е.

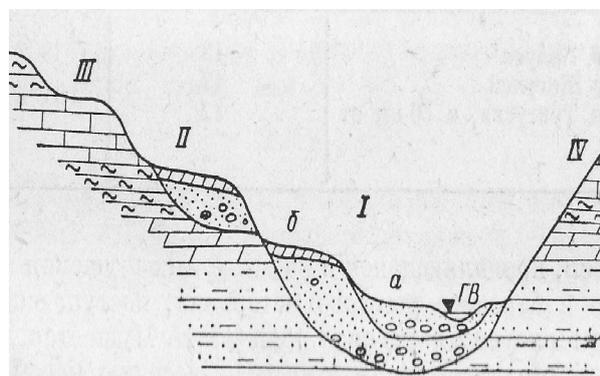
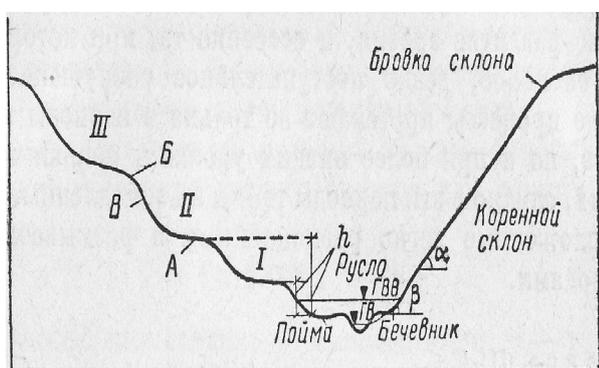
$$\mathcal{E} = \frac{mv^2}{2}$$

Чем больше расход воды в реке и чем выше скорость течения, тем более значительную работу может совершать речной поток. Эта работа заключается в донном размыве (донная эрозия), боковой эрозии, в переносе продуктов разрушения пород и аккумуляции продуктов переноса. На фотографии (рис. 4.31) показаны последствия боковой эрозии на одном из участков долины реки Оби.



В историческом аспекте времени сочетание указанных процессов приводит к формированию речной долины. Строение речной долины с различными типами террас показано на рисунке 4.32 [23].

Рис. 4.32



Элементы террас: А – поверхность, Б – бровка, В – склон (уступ).
 h – высота; α – угол естественного откоса коренных пород; β – угол естественного откоса бечевника.
 ГВВ – уровень высоких вод.
 ГВ – меженный горизонт
 I, II, III – надпойменные террасы.

I – террасы аккумулятивные:
 а – вложенная, б – прислонённая.
 II – терраса эрозионная (цокольная).
 III – терраса скульптурная.
 IV – коренной склон.

Из приведённых рисунков видно, что различные участки речных долин имеют специфическое геологическое строение и характеризуются разной

устойчивостью. При выборе участков и створов при строительстве, для прогноза устойчивости берегов рек необходимо учитывать региональные и местные факторы, правильно оценивать динамику русловых и береговых процессов в аспекте актуального и исторического времени. Для указанных целей необходимо иметь инженерно-геологическую карту или карту четвертичных отложений, продольный и поперечные профили реки на различных участках, *гидрографы* реки для различных участков, характеризующие колебания уровней и расходов реки в течение года.

Большие многоводные реки меридионального направления вырабатывают асимметричные долины с крутым постоянно подмываемым правым берегом и пологим аккумулятивным левым берегом. В результате действия сил Кориолисова ускорения для устойчивых потоков воды на вращающемся земном шаре, струи текущей воды всегда отбрасываются к восточному берегу для рек, текущих на север, и к западному берегу – для рек, текущих на юг.

Речные отложения называются аллювием, и по месту накопления различают *русловой, пойменный, террасовый и старичный аллювий*. Русловой аллювий, залегающий в русле реки и подстилающий нижнюю часть пойменных отложений, обычно представляет собой крупнообломочный материал – галечник и разнозернистые пески. Русловой и древний пойменный аллювий, представленный крупнозернистыми отложениями, может использоваться как надёжное основание, в том числе и для мостовых опор. Пойменный аллювий, имеющий слоистое строение, представлен произвольным чередованием песков, супесей и суглинков, часто обогащён органикой, вплоть до формирования на отдельных участках прослоев торфа.

В ходе эволюции речной долины русло реки меняет своё положение, отмирающие и отшнурованные части русла формируют старицы, где отлагаются мелко- и тонкозернистые водонасыщенные осадки и формируются низовые болота. Это старичный аллювий. Участки, сложенные пойменным и

старичным аллювием отличаются сложными условиями строительства и часто требуют предварительной инженерной подготовки и осушения территории.

Террасовый аллювий надпойменных террас отличается наиболее сложным линзовидным строением, при котором в нижних частях разреза накапливается крупнообломочный материал, а верхи представлены тонкозернистыми отложениями с многочисленными глинистыми и алевритовыми прослоями. В целом, для аллювиальных отложений характерны косая слоистость, переслаивание и выклинивание слоёв. Высокие надпойменные террасы (так называемые боровые террасы), сложенные древним аллювием и содержащие устойчивые горизонты грунтовых вод, отличаются наиболее благоприятными условиями строительства. Однако, в целом ряде регионов такие террасы требуют особого режима землепользования в силу исключительного состава растительного покрова и животного мира.

Борьба с русловыми процессами подмыва и разрушения речных берегов требует разработки капитальных и профилактических мероприятий, иногда затрагивающих весь речной бассейн. Профилактические мероприятия включают в себя целый ряд мер по регуляции поверхностного стока, организации мониторинга, берегоукреплению протяжённых участков, повышению устойчивости береговых склонов и пляжей. Эти мероприятия особенно важны для рек с обширным и длительным половодьем с учётом глобальных и локальных изменений климата и водного режима больших и малых рек. За летние месяцы 2013 года проливные дожди в различных частях Европы вызвали катастрофические наводнения с человеческими жертвами. На фотографии (рис. 4.33) показан затопленный посёлок Кресиче в Чехии в июне 2013 года (в правой части снимка видна обваловка русла реки). На нижнем снимке показаны масштабы наводнения на севере Индии в 2013 году (погибли по меньшей мере 130 человек).

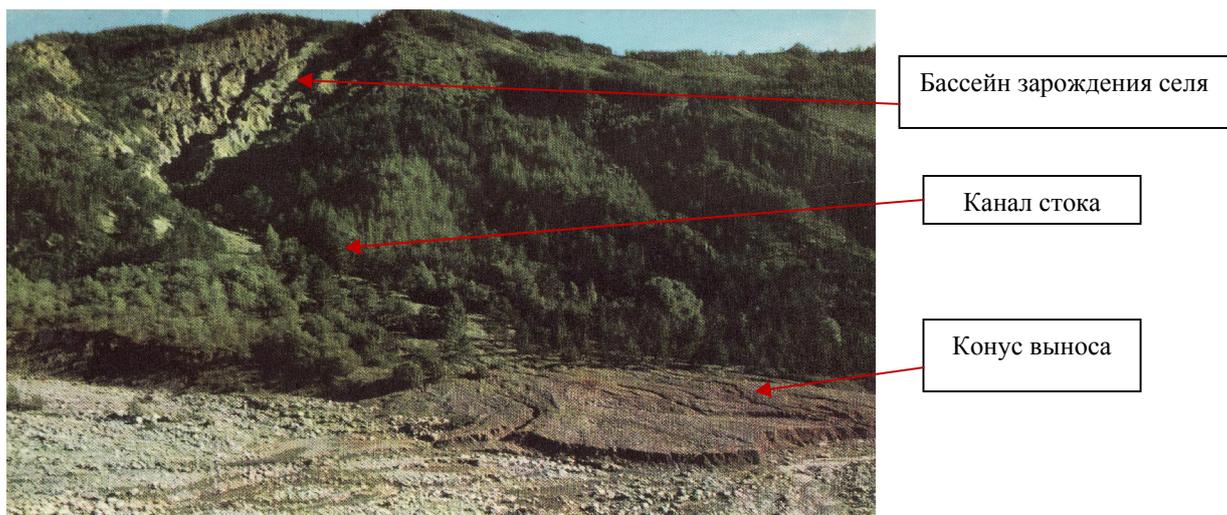


Капитальными мероприятиями является строительство различных берегоукрепительных и струенаправляющих сооружений (каменные наброски, габионы, плиты, дамбы-буны, траверсы и др.). На больших реках необходимо возведение плотин и создание крупных водохранилищ, способных принять большие объёмы паводочных вод. При этом решается целый комплекс проблем: защита от эрозионных процессов, наводнений, улучшение условий судоходства, выработка электроэнергии и др.

Паводки на горных реках и селевые явления. Паводки, происходящие на горных реках и временных водотоках и несущие большое количество твёрдого обломочного материала (глыб, валунов, щебня, гальки и песка), перемешанного с глинистым мелкозёмом называются *селями*. Сели внезапны, кратковременны

(до 3 - 5 часов) и характеризуются пульсационным волновым режимом из-за образующихся заторов. Следует подчеркнуть, что сели не являются характерной чертой режима водного потока и их формирование определяется стечением ряда условий. Содержание твёрдого материала в селевом потоке может варьировать в широких пределах – от 10 - 15 до 40 - 60%. В зависимости от преобладающего состава твёрдого материала сели подразделяются на водокаменные и грязекаменные [23]. Живая сила селей возрастает пропорционально произведению движущейся массы на половину квадрата скорости течения. Благодаря своей колоссальной энергии сели способны совершать огромную геологическую работу, перемещая значительные массы рыхлого материала, скапливающегося на горных склонах и в руслах горных рек. Такие потоки представляют большую опасность для инженерных сооружений. При скорости 6-8 м/с сели сметают все встречающиеся на его пути препятствия. Селевые потоки серьёзно деформируют транспортные сооружения, разрушают мосты, заносят отверстия водопропускных труб. На значительных территориях селевые потоки регулярно вызывают большие разрушения. В 1929 году сели снёс половину Алма-Аты и оставил после себя 1,5 млн. т каменных обломков, цементированных глинистым мелкозёмом до состояния бетона.

В селеопасных долинах обычно выделяют три характерных участка: зону водосбора, где зарождается сели; канал стока, где поток насыщается обломочным материалом; конус выноса, где селевой поток разгружается и образует конус выноса (см. рисунок 4.34).



Водосборные бассейны селевых потоков могут располагаться на различных высотах. В зависимости от гипсометрического положения в питании селевого потока могут принимать участие дождевые воды, воды ледников и снежников, прорывы вод ледниковых озёр. Твёрдый материал поставляют различные обломочные отложения – элювий, делювий, коллювий, аллювий, скапливающиеся в результате выветривания и перемещения горных пород в горных и предгорных долинах. Сами селевые потоки образуют определённый тип отложений, называемых пролювиальными. Они формируют конуса выноса, шлейфы и покровы в устьях горных рек и временных водотоков, на предгорных равнинах и межгорных впадинах.

Меры борьбы с селями должны носить комплексный характер и включать в себя: организацию службы режимных наблюдений в пределах селеопасного района; устройство охранных зон; выполнение лесомелиоративных работ; работы по регуляции поверхностного стока на склонах водосборного бассейна; сооружение регулирующих и улавливающих стенок в руслах потоков; строительство каналов, селеспусков для пропуска селевых потоков; строительство защитных и ограждающих сооружений; выполнение различных профилактических работ.

Среди капитальных противоселевых сооружений особо следует упомянуть селезащитную плотину в урочище Медео на р. Малая Алматинка, возведённую для защиты города Алма-Аты и горного катка Медео от регулярных разрушительных селей. Вид на каток Медео с плотины приведён на рис. 4. 35.

Рис. 4.35



Каменно-набросная плотина высотой 120 м при ширине около 500 м была возведена методом направленных взрывов бортов ущелья. К сожалению, строительство плотины не было доведено до проектных решений. В 1973 году в бассейне реки Малой Алматинки сформировался очередной селёк, который чуть не снёс упомянутую плотину, переместив 4 млн. м³ селевых масс. Максимальный расход селевого потока достигал 2-3 тыс. м³/с. Срочные меры, предпринятые для спасения плотины, позволили предотвратить катастрофу, угрожающую катку Медео и городу Алма-Ате.

Явления, связанные с совокупной деятельностью подземных и поверхностных вод.

Переувлажнение и заболачивание территорий. Различают «болота» и «заболоченные земли». Под «болотом», согласно определению Всесоюзной конференции по кадастру болот в 1934 г. понимают избыточно увлажненный участок земной поверхности, покрытый слоем торфа 30 см и более в неосушенном состоянии и 20 см в осушенном [13]. Все другие избыточно увлажненные участки с болотной растительностью называют заболоченными землями.

Если мощность торфа (т.е. породы органического происхождения) 0,7 м и более, такое образование называется *торфяником* (торфяным массивом), где скопление торфа считают полезным ископаемым.

Активное заболачивание территории характеризуется несколькими признаками:

- обильное застойное или слабопроточное увлажнение почвенного слоя и подстилающих грунтов;
- наличие особой болотной растительности;
- процесс торфообразования.
- формирование своеобразного микрорельефа.

Образование болот происходит либо в результате заболачивания суши, либо путем зарастания водоемов. При заболачивании суши болота могут образовываться на ровных плоских поверхностях, в понижениях рельефа, где скапливается и застаивается вода, а также на пологих склонах или у их основания вследствие избыточного увлажнения рыхлых отложений, подземными и атмосферными водами.

Широко распространено заболачивание суши в местах периодических разливов рек и на низких приморских террасах при периодическом затапливании их морем.

Образование болот может происходить и за счет зарастания озерных водоемов, которые превращаются в застойные или слабопроточные водоёмы. При этом происходит зарастание дна озер или формирование сплавины из болотной растительности на поверхности воды. На дне озер накапливается или органические осадки, называемые *сапропелем*. На болотообразовательный процесс влияет *хозяйственная деятельность человека*. Подтопление территорий, сброс различных хозяйственных вод, создание искусственных водоемов, строительство дорог и т.п. часто приводят к развитию процесса заболачивания и образованию болот.

По соотношению тепла и влаги, которое определяет влагообеспеченность территории, можно выделить следующие зоны развития болот:

— Зона постоянного избыточного увлажнения, где количество атмосферных осадков преобладает над величиной испарения в связи с недостатком тепла. Болота и торфонакопление развиваются интенсивно, занимают значительные площади.

— Зона переменного, неустойчивого увлажнения, где в отдельные периоды может наблюдаться недостаток увлажнения. Интенсивность болотообразования ниже, чем в первой зоне. Болота в большей степени развиты в отрицательных формах рельефа.

— Зона недостаточного увлажнения с преобладанием испарения, с высокой теплообеспеченностью. Болота здесь встречаются редко, они небольшие по размерам, мелкие, расположены преимущественно в поймах рек.

Перечисленные факторы обуславливают неравномерность процесса заболачивания как в пространстве, так и во времени. Примером является сильно заболоченный регион – Западно-Сибирская равнина. Болота здесь размещены неравномерно. Наибольшую площадь они занимают на низменностях в новейших тектонических впадинах, особенно на участках с плоским и пологоволнистым рельефом, на речных террасах. Для зарождения болот, кроме переувлажнения пород, большое значение имел их глинистый состав, а также наличие мерзлоты в северной части равнины. Возвышенные

водоразделы заболочены меньше. Инженерная деятельность человека, к сожалению, приводит к увеличению площадей заболоченных земель на территории городов и поселков. На аэрофотографии (рис. 4.36) показан фрагмент Васюганских болот, занимающих площадь 7,1 млн. га и содержащих 2% мировых запасов торфа.

Рис. 4.36



По глубине и мощности торфа болота разделяются на: мелкие - до 2 м; средние – 2–4 м; глубокие – 4–6 м; очень глубокие – > 6 м [26]. Эта классификация особое значение имеет для линейного строительства.

Болота и заболоченные земли являются неблагоприятными участками для строительства зданий и сооружений. Для определения возможности строительства необходимо установить генезис, тип, глубину, рельеф, площадь болота, характеристики торфа.

Анализ строительных классификаций позволяет объединить их в следующие три типа (Емельянова, 2012):

- болота, сложенные торфами лесного и лесотопяного подтипов устойчивой консистенции с несущей способностью не менее 0,025 МПа.
- болота, сложенные торфами лесотопяного и топяного подтипов слабоустойчивой консистенции с несущей способностью 0,025–0,01 МПа.

— болота, сложенные торфами топяного подтипа неустойчивой консистенции с несущей способностью менее 0,01 МПа.

Консистенцию торфа характеризует способность его к расплыванию, выпору, связь растительных остатков между собой.

Для каждого типа болот характерны определенные типы торфа с различными физико-механическими характеристиками, степенью разложения, зольностью и ботаническими видами, что также используется для типизации болот и выбора способов их хозяйственного использования, учитывая, что торф является ценнейшим полезным ископаемым. Интенсивная добыча торфа требует особой технологии и часто имеет отрицательные последствия для целых регионов (нарушение водного баланса, переосушение и пожароопасность). На фотографии (рис. 4.37) показаны бурты торфяных брикетов, подготовленных для транспортировки.

Рис. 4.37



Согласно [8] торфом называют породу, содержащую более 50% органического вещества. По степени разложения органики выделяют слаборазложившийся торф (<20% гумуса), среднеразложившийся (20–45%), сильно разложившийся (>45%). По содержанию минеральной составляющей (песок, пыль, глина) рассматривают нормально зольный торф (<20% золы при

сжигании) и высокозольный - ($>20\%$). Основные особенности физико-механических свойств торфов – это высокая влажность, влагоемкость, низкая плотность, чрезвычайно сильная, неравномерная и длительная сжимаемость, зависящая от видов растительных остатков и степени их разложенности. Торф обладает невысокой прочностью, показатели которой зависят от зольности и ботанического вида торфа. Все эти характеристики торфа определяют их как отложения слабые, малопригодные для строительства на них различных сооружений.

Существуют различные методы подготовки болот и заболоченных территорий для строительства на них сооружений и использования для других целей. Все они требуют детальной информации об инженерно-геологических условиях этих территорий – строении болот, типах их водного питания, видах и свойствах торфа, рельефе поверхности болот и их дна, минеральном составе грунтов дна (характер пород, подстилающих болотные отложения) и других природных условиях. Только на основе этих данных можно наметить рациональный комплекс мероприятий по использованию болот.

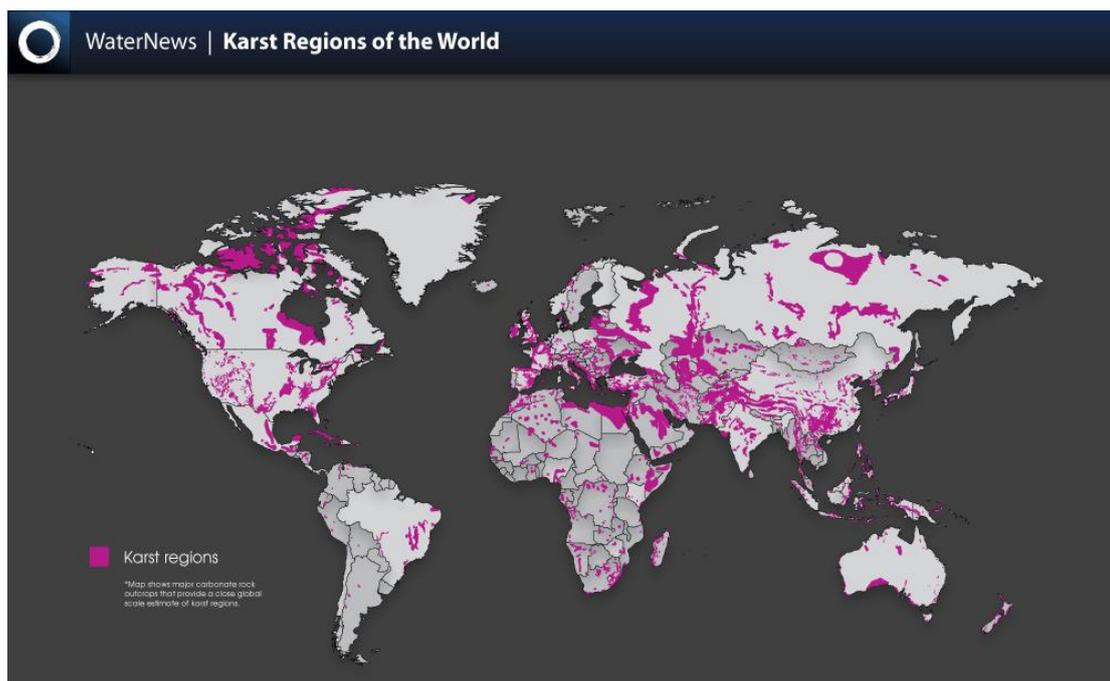
Массовое гражданское и промышленное строительство (строительство зданий и сооружений городов, поселков) обычно производят после осушения заболоченных территорий или после планировки путем отсыпки или намыва на болотные отложения глинистых, песчаных, гравийных, галечниковых, щебенистых грунтов. Для обеспечения устойчивости зданий и сооружений применяются специальные конструктивные мероприятия, широко используются свайные основания с обязательным применением различного вида дренажей.

Для линейного строительства (дороги, линии электропередач, трубопроводы) в строительстве сооружают насыпи из глинистых и крупнообломочных пород с полным или частичным выторфовыванием (вырезают и убирают болотные отложения) в зависимости от мощности болотных отложений и их устойчивости, с обеих сторон насыпи сооружают водоотводящие каналы.

Для сельскохозяйственного использования территории под покосы, пастбища или посевы применяется комплексная мелиорация, в составе которой используют перераспределение поверхностного стока и подземных вод таким образом, чтобы не допустить переосушение или переувлажнение отдельных участков осваиваемой территории.

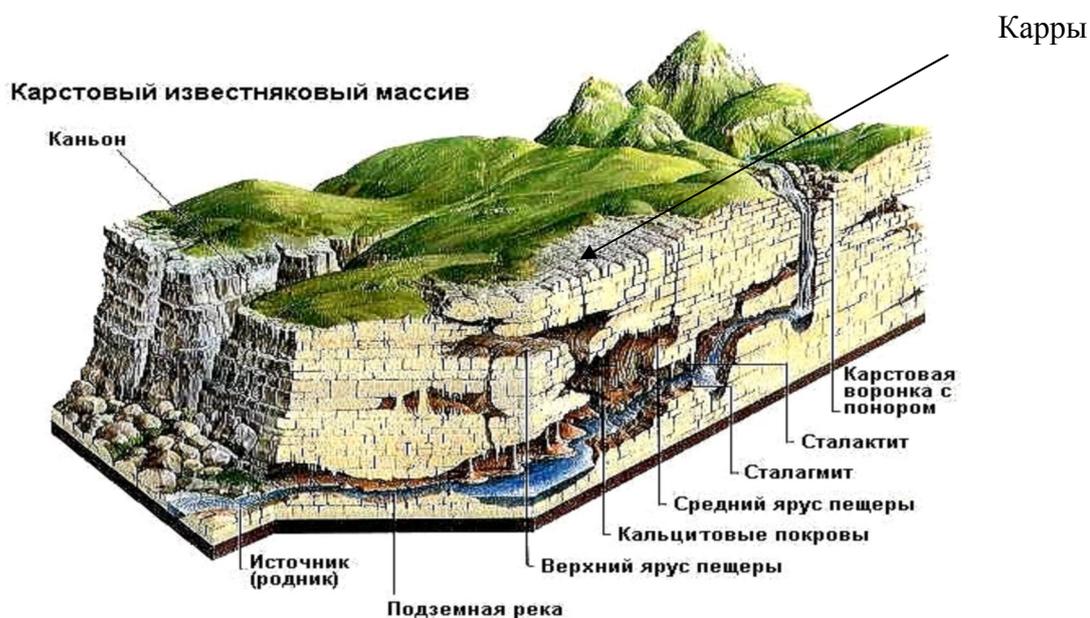
Карст. Карстом называют совокупность геологических явлений в земной коре и на ее поверхности, вызванных растворением горных пород поверхностными и подземными водами. В результате карстовых процессов в горных породах образуются многочисленные каверны и полости, которые, постепенно расширяясь, могут превращаться в пещеры. Протяженность наиболее крупных систем карстовых пещер может составлять сотни километров (Мамонтова пещера в штате Кентукки, США). Самые глубокие пещеры найдены в южных отрогах Западного Кавказа. Исследованная глубина их превышает 2 км. Процессы карстообразования очень широко развиты по всей планете. На схеме (рис.4.38) показаны области развития карста в различных районах мира.

Рис. 4.38

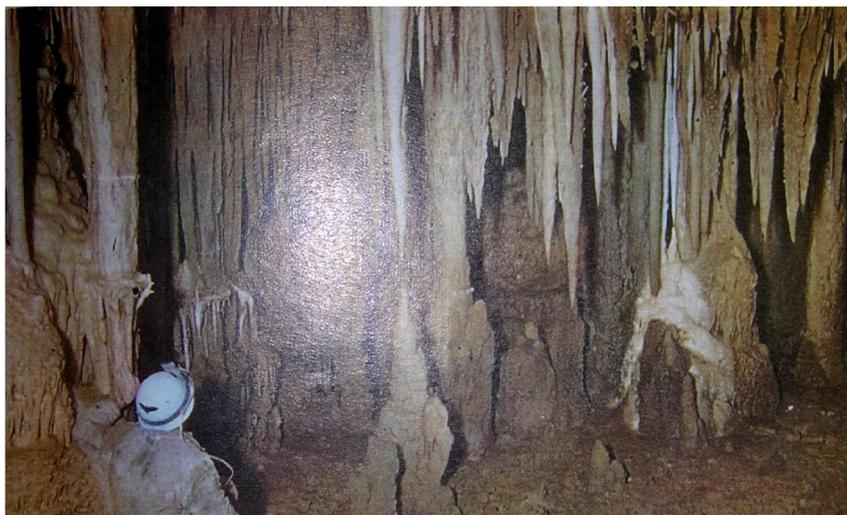


В карстовых районах формируются особые формы рельефа: карстовые воронки, желоба и котловины, которые собирают и переводят в подземный сток большую часть паводковых и дождевых вод. Карстовые воронки обладают круглой или вытянутой в плане формой. Их поперечные размеры, обычно, составляют от одного - двух до нескольких десятков метров. Известны случаи, когда малые реки в карстовых районах, внезапно уходили в подземное русло, выработанное в карстовом канале, а затем ниже по долине вновь выходили на поверхность. Схема закарстованного массива с подземной рекой показана на рисунке 4.39.

Рис. 4.39



На фотографии ниже (рис. 4.40) представлена внутренность карстовой пещеры (изучением пещер занимается специальная наука – спелеология).



Среди различных типов родниковых выходов подземных вод карстовые источники являются наиболее водообильными. Дебит двух самых крупных в мире карстовых источников Воклюз в южной Франции и Красный Ключ на Урале может достигать $15 \text{ м}^3/\text{сек}$. Карстовые районы не обладают частой сетью малых рек и ручьев, поскольку вода в них, не удерживаясь на поверхности, быстро уходит в карстовые водоносные горизонты.

Наиболее подвержены карстовым процессам гипсосодержащие и карбонатные горные породы. Значительно реже признаки карста встречены в залежах каменной соли. Объяснить это можно тем, что в естественных условиях такие залежи, как правило, изолированы от водоносных горизонтов водоупорными слоями. Карбонатные породы наиболее активно выщелачиваются в присутствии растворенной в подземных водах свободной углекислоты или других минеральных и органических кислот. Поэтому с большей скоростью карстовые процессы протекают в зоне аэрации, поскольку именно свободная вода зоны аэрации после фильтрации через верхний почвенно-растительный слой становится обогащённой углекислотой. Сульфатные породы и каменная соль растворяются в воде самостоятельно, без сопутствующих химических реакций.

Карстовые полости, разрушенные, заполненные и перекрытые более поздними отложениями, носят название погребенного или ископаемого карста. Обычно, ископаемый карст находится на значительной глубине и никак не проявляет себя в поверхностных формах рельефа. Обнаружить его можно только при помощи бурения или геофизическими методами. Карстовые процессы в зонах ископаемого карста протекают неактивно. Если карстующиеся породы перекрыты рыхлыми отложениями, часто возникают внезапные суффозионно-карстовые провалы, вызванные просасыванием таких пород в карстовые полости. На фотографии (рис. 4.41) представлена суффозионно-карстовая воронка в Предуралье.

Рис. 4.41



Среди общепринятых количественных показателей, по которым определяется интенсивность развития карстовых процессов на исследуемой территории наиболее распространенными являются количество карстовых воронок на 1 км^2 , суммарная площадь карстовых воронок на 1 км^2 , а также число происходящих в год карстовых провалов на 1 км^2 .

Карст создает дополнительные сложности при любых видах строительства. Карстовые полости могут стать причиной провалов зданий и

тяжелой строительной техники. Известны случаи аварийных деформаций железнодорожных путей, построенных без учета развития карста в породах основания. Карст может существенно влиять на условия эксплуатации гидротехнических сооружений, способствует интенсивным потерям воды из водохранилищ, препятствуя их заполнению до проектных отметок. Распространение карста имеет четко выраженный региональный характер, причем на территории России можно встретить все возможные типы карста и любые карстовые формы.

Инженерно-геологические изыскания в карстовых районах имеют свои особенности. В состав их должна быть включена детальная документация всех поверхностных карстовых проявлений. В процессе бурения разведочных скважин фиксируются провалы бурового инструмента. По данным кавернометрии скважин определяются возможные размеры встреченных при бурении карстовых полостей. На основании данных инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий проводится микрорайонирование участка по степени карстовой опасности, с учетом которого проводится инженерная подготовка территории, включая противокарстовые мероприятия.

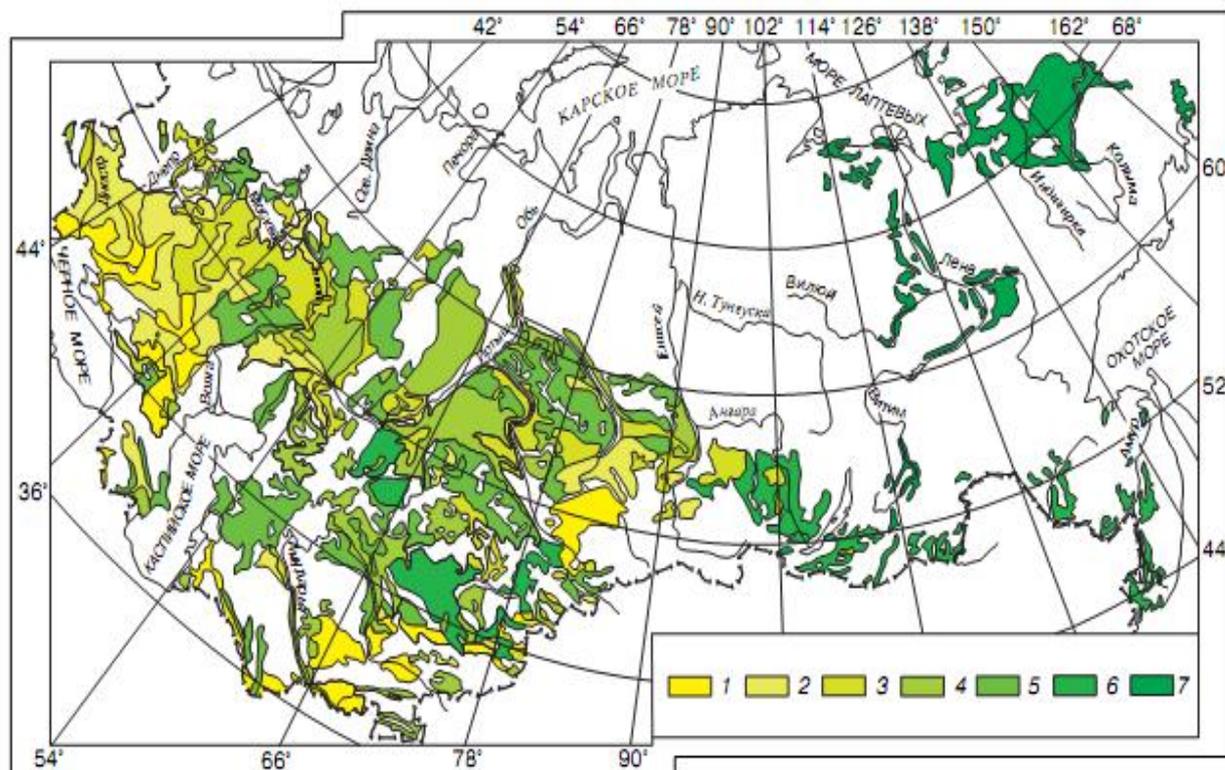
Наиболее эффективными способами борьбы с карстом является цементация или битумизация всех карстовых полостей, выявленных в основании строящегося сооружения. Кроме того, применяются меры по предотвращению дальнейшего развития процессов карстообразования. Ограничивается доступ подземных и поверхностных вод к карстующимся породам, регулируется поверхностный сток, организуется защитный дренаж основания.

Просадочные явления. Просадки, связанные с действием поверхностных и подземных вод, характерны, прежде всего, для *лёссовых грунтов*. Они выражаются в быстроразвивающихся дополнительных осадках грунтов под влиянием давления от внешней нагрузки, или от собственного веса при замачивании водой. Наиболее общей причиной этих явлений является недоуплотнённость лёссовых грунтов, обусловленная процессом их

образования в условиях сухого климата при малой влажности. Формирующиеся при этом структурные связи препятствуют уплотнению лёссовых грунтов под весом отлагающихся выше осадков. Однако эти связи являются водонеустойчивыми и легко разрушаются под действием воды. При увлажнении грунты оседают под собственным весом, происходит их доуплотнение; пористость уменьшается и приходит в соответствие с напряженным состоянием. [50].

Лёссовые грунты слагают значительные территории на всех континентах (при средней мощности лёсса 10 м общая площадь, занятая лёссовыми породами на земном шаре, составляет 19 млн. кв. км.). На территории стран СНГ площадь, покрытая лёссовыми породами, составляет около 34% их континентальной части. Лёссы лежат сплошным покровом на большей части Украины (до 80% территории) и на юге европейской части России. Большие площади покрыты лёссовыми породами в Средней Азии, Казахстане, Восточной, Южной и Западной Сибири. Часто они встречаются в Белоруссии, Поволжье, Якутии и других районах. [41] (рис. 4.42).

Карта распространения просадочных явлений в лёссовых породах



1 — лёссы и лёссовые породы большой мощности (более 10м), проявляющие просадку под собственным весом; 2 — лёссовые породы и лёссы мощные (более 5 м), проявляющие значительные просадочные деформации при дополнительных нагрузках; 3 — лёссовые породы средней мощности (5-10м), проявляющие незначительные просадочные деформации при дополнительных нагрузках; 4 — лёссовые породы прерывистого распространения (3-5м), непросадочные; 5 — лёссовые породы прерывистого и островного распространения изменчивой мощности, неоднородные по просадочности; 6 — лёссовидные и покровные глинистые породы островного и прерывистого распространения, маломощные, непросадочные; 7 — мёрзлые покровные пылеватые глинистые породы, проявляющие термопросадки в результате оттаивания

Эти территории, как правило, густо заселены и являются потенциальными объектами строительной деятельности, что вызывает необходимость тщательного изучения и оценки просадочных явлений.

По механизму выделяют две группы просадок:

- естественные, которые происходят вследствие природного увлажнения грунтов;
- техногенные, вызываемые хозяйственной деятельностью человека.

При уплотнении грунтов в естественной обстановке возникают специфические формы рельефа: плоские неглубокие понижения, называемые *просадочными блюдцами*, и значительные по размеру понижения овальной формы, называемые *подами*. Глубина некоторых подов достигает 10 - 20 м, а площадь – до нескольких километров (рис. 4.43).

Рис. 4.43

Вид степного «блюдца» (просадочные воронки на водоразделе)



Техногенные просадки возникают при проникновении в лёссовые породы воды из различных водонесущих объектов, при этом форма опускания земной поверхности зависит от особенностей источников замачивания. При точечных источниках (прорыв водопроводной сети, канализации и т. п.) образуются блюдцеобразные понижения на подобие тех, которые возникают в природных условиях. Инфильтрация воды через траншеи, канавы и каналы приводит к продольным оседаниям. Просадки на оросительных и водоводных каналах имеют массовый характер во всех районах распространения лёссовых пород (рис. 4.44 и 4.45).

Вид просадочных явлений вдоль дорожных магистралей



Просадки дороги вдоль оросительного канала



Величина оседания поверхности (величина просадки) определяется особенностями замачивания толщи лёссовых грунтов, а также их структурной прочностью, в зависимости от которой выделяют два типа грунтов по просадочности: I тип – грунты, в которых структурные связи разрушаются после водонасыщения и при одновременном приложении к ним нагрузки от сооружения; II тип – грунты, в которых структурные связи разрушаются уже при водонасыщении, только под действием собственного веса.

Количественной характеристикой просадочности является относительная просадочность (ε_{sl}), которая представляет собой относительную осадку (просадку) грунта при заданных давлениях и степени повышения влажности. Грунт считается просадочным, если $\varepsilon_{sl} \geq 0.01$. Определению просадочности грунтов уделяется повышенное внимание при полевых и лабораторных исследованиях.

Давление, при котором возникают просадочные явления, называется начальным просадочным давлением, оно составляет: 0,13...0,2 МПа – для I типа грунтов, 0,08...0,12 МПа – для II типа. Его значение определяет деформируемые зоны в лёссовой просадочной толще, в которых происходит просадочное уплотнение грунтов. Согласно СП 22.13330.2011, грунтовые условия площадок, сложенных просадочными грунтами, в зависимости от возможности проявления просадки грунтов от собственного веса, подразделяют на два типа: I тип – грунтовые условия, в которых в основном возможна просадка грунтов от внешней нагрузки, а просадка грунтов от собственного веса отсутствует или не превышает 5 см; II тип – грунтовые условия, в которых помимо просадки грунтов от внешней нагрузки возможна их просадка от собственного веса и ее величина превышает 5 см [48].

В естественных условиях повышение влажности просадочных грунтов может происходить в результате: их замачивания – сверху (с поверхности, за счет атмосферных осадков, снеготаяния и т.д.) и/или снизу при подъёме уровня подземных вод; или постепенного накопления влаги в грунте вследствие инфильтрации поверхностных вод и экранирования поверхности подстилающего слоя. Процесс поступления воды сверху происходит обычно интенсивно. При этом замачивание породы происходит неодинаково на различных участках площадки, что определяет неравномерность просадки. В результате, в конструкциях сооружений возникают опасные растягивающие напряжения, появляются трещины, перекосы и другие деформации, что создаёт аварийную ситуацию для сооружения. Подъем уровня подземных вод, обуславливающих замачивание лёссовой толщи снизу, происходит

относительно медленно и охватывает большие площади, значительно превышающие размер площадки, поэтому деформации развиваются медленнее (обычно несколько сантиметров в год) и более равномерно.

При сохранении природного строения и состояния лёсса представляют собой достаточно надежное естественное основание для большинства сооружений, но учитывая потенциальную возможность проявления просадки и связанных с ней негативных последствий, проводят защитные и предупредительные мероприятия которые подразделяют на три группы. [23, 50].

1. Водозащитные мероприятия, предусматривающие планировку строительных площадок для отвода поверхностных вод, гидроизоляцию поверхности земли, предохранение зданий от утечек воды из водопроводов, устройство водонепроницаемых полов, отмосток и т. д.

2. Конструктивные мероприятия, рассчитанные на приспособление конструкций к возможным неравномерным осадкам, повышение жесткости стен и прочности стыков, армирование зданий поясами, применение свайных, а также уширенных фундаментов с целью уменьшения давления на грунт и т. п.

3. Мероприятия, устраняющие просадочность лёссов, предусматривают улучшение свойств грунтов: а) с применением механических методов, б) с использованием физических, физико-химических и химических способов улучшения и закрепления.

Механические методы включают поверхностное и глубинное уплотнение. Поверхностное уплотнение производят трамбовкой, замачиванием котлованов под действием собственного веса или веса сооружения. Глубинное уплотнение толщ совершают с помощью грунтовых свай (песчаных, известняковых), взрывов в скважинах, замачиванием через скважины с последующим взрывом под водой и т.д. При улучшении и укреплении грунтов используют электрообжиг, силикатизацию, пропитку лёссов цементными и глинистыми растворами, обработку полимерами, укрепление грунта органическими веществами (битум, смолы и др.).

Выбор мероприятий при строительстве на лёссовых просадочных грунтах должен производиться с учетом:

- типа грунтовых условий по просадочности;
- определения мощности просадочной толщи и расчетной величины просадки;
- конструктивных особенностей проектируемых зданий и сооружений;
- вида возможного замачивания.

Особое внимание при проектировании и строительстве различных зданий и сооружений следует уделять грунтовым условиям II типа по просадочности. Помимо устранения просадочных свойств грунтов или прорезки просадочной толщи глубокими, фундаментами, здесь должны в обязательном порядке предусматриваться водозащитные мероприятия, а также соответствующая компоновка генплана застраиваемой территорий [41].

Гидродинамические явления, связанные с деятельностью подземных вод.

Суффозия. Суффозия представляет собой вынос мелких минеральных частиц из горной породы фильтрующейся водой. Процесс этот по своим результатам воздействия на горную массу подобен карсту. Отличие состоит в том, что суффозия является преимущественно физическим процессом и частицы породы при суффозии, за редким исключением, не подвергаются химическим изменениям. В карбонатных и гипсоносных отложениях карст и суффозия могут происходить одновременно, ускоряя формирование карстовых провалов на поверхности.

Иногда различают следующие виды суффозии: *механическую*, связанную с выносом преимущественно мелких минеральных частиц; *химическую* – вымывание из породы содержащихся в ней растворимых солей; *коллоидную* – вынос частиц грунта с разрушением микроагрегатов коагулированных глинистых частиц. В лёссовых породах может одновременно происходить химическая и механическая суффозия, при которых одновременно растворяется карбонатное цементирующее вещество и выносятся ранее скрепленные им

частицы породы. Названные явления имеют совершенно различную природу, и правильно следует говорить о механической суффозии, которая в строительстве может вызвать серьёзные осложнения при производстве земляных работ.

Суффозия может возникать только в породах определенного гранулометрического состава и структуры при скорости движения фильтрующейся воды, превышающей некоторую критическую величину, которая достигается только при достаточно больших значениях градиента напора в фильтрационном потоке. Поэтому суффозионные процессы наиболее активно протекают вблизи контура разгрузки подземных вод. Суффозия начинает развиваться при степени неоднородности гранулометрического состава больше 10 и гидравлическом градиенте больше 1. Для частиц грунта размером от 0.1 до 1 мм критическая размывающая скорость воды (действительная скорость фильтрации) составляет 2...6 м/мин. Отрыв и перенос более мелких пылеватых и глинистых частиц может происходить при скоростях выше 0.5 м/мин. Такие действительные скорости фильтрации возможны в трещиноватых песчаниках, обладающих значениями коэффициента фильтрации выше 1 м/сут.

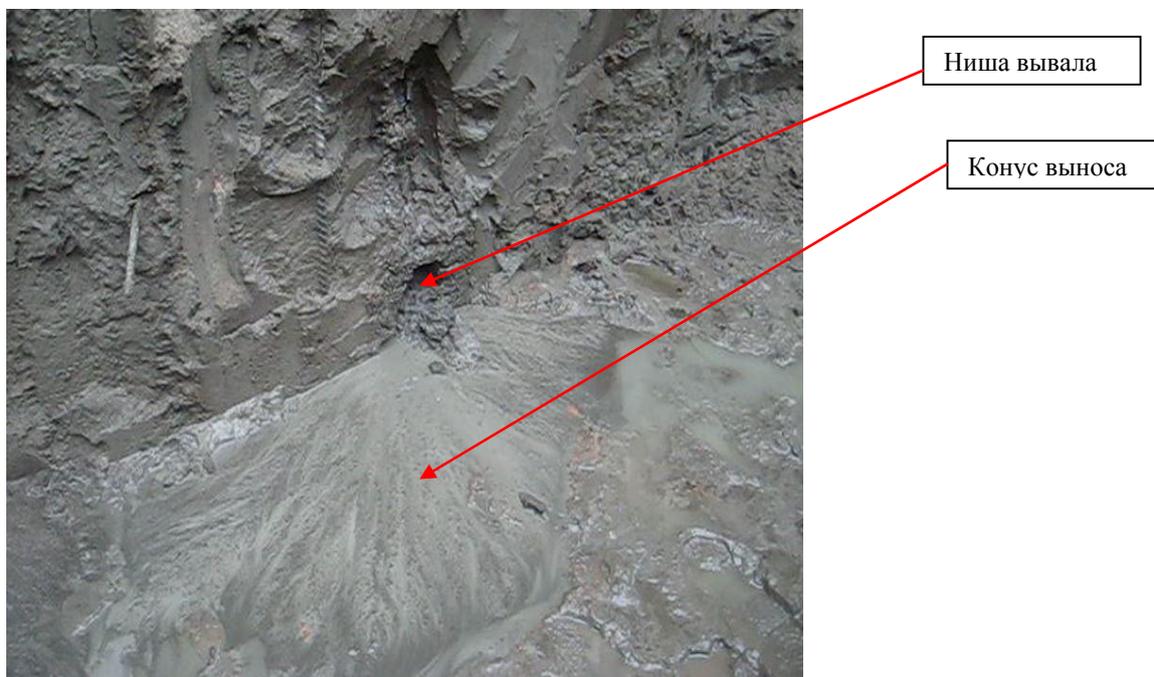
Наиболее подвержены суффозии рыхлые породы, в которых отсутствует плавный переход между содержанием в них крупных песчаных и мелких (пылеватых, глинистых) фракций. Кроме того, склонны к суффозии слабосцементированные песчаники с большим содержанием глинистых или железистых тонкодисперсных цементирующих частиц.

В природных условиях достаточные для суффозии градиенты напоров встречаются редко, поэтому суффозия значительно чаще происходит при техногенных нарушениях режима подземных вод. Такие техногенные нарушения могут быть связаны с возведением гидротехнических сооружений, с производством открытых и подземных горных работ, с проведением дренажных мероприятий (рис. 4.46). При работе подземных водозаборов вынос

водой минеральных частиц становится причиной «пескования» водозаборных скважин и выхода из строя насосного оборудования.

Рис. 4.46

Проявление суффозии в стенке котлована (фото В. Н. Веселова)



Суффозионные явления часто становятся причиной серьезных аварий зданий и подземных коммуникаций. Открытый водоотлив из строительных котлованов также может вызвать вынос частиц грунта в основании рядом расположенных сооружений, вызывая их неравномерную просадку. За последние 25 лет в северо-западной части Москвы было зарегистрировано 42 суффозионных провала диаметром до 40 м и глубиной от 1,5 до 8 м. Целые кварталы оказались в зонах повышенного оседания земной поверхности. Периодически происходили деформации жилых домов, приводящие иногда к их разрушению. Установлено, что причиной таких явлений стала длительная и неконтролируемая откачка подземных вод, приводившая к выносу из карстовых полостей обломочного материала и потере, несущей способности грунтов в основании зданий (см. выше раздел, посвященный карсту).

Основным способом борьбы с суффозией является снижение действительных скоростей фильтрации ниже критических значений при

помощи специального дренажа основания зданий, перекрытия мест выхода подземных вод пригрузкой песком или тампонирующими завесами. Также используется упрочнение ослабленных суффозией пород методами силикатизации, цементации или глинизации, нагнетая через скважины в образовавшиеся полости уплотняющие растворы. Краткая характеристика способов силикатизации приведена в таблице 4.8

СПОСОБЫ ХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Способ	Реакция среды закрепляющих реагентов	Область применения	Коэффициент фильтрации грунтов, м/сут	Прочность, закрепленного грунта при сжатии*, МПа
Двухрастворная силикатизация на основе силиката натрия и хлористого кальция	Щелочная	В песках гравелистых, крупных и средней крупности	5—80	2,0—8,0
				5,0
Однорастворная силикатизация на основе силиката натрия и кремнефтористоводородной кислоты	— —	В песках средней крупности, мелких и пылеватых, в том числе карбонатных	0,5—20	1,0—5,0
				3,0
Однорастворная силикатизация на основе силиката натрия	— —	В просадочных грунтах, обладающих емкостью поглощения не менее 10 мг-экв на 100 г сухого грунта и степенью влажности не более 0,7**	0,2—2,0	0,5—1,5
				1,0
Газовая силикатизация, на основе силиката натрия и углекислого газа	— —	То же**	0,2—2,0	0,5—3,5
				2,0
		В песках средней крупности, мелких и пылеватых, а том числе карбонатных	0,5—20	1,0—5,0
				3,0
Однорастворная силикатизация на основе силиката натрия и формамида с добавкой кремнефтористоводородной кислоты	— —	То же	0,5—20	1,0—0,3
				2,0

Однорастворная силикатизация на основе силиката натрия и ортофосфорной кислоты	Кислая	В песках средней крупности, мелких и пылеватых	0,5—10	0,2—0,5
				0,35
Однорастворная силикатизация на основа силиката натрия и алюмината натрия	Щелочная	В песках средней крупности, мелких и пылеватых, в том числе карбонатных	0,5—10	0,2—0,3
				0,25
Однорастворная смолизация на основе карбамидных смол марок М, М-2, М-3, МФ-17 и соляной кислоты	Кислая	В песках всех видов от пылеватых до гравелистых, кроме карбонатных	0,5—50	2,0—8,0
				5,0
То же, и щавелевой кислоты	— —	В песках всех видов от пылеватых до гравелистых	0,5—50	2,0—8,0
				5,0

* Под чертой даны средние значения прочности закрепления.

** При других характеристиках грунтов возможность применения силикатизации устанавливается опытным путем.

Плывуны. Плывунами называют насыщенные водой рыхлые пылеватые пески или супеси, способные разжижаться под механическим воздействием при вскрытии их котлованами, подземными горными выработками или при бурении (рис. 4.47).

Рис. 4.47

Прорыв пльвуна в опускной колодец



Различают *истинные* и *ложные* пльвуны. Истинным пльвуном считается полностью насыщенная водой рыхлая горная порода, которая, наряду с песчаной фракцией, содержит большое количество глинистых и коллоидных частиц. Частицы эти играют роль смазки, существенно уменьшающей трение между более крупными песчаными зернами. Вследствие этого истинные пльвуны обладают очень низким сопротивлением сдвигу. Предельное сдвигающее напряжение в них не превышает 0,005 МПа.

Благодаря наличию глинистых и коллоидных частиц, истинные пльвуны слабо и очень медленно отдают воду. Коэффициент фильтрации истинных пльвунов не превышает 0,5 м/сут, но чаще измеряется величинами

$10^{-1} \dots 10^{-2}$ м/сут. Пористость у истинных пльвунов высокая: от 36% до 58%. Еще один отличительный признак истинных пльвунов – присутствие коллоидных частиц в количестве не менее 3%. Вода в котловане после прорыва пльвуна долгое время остается мутной.

Основной причиной проявления пльвунных свойств является воздействие гидродинамического давления. Возникновение даже незначительного градиента порового давления в массе пльвуна приводит к утрате всяких структурных связей и превращает его в подобие вязкой жидкости, которая, быстро перемещаясь, заполняет собой котлованы, подземные горные выработки или скважины. При промерзании истинный пльвун подвергается пучению, при высыхании обретает связность, свойственную глинистым породам. При малой влажности и уплотнении пльвун, как и все глинистые породы, приобретает значительную прочность. Целый ряд исследователей считают, что в образовании истинных пльвунов активно участвуют микроорганизмы, деятельность которых приводит к дополнительному газонасыщению пльвунов.

Ложный пльвун обычно представляет собой насыщенный водой мелкозернистый или крупнозернистый песок (иногда и крупнообломочные разности), который, в отличие от истинного пльвуна, не содержит коллоидных частиц. Находясь на глубине, вода в порах такого песка находится под давлением, заметно превышающем атмосферное. При вскрытии котлованом или горной выработкой вода под давлением выносит с собой песок, который на время также приобретает пльвунные свойства. После выравнивания порового давления с атмосферным и гравитационного стекания воды ложный пльвун превращается в обычный устойчивый песок с достаточно высоким коэффициентом внутреннего трения. В котлованах, вскрывающих ложные пльвуны, вода либо прозрачная, либо слабо мутная и быстро светлеющая.

Плывуны существенно осложняют ведение подземных и открытых горных работ, проходку тоннелей, строительные работы нулевого цикла, бурение опытных и эксплуатационных скважин. При вскрытии плывунов подземными выработками могут происходить их прорывы с катастрофическими последствиями. При этом вышележащие массы горных пород также приходят в движение. В Ленинграде в 1974 г. при строительстве линии метрополитена между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» на глубине около 80 м велась проходка тоннеля в плывунах с их предварительным замораживанием. Однако один из участков проходки оказался не полностью замороженным, что послужило причиной прорыва. Тысячи кубических метров плывунных грунтов быстро заполнили часть готовой выработки. При ликвидации аварии на участке прорыва через скважины было закачено более 6000 т жидкого азота для замораживания плывуна. Однако в 1995 г после размораживания созданной мерзлой зоны плывуна в том же месте случился новый прорыв, и трассу метрополитена пришлось строить в обход аварийного участка.

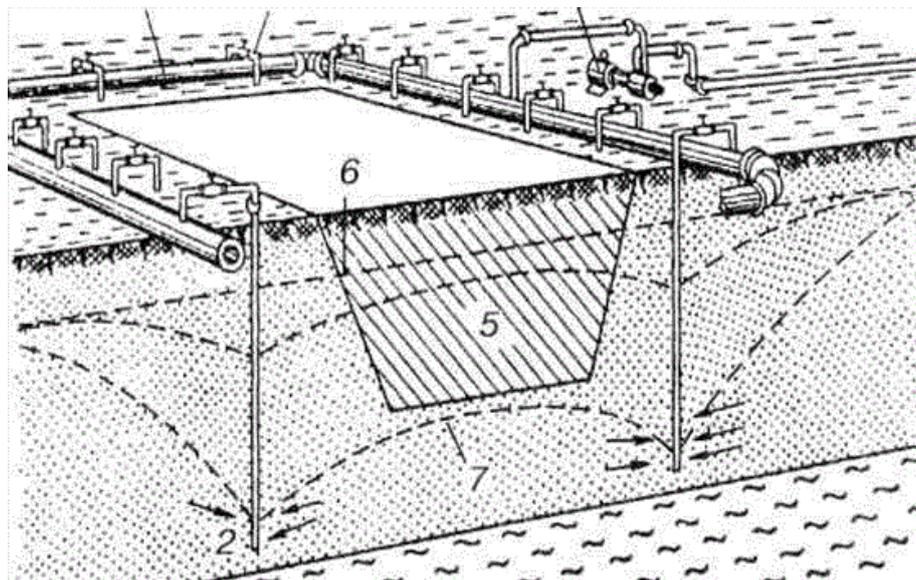
При строительстве Северо-Муйского тоннеля на трассе БАМ были вскрыты многочисленные тектонические разломы, заполненные рыхлыми водоносными породами, которые при вскрытии переходили в плывунное состояние. Наибольшую опасность представляли песчано-глинистые грунты с высоким напором подземных вод и содержанием глинистого материала до 12%. Самый крупный прорыв плывуна в 1979г. – 12000 м³ за 10 минут - привел к гибели находившихся в тоннеле людей. Крупные прорывы повторялись в 1986 и 1987 годах. Северо-Муйский тоннель был одним из самых сложных участков строительства БАМа (рис. 4.48)

Вид на входной портал Северо-Муйского тоннеля



Известно несколько способов борьбы с пльвунами. Для снижения напоров в ложных пльвунах с успехом используются откачивающие скважины или вакуумные *иглофильтровые установки* (рис. 4.49).

Вид иглофильтровой установки



С целью предотвращения прорыва пьезунов любого типа в строительные котлованы применяют шпунтовые ограждения (рис. 4.50).

Вид шпунтового ограждения котлована

(на дне котлована видны оголовки забивных свай)



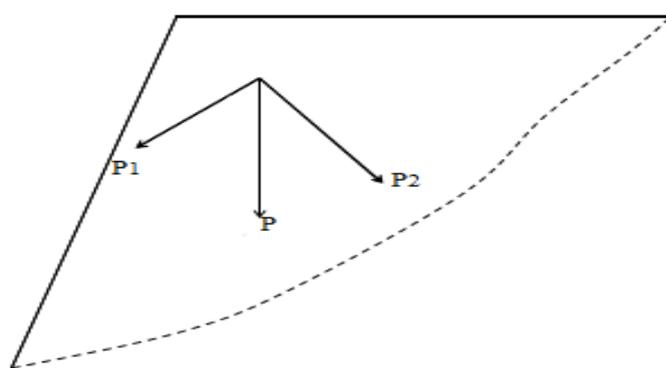
При проходке шахтных стволов, пересекающих пльвуны, используется наиболее дорогостоящий способ – предварительное замораживание. С этой целью по внешнему контуру шахтного ствола бурятся скважины, в которые закачивается переохлажденный водно-солевой раствор.

При строительстве зданий с глубоким заложением фундамента, в случаях присутствия в их основании пльвунных грунтов, рекомендуется применять свайные или свайно - плитные фундаментаы.

Явления, связанные с действием гравитационных сил на склонах и откосах

Гравитационные склоновые процессы представляют собой деформации, связанные с перемещением под действием сил гравитации отдельных частиц или частей горных пород на естественном склоне (искусственном откосе), при нарушении его устойчивости. Для центра тяжести некоторого массива пород, представленного плоским срезом, действует сила тяжести, которая разлагается на две составляющие: P_1 и P_2 (рис. 4.51).

Рис. 4.51



P – масса блока породы, который может сместиться.
 P_1 – сдвигающая составляющая силы тяжести.
 P_2 – сила, стремящаяся удержать массы горных пород на склоне

Если $P_1 > P_2$ – должно происходить смещение блока пород.

$P_1 = P_2$ – блок находится в предельном равновесии.

$P_1 < P_2$ – блок (или откос в целом) устойчив.

Равновесие склона нарушается, если сдвигающие силы превосходят удерживающие массы горных пород (силы трения и сцепления пород) на склоне, что приводит к их перемещению.

Устойчивость склона характеризуется коэффициентом устойчивости:

$$K_{уст} = \frac{C_{cp} \times L}{\sum (\tau \times \Delta L_i)}$$

C_{cp} — среднее сопротивление пород сдвигу по поверхности скольжения;

L — длина потенциальной поверхности скольжения;

$\sum (\tau \times \Delta L_i)$ — сумма сдвигающих усилий на отдельных отрезках этой поверхности.

Если $K_{уст}$ (коэффициент устойчивости) меньше 1 – нарушается равновесие сил и может произойти гравитационное смещение пород на склоне: образуются *оползни, обвалы, осыпи*.

Гравитационные процессы оказывают многоплановое влияние на природную среду. Они участвуют в формировании и изменении рельефа, создавая специфические его формы; перемещают и распределяют продукты выветривания на склонах и откосах; представляют опасность для функционирования инженерных сооружений и создают угрозу для жизнедеятельности населения (рис. 4.52).

Схема распространения оползневых явлений на Восточно-Европейской равнине и прилегающих районах Кавказа [23]



Механизм движения (вид, способ, характер) масс горных пород различных типов горных пород неодинаков. Именно этот фактор, а также такие признаки, как причины нарушения равновесия, динамика развития явления и его масштаб, могут быть положены в основу классификации гравитационных явлений. Прежде всего, следует различать типы и *виды* гравитационных явлений: *оползни* – *структурные, пластические, структурно-пластические*; *оползни-обвалы* – *переход оползней в обвалы*; *обвалы* – *собственно обвалы, вывалы*; *осыпи* – *осыпи щебенистые, осыпи песчано-дресвяные* Виды перечисленных явлений приведены в таблице 4.9 [23].

Табл. 4.9

Гравитационные явления		Вид движения масс горных пород
Тип	Вид	
Оползни	Структурные	Скольжение блока или блоков горных пород по поверхности скольжения без существенного нарушения их внутреннего строения: в однородных породах, поверхность скольжения круглоцилиндрическая; в неоднородных породах, поверхность скольжения плоская, плоскоступенчатая, волнистая, наклонная; в неоднородных породах, поверхность скольжения врезается в горизонтальные или наклонные слои, форма её плоская, ломаная неровная или вогнутая круглоцилиндрическая. Течение масс горных пород подобно вязкой жидкости по наклонной плоскости скольжения: по поверхности скольжения, располагающейся ниже поверхностных слоёв; по ложбинам стока; сравнительно быстрое и катастрофическое быстрое течение приповерхностных горизонтов пород; медленное течение самых поверхностных горизонтов горных пород и почвенно-растительного слоя.
	асеквентные консеквентные инсеквентные	
	Пластические (всегда консеквентные) собственно оползни	Скольжение блоков или блоков пород, которые при движении разрушаются, дробятся и превращаются в массу, ползущую подобно вязкой жидкости по поверхности скольжения
	оползни-потоки сплывы	
	солифлюкционные подвижки	
	Структурно-пластические	
Оползни-обвалы	Переходные разновидности оползней в обвалы	Скольжение блоков или масс горных пород, которые при обрывистом ступенчатом рельефе склона затем обваливаются вниз по склону
Обвалы	Собственно обвалы	Обвал масс горных пород из обнажений, расположенных на горных склонах, сопровождающийся скатыванием, опрокидыванием и дроблением

Оползневые явления характеризуются практически повсеместным распространением на различных территориях земной поверхности. Широко распространены они и в России, где приурочены к берегам рек Волги, Дона, Оки, Кубани и других, развиты на Черноморском побережье Кавказа (см. рис. 4.51), во многих районах Сибири и Дальнего Востока. На побережьях северных

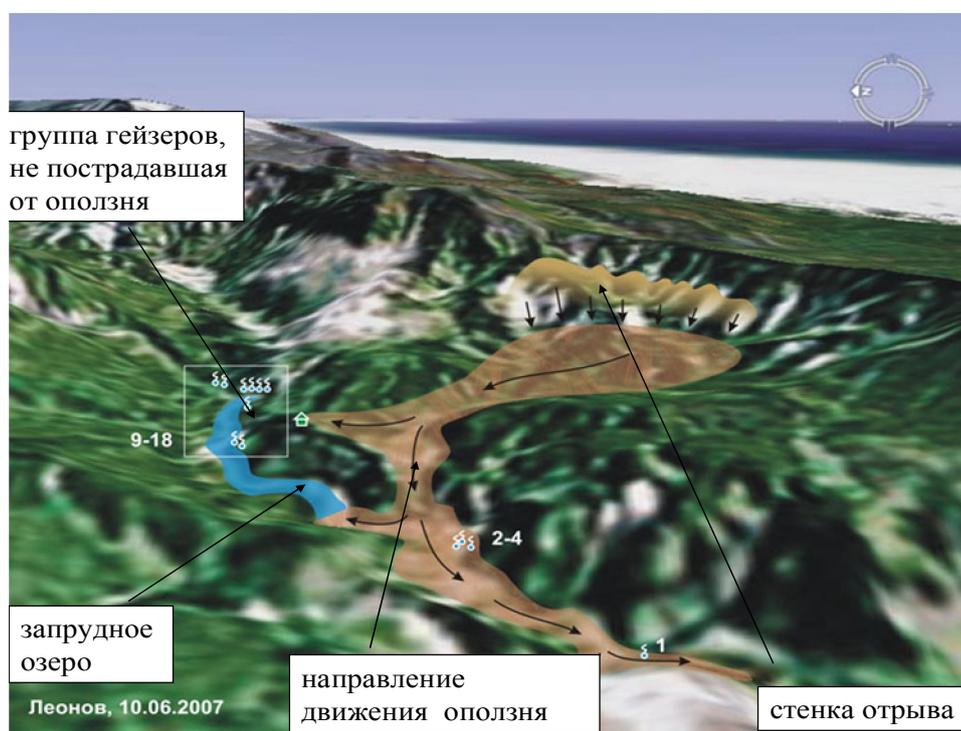
и дальневосточных морей некоторые оползни достигают в длину 5-7 км при ширине до 3-4 км с амплитудой смещения до 100 м.

Гравитационные явления осложняют условия строительства, а в некоторых случаях являются причиной крупных катастроф и гибели людей.

Схема оползня объемом 21 млн. м³ в Кроноцком заповеднике (2007 год) показана на рисунке 4.53. Этот оползень радикально изменил ландшафт местности и условия действия расположенных здесь гейзеров.

Рис. 4.53

Схема оползня 2007 года в Кроноцком заповеднике



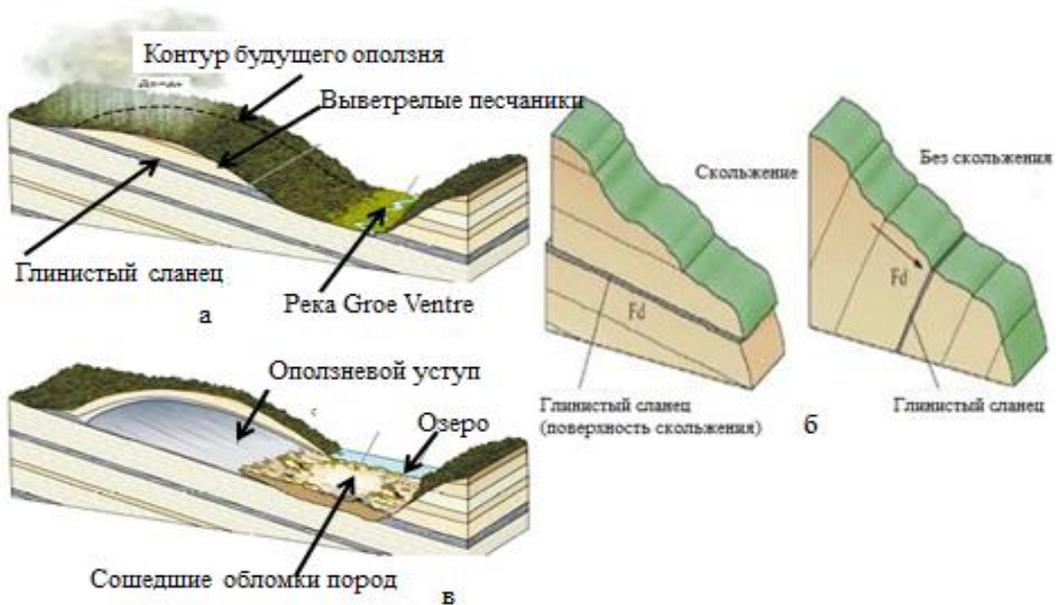
23 июня 1925 г. в долине р. Гро-Вентр, прорезающей Скалистые горы, сформировался один из крупнейших оползней Америки (рис. 4.54). С южного борта каньона Гро-Вентр сорвалось 45 млн. м³ скальных пород. Отрыв произошел на высоте 2700 м над уровнем моря, в месте, расположенном на 660 м выше уреза реки. Пройдя путь в 2,5 км, оползень рухнул в долину Гро-Вентр и, перегородив ее, создал естественную плотину длиной 2,4 км, шириной по основанию до 800 м и высотой до 75 м. 18 мая 1927 часть дамбы, созданной оползнем, разрушилась и привела к мощному наводнению. Небольшой город Келли был практически стерт с лица земли.

Вид на оползень в долине р. Гро-Вентр (США)



Анализ ситуации показал, что главным фактором столь масштабного оползня был выдержанный по простиранию прослой глинистых сланцев, по поверхности которого и произошло смещение вышележащих пород (рис. 4.55).

Схемы, иллюстрирующие механизм оползня Гро-Вентр

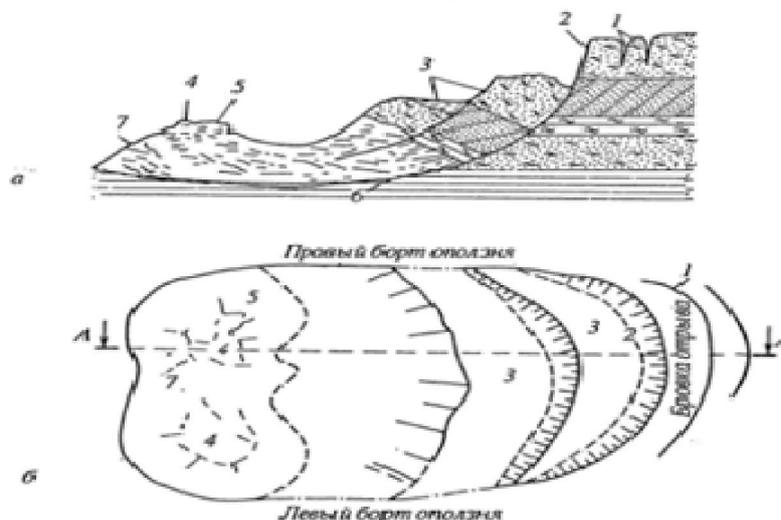


Оползневой процесс выражается в передвижении горных пород вниз по склону или откосу под влиянием собственного веса, давления воды, сейсмического воздействия, техногенной нагрузки и других факторов.

При последовательных смещениях масс горных пород образуются *ступенчатые оползни*. Оползни, располагающиеся на разных уровнях на одном участке, называются *многоярусными*. (рис. 4.56).

Рис. 4.56

Морфологические элементы оползня



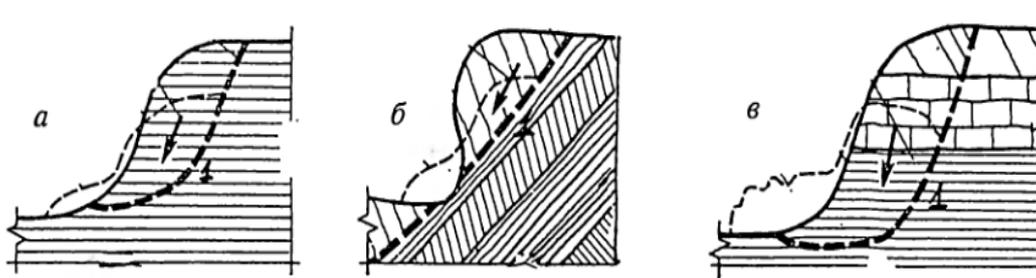
Движение – сползание пород происходит по поверхности (*поверхности скольжения*), которая может иметь различный вид, обусловленный геологическим строением оползневого участка (типом горных пород, условий их залегания, наличия в них слабых прослоев, трещин), а также подготавливающими процессами. В зависимости от положения поверхности скольжения по отношению к геологическому разрезу склонового массива, всё разнообразие оползней подразделяется на три группы, имеющие определённые названия:

- *асеквентные* оползни, формирующиеся в однородной или квазиоднородной среде по круглоцилиндрической поверхности скольжения;
- *инсеквентные* оползни, возникающие в слоистой среде по криволинейной поверхности скольжения, пересекающей слоистость под разными углами;
- *консеквентные* оползни, имеющие унаследованную поверхность скольжения.

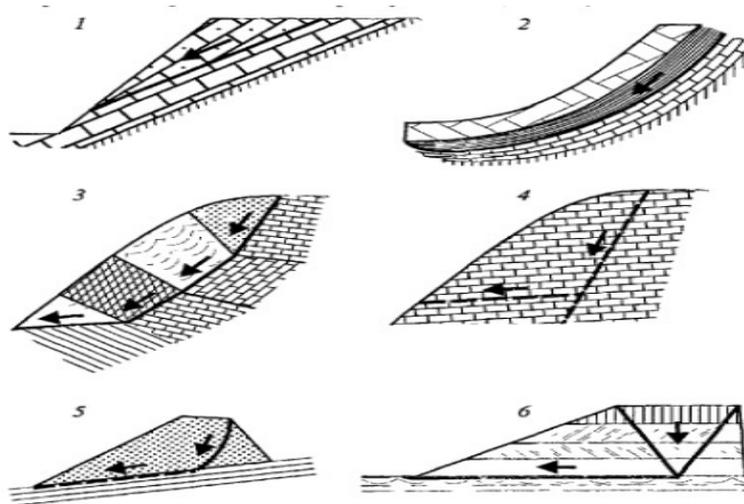
Могут быть сложные оползни, имеющие комбинированные поверхности скольжения (рис. 4.57) [16].

Рис. 4.57

Вид возможных поверхностей скольжения и названия оползней



а – асеквентные; б – консеквентные; в – инсеквентные; 1 – поверхность скольжения.



Поверхности скольжения, унаследовавшие ослабленные элементы геологического строения склона (откоса): 1-4 – консеквентные оползни, 5 – асеквентно - консеквентный оползень, 6 – инсеквентно - консеквентный оползень.

Оползневой процесс развивается поэтапно. Для его возникновения необходимы конкретные *условия* и *причины*. Необходимым *условием* является определённый рельеф местности, т. е. наличие склона (откоса), поэтому оползни наиболее широко распространены в областях пересечённого и резко пересечённого рельефа, в горных районах. Причины развития оползневой процесса в каждом конкретном случае могут различаться в зависимости от сочетания определённых факторов. Наиболее часто они связаны:

- с увеличением крутизны склона или откоса при их подрезке или подмыве (речной эрозией или морской абразией);
- с уменьшением прочности пород в связи с изменением их физического состояния (влажности, плотности, трещиноватости, выветривания);
- с действием гидростатических и гидродинамических сил при изменении гидрогеологических условий;
- с изменением напряжённого состояния склона под воздействием различного рода нагрузок;
- с сейсмическим воздействием.

Выделяют три основных этапа оползневой процесса, продолжительность которых зависит от многих факторов:

- подготовка оползня (накопление изменений природных условий),

- потеря устойчивости и проявление оползня (быстрое деформирование горных пород),
- стабилизация оползневого процесса (затухание движения).

Оценка оползнеопасных районов проводится на основе изучения оползней, систематизированных по различным признакам. В настоящее время насчитывается более 150 классификаций, построенных с учётом одного или нескольких характерных признаков. Детальная классификация оползней, в которой учитываются многие признаки (механизм оползневых смещений; причины нарушения устойчивости пород; состояние склонов; динамика; размеры оползней и защитные мероприятия) была предложена В. Д. Ломтадзе (1977) [23].

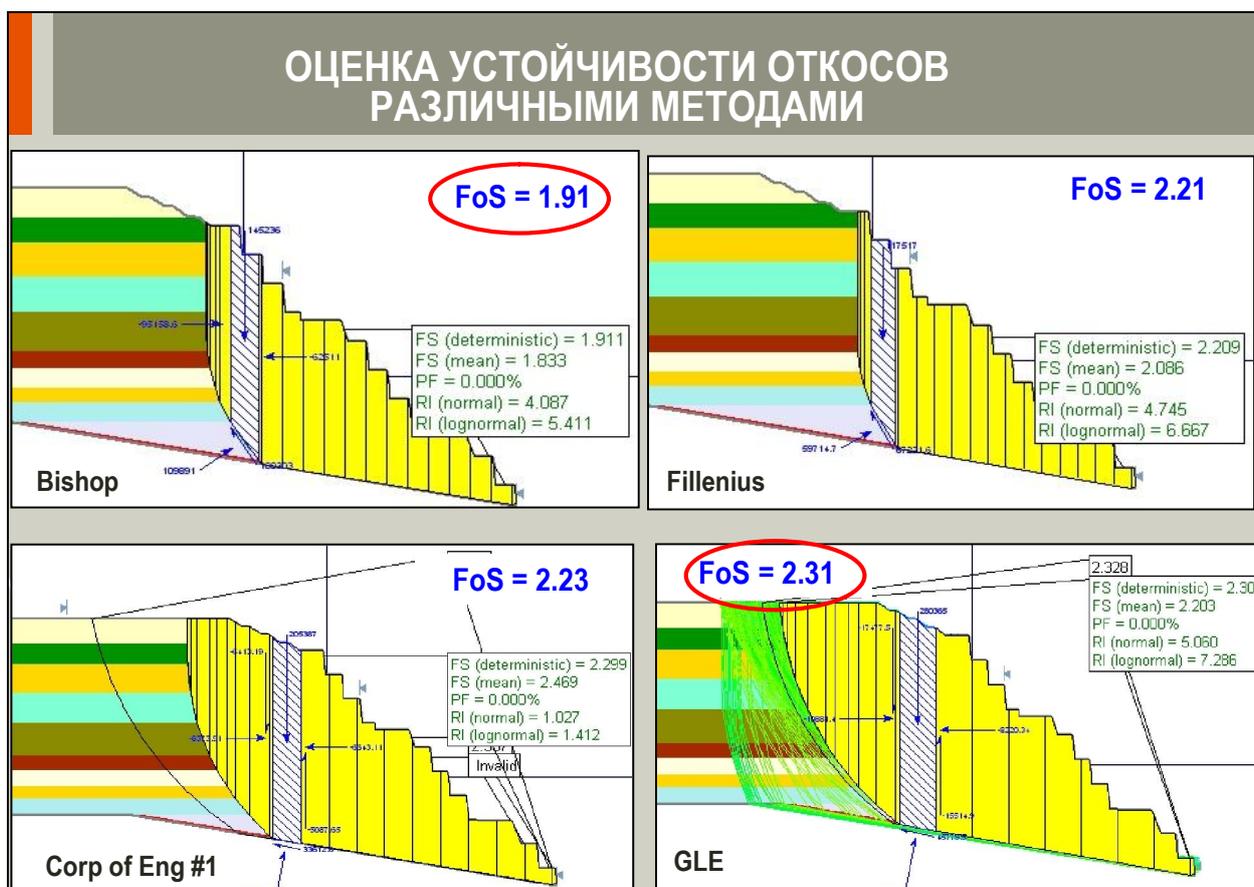
Для оценки возможности возникновения оползневых процессов, динамики и масштаба их развития с целью выбора мероприятий для борьбы с ними строятся различные расчётные модели на основе определённых признаков. К этим признакам относятся следующие: время прогнозирования (долгосрочные, краткосрочные, экстренные); степень достоверности (качественные, количественные, приближенные, ориентировочные, уточненные); масштаб моделируемых объектов (глобальные, региональные, локальные); математическая структура модели (детерминированные - расчётные и физические модели, и вероятностные).

В основе прогнозирования оползневых процессов лежит оценка степени устойчивости склонов и откосов с помощью определения коэффициента устойчивости $K_{уст}$ (см. выше). Принцип соотношения сдвигающих и удерживающих сил, используемый для определения $K_{уст}$, положен в основу многочисленных способов прогноза устойчивости склонов (или откосов) по методам К. Терцаги, Н. Н. Маслова, Г. И. Шахунянца, Г. Л. Фисенко, Р. Р. Чугаева, А. Л. Можевитинова, А. В. Бишопа, Е. Спенсера, Д. Тейлора, В. Феллениуса, Н. Р. Моргенштерна и др. Многие из названных методов построены на ряде допущений и упрощений, что влияет на достоверность

получаемых результатов и требует необходимости осуществлять расчеты различными методами для одного и того же объекта, при этом устойчивость склона или откоса оценивается сравнением коэффициента запаса устойчивости (англ. FoS— factor of Safety) (рис. 4.58). Окончательная оценка устойчивости базируется на наименьших значениях FoS, полученных различными расчётными методами.

Рис. 4.58

Схема оценки устойчивости откосов различными методами (по Е. В. Колодий, 2008)



Краткосрочные и долгосрочные прогнозы устойчивости склонов составляют по результатам детальных инженерно-геологических исследований, включающих изучение геолого-гидрогеологических, геоморфологических и сейсмических особенностей района строительства. Особое внимание уделяется изучению состава, состояния и свойств пород; стационарным наблюдениям за оползневыми подвижками (по поверхностным и глубинным реперам) и за режимом подземных вод; обследованию имеющихся деформаций зданий и

сооружений; поискам аналогов оползней на прилегающей территории с установлением их причин.

Противооползневые мероприятия делятся на несколько групп [23]:

— превентивные (предупреждают развитие оползневых процессов на потенциально оползневых склонах, укрепляя их посадкой древесной растительности; регулируя поверхностный сток; создавая террасирование склонов);

— инженерные (обеспечивают укрепление и закрепление оползневых склонов специальными инженерными сооружениями, например, прошивка тела оползня сваями) (рис. 4.59);

— ликвидационные (производят частичное или полное удаление оползня, разборку сооружений защиты, рекультивацию территории и др.).

Рис. 4.59



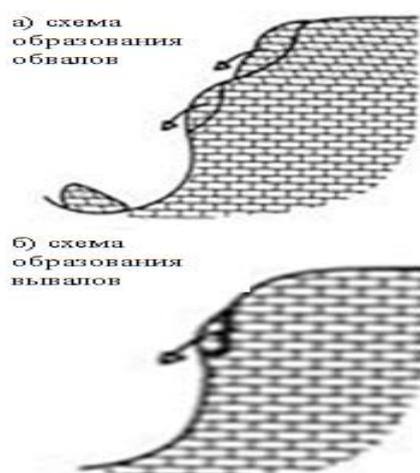
Виды противооползневых мероприятий приведены в таблице 4.10 [16]

Табл. 4.10

Причина возникновения оползня	Мероприятие	Виды мероприятий
Изменение напряжённого состояния глинистых грунтов	Выполаживание склонов и откосов	Срезка земляных масс в верхней части откоса, и укладка их у подножия для пригрузки в месте ожидаемого выпирания
Подземные воды	Перехват подземных вод выше оползня	Горизонтальный дренаж, вертикальный дренаж
Поверхностные воды	Защита берегов от абразии	Волноотбойные стены, волноломы подводные и надводные
	Защита берегов от боковой эрозии	Мощение откоса, каменная наброска
Атмосферные осадки	Регулирование поверхностного стока	Микропланировка, лотки, канавы, быстротоки
Выветривание	Защита грунтов поверхности склона	Одерновка, посев трав, древонасаждения
Совокупность ряда причин	Механическое сопротивление движению	Подпорные стенки, свайные ряды, шпонки, замена грунтов поверхности скольжения
	Изменение физико-технических свойств грунтов	Подсушка, обжиг глинистых грунтов; электрохимическое закрепление грунтов
Некоторые виды человеческой деятельности	Специальный режим в оползневой зоне	Сохранение склонов в устойчивом состоянии, ограничение в строительных разработках

Обвальные явления также, как и оползневые, формируются под действием гравитационных сил на склонах и откосах, но в отличие от оползневых, характеризуются *внезапным обрушением* горных пород. Среди них выделяются *собственно обвалы, вывалы, и осыпи* (рис. 4.60).

Схемы образования обвалов и вывалов



Вывалы характеризуются выпадением отдельных глыб и небольших блоков пород из отвесных склонов и откосов, сложенных скальными и полускальными породами. В некоторых случаях происходит обрушение отдельных включений глыб, валунов или масс уплотнённых, сцементированных пород, залегающих среди мягких глинистых или рыхлых песчаных пород. На участках, где откосы и склоны сложены сильнотрещиноватыми, раздробленными породами (образуют при выветривании щебень или дресву) или рыхлыми породами, образуются *осыпи*, которые в отличие от вывалов характеризуются несколько иным механизмом образования и небольшими размерами отдельностей.

Собственно обвалы характеризуются обрушением как отдельных глыб и блоков, так и более крупных масс горных пород с обнажений, расположенных в верхних частях крутых склонов или на отвесных откосах дорожных выемок, строительных котлованов, бортов карьеров, сопровождающимся скатыванием отдельных глыб.

Обвальные явления происходят практически во всех горных странах и часто приурочены к высокогорным областям с высокой сейсмической и повышенной тектонической активностью. В России обвалы широко распространены преимущественно в горных районах Кавказа, Сибири,

Дальнего Востока, на Урале, Хибинах и др., но часто формируются и на крутых (более 45°) склонах речных долин и морских побережий, а также в бортах карьеров и строительных выемок. Также, как и оползни, обвальные явления представляют угрозу для безопасности людей и нормальной эксплуатации инженерных сооружений и часто являются причиной их катастрофических разрушений. Основными факторами, способствующими возникновению обвалов, являются:

- крутые склоны (более 45 - 50°);
- склоны, рассеченные крупными тектоническими трещинами, ориентированными параллельно склону;
- скальные породы, обладающие высокой прочностью и образующие крутые откосы, но склонные к интенсивному выветриванию и соответствующему снижению прочности;
- сейсмические явления;
- интенсивное увлажнение пород;
- техногенные воздействия (разработка карьеров взрывным способом, строительство водохранилищ, горных тоннелей и др.).

При инженерно-геологических исследованиях обвалоопасных районов с целью выделения потенциально неустойчивых участков склонов, необходимо уделять основное внимание его рельефу (наличию выступов, нависающих блоков), условиям залегания горных пород, степени их трещиноватости и выветрелости, тектоническим нарушениям.

Осыпи представляют собой движение обломочного материала по склону в результате нарушения его устойчивости (рис. 4.61).

Вид осыпи и закрепляющей её подпорной стенки



Учитывая, что процесс осыпания происходит на склоновой поверхности, сложенной несвязным, обломочным материалом, к нему применимы закон механики сыпучей среды. Условие перемещения твердого тела по наклонной плоскости:

$T_p > F_p$, где T_p – касательная составляющая его массы (веса), F_p – сила трения между этим телом и плоскостью.

$F_p = N_p \times f$, где N_p – нормальная составляющая веса этого тела, f – коэффициент трения по наклонной плоскости $f = \tan \varphi$; $T_p = P \times \sin \alpha$, $N_p = P \times \cos \alpha$, где α – угол откоса. Условие равновесия на склоновой поверхности:

$$T_p = N_p \times \tan \varphi, \text{ или } P \times \sin \alpha = P \times \cos \alpha \times \tan \varphi, \text{ при } \alpha = \varphi.$$

Когда угол откоса (α) превысит значения угла внутреннего трения (φ), устойчивость откоса будет нарушена и будет развиваться процесс осыпания.

Угол естественного откоса материала осыпей (φ) изменяется от 30 - 32° до 35 - 37° в зависимости от состава пород и крупности обломков. [52]. Фактический угол откоса осыпи (α) в зависимости от интенсивности поступления свежего материала может быть существенно ниже угла естественного откоса. Отношение α/φ называется

коэффициентом подвижности осыпи K . Характеристика степени подвижности осыпей приведена в таблице 4.11.

Табл. 4.11

Коэффициент подвижности	Характеристика состояния осыпи
1	Подвижная. Активное поступление свежего материала. Скорость движения осыпи составляет метры в год.
0,7...1	Достаточно подвижная
0,5...0,7	Слабо подвижная
< 0,7	Неподвижная. Поступление свежего материала отсутствует

Перемещаясь (осыпаясь) по склону, обломочный материал образует у его подножья накопления в виде конусов или прерывистых валов, мощность которых может достигать нескольких десятков метров. Размер обломков определяется исходным материалом, из которого формировалась осыпь. Массивные кристаллические породы образуют крупнообломочные осыпи; менее прочные разности пород – среднеобломочные; осадочные породы и сланцы – мелкообломочные. По внешнему виду склонов (откосов) можно судить о степени подвижности осыпей: на подвижных осыпях растительность отсутствует, неподвижные осыпи постепенно зарастают.

Для защиты сооружений, прежде всего, автомобильных и железных дорог, порталов тоннелей и др., от осыпей применяют различные мероприятия. К ним относятся следующие:

- устройство подпорных стенок (см. рис. 4.60);
- уборка части осыпи, располагающейся выше по склону от сооружения;
- создание в нижней части осыпи контрофорса путем искусственного перемещения туда части обломочного материала, если осыпь подрезана в нижней части склона;
- упорядочение поверхности осыпи, уборка наиболее неустойчивых глыб, регулярная повторная уборка, когда общий массив осыпи малоподвижен;

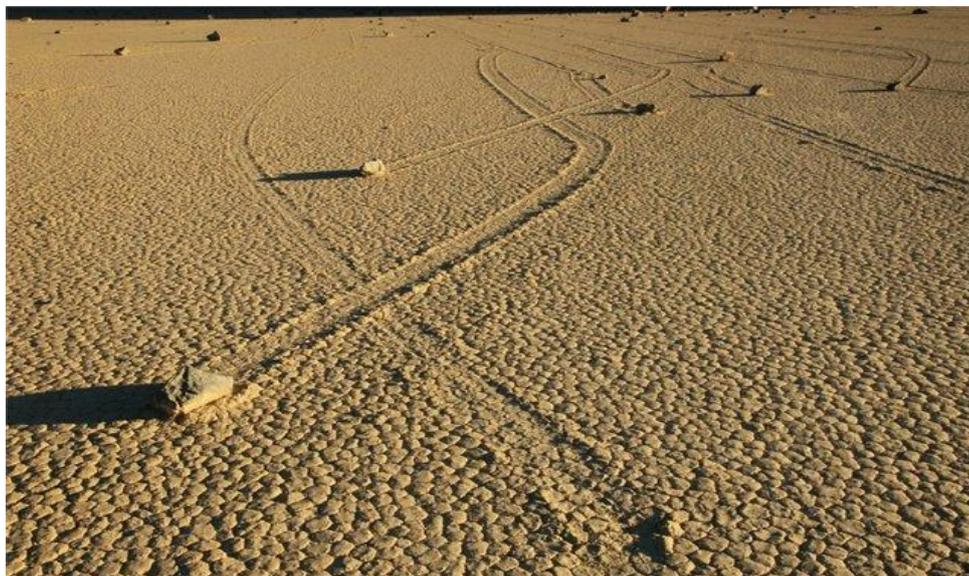
- осушение подошвы осыпи (перехват вод) - в первую очередь в тех случаях, когда происходит приток поверхностных вод (ручьи, родники и т. п.);
- на особо опасных участках организуется служба наблюдения.

Геологические явления, связанные с деятельностью ветра.

Работа ветра заключается в выдувании мелкодисперсных частиц с поверхности выветривания пород, в их переносе, обтачивании препятствий и формировании особого типа отложений. Все эти процессы объединены в группу эоловых, и соответственно ветровые накопления формируют эоловые отложения и образуют эоловые формы рельефа – барханы и дюны. Общеизвестно, что сила ветра может достигать громадных значений. При ураганах скорость ветра может достигать 250 - 300 км/час (рис. 4.62).

Рис. 4.62

Передвижение глыб песчаника ветром по поверхности солонца в пустыне

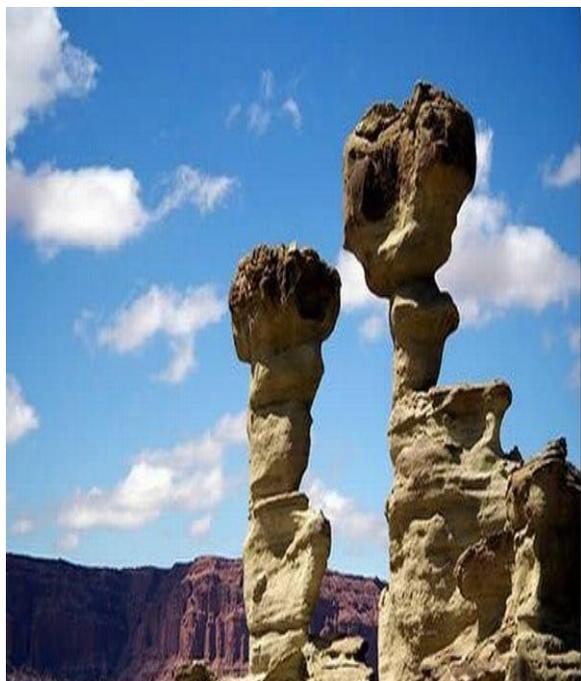


В строительстве приходится учитывать экстремальные ветровые нагрузки, особенно на высотные сооружения (башни, трубы, мосты, эстакады и т. п.). Кроме того, переносимые по воздуху частицы обтачивают и разрушают поверхности сооружений, этот процесс называется *коррозией*. Коррозия представляет серьёзную угрозу для фасадов зданий, линий электропередач, контактных проводов. В результате коррозии слабосцементированных

осадочных пород (прежде всего песчаников) возникают экзотические останцы и отпрепарированные останцы крепких пород (рис. 4.63).

Рис. 4.63

Виды ветровых останцов



Отметим, что на пустынных открытых пространствах с сильными ветрами создаются идеальные условия для использования ветровой и солнечной энергии.

В сельскохозяйственных районах с обширными распаханнами землями сильные ветра вызывают ветровую эрозию почв, и, так называемые, пыльные бури, когда может быть сдут пахотный слой толщиной в несколько десятков сантиметров, занесены дорожные трассы и отдельно стоящие постройки. В условиях засушливого климата под действием господствующих ветров формируются ложбины выдувания шириной 2 – 10 км и глубиной до 100-150 метров (Западный Казахстан). Подвижные пески представляют серьёзную угрозу для южных районов России, где господствуют сильные юго-западные ветра. В Средней Азии, на Ближнем и Среднем Востоке, в Африке есть целые города, захоронённые под новейшими эоловыми отложениями. Для

борьбы с движущимися песками необходимы работы по закреплению эоловых отложений лесозащитными полосами, обработке поверхностей закрепляющими растворами, по постоянной механической расчистке земляного полотна.

С действием ветра и переносом песчаного материала связаны формирование барханов и дюн, находящихся в постоянном движении со скоростью, достигающей 0,5 – 1,0 м/год. Барханы возникают в пустынях, а дюнные массивы концентрируются по берегам морей, озёр и в крупных речных долинах (рис. 4.64).

Рис. 4.64

Эоловые образования



В южных областях России (Северный Прикаспий, предгорья Алтая, Барабинская степь, Северный Казахстан) эоловые процессы формируют *гривный рельеф*, представленный чередованиями прямолинейных гряд высотой до 5-12 м над окружающей равниной, шириной до 2 км и длиной до 15 км, и межгривных понижений [54]. В пределах гривного рельефа развиты субэральные лёссовые грунты – суглинки, супеси и пески, обладающие просадочными свойствами при замачивании.

Более древние эоловые образования пылеватого состава – типичные лёссы – образуют сплошные покровы мощностью от 10-20 до 200-300 м,

занимая громадные территории. Более детально они рассмотрены в главе 1 как особая разновидность пылеватых глинистых пород (по В. Д. Ломтадзе, 1984).

Глава 5. Краткий обзор инженерно-геологических условий территории России [14, 15. 17].

Под инженерно-геологическими условиями следует понимать комплекс информации о природных геологических факторах, которые определяют планирование размещения различных строительных объектов, рациональное использование территорий, выбор районов и мест расположения отдельных сооружений, их устойчивость и нормальную эксплуатацию, условия производства строительных и горных работ [46]. Эта информация предоставляется пользователю в текстовой и графоаналитической форме с приложением карт, разрезов таблиц и графиков, на основе которых разрабатываются проекты и рабочие чертежи сооружений, определяются условия строительных и других инженерных работ [47].

Инженерно-геологические условия любой местности таковы, каково сочетание структурно-тектонических, ландшафтно-климатических и техногенных особенностей, сформировавшихся в новейшее геологическое время. Это сочетание позволяет определять основные природные и техногенные закономерности формирования инженерно-геологических условий и рассматривать специфическую инженерно-геологическую структуру пространства для решения строительных задач.

Инженерно-геологическая структура местности - это форма и взаимоотношение в пространстве геологических тел разной сложности, составленных породами/грунтами различного состава, состояния и свойств. Это взаимоотношение носит временной и исторически обусловленный характер и закрепляется на дневной поверхности определёнными типами рельефа: *ступенчато-зональными, ступенчато-блоковыми, циркум - зональными, линейно-очаговыми т. д.* Рельеф любой территории это наиболее наглядный и достаточно устойчивый признак для первичной характеристики и оценки инженерно-геологических условий и выделения границ между различными типами таких условий в специализированном параметрическом геологическом пространстве (М. С. Захаров, 1991) [14].

Следует добавить, что инженерно-геологические условия местности следует всегда рассматривать в аспекте физического актуального и исторического времени, что позволяет использовать модели геологического развития для рационального использования геологической среды и правильно оценивать риски, связанные с намечающимся строительством. Таким образом, при характеристике и оценке инженерно-геологических условий необходимо в полной мере использовать сочетание системного (структурно-функциональный аспект) и исторического (генетический аспект) подходов, как в отношении методов исследований, так и в отношении интерпретации получаемых результатов. Особое место занимает многоаспектное моделирование инженерно-геологической обстановки, прежде всего, с помощью картографического метода.

В основу инженерно-геологического районирования территории России для первичного знакомства с условиями строительства и производства инженерных работ примем наглядно проявляющиеся различия в строении земной поверхности, сформированные в новейшее геологическое время (неотектонический этап развития). С этих позиций на территории современной России и сопредельных стран, входивших в XX веке в состав СССР, можно выделить пять надпорядковых мегаструктурных блоков (МСБ), имеющих чёткую геоморфологическую выраженность (Геоморфологическое районирование СССР, 1980):

1. МСБ Северной Евразии, объединяющий низменности, равнины, плоскогорья и остаточные горы от западных границ России до долины реки Лены и Верхоянского хребта.
2. МСБ Тяньшанско-Забайкальского эпиплатформенного пояса возрождённых гор (горы Южной Сибири и Средней Азии).
3. МСБ Альпийско-Гималайский эпигеосинклинального пояса (Карпаты, Крым, Большой и Малый Кавказ, Иранское нагорье, Памиро-Гиндукушская система).

4. МСБ, объединяющий горы, плоскогорья, равнины и прибрежные низменности Дальнего Востока и Северо-Востока, непосредственно выходящие к Арктическому и Тихому океанам.

5. МСБ, составленный горными сооружениями и глубоководными котловинами Тихоокеанского пояса.

На территории современной России широко представлены структурные образования Северной Евразии, Дальнего Востока, Тихоокеанского пояса, а также фрагменты Тяньшанско - Забайкальского и Альпийско - Гималайского поясов.

1. Североевразийский мегаструктурный геоблок.

Включает в себя ряд древних и молодых платформ, - Восточно-Европейскую, Сибирскую, Западно-Сибирскую, Скифско-Туранскую, с выступами древнего складчатого фундамента (Балтийский, Украинский, Анабарский, Алданский щиты) и внутриплатформенные участки более молодых складчатых зон (Тиманская, Донецкая, Енисейско-Туруханская), составляющие ныне единое целое с платформенными блоками.

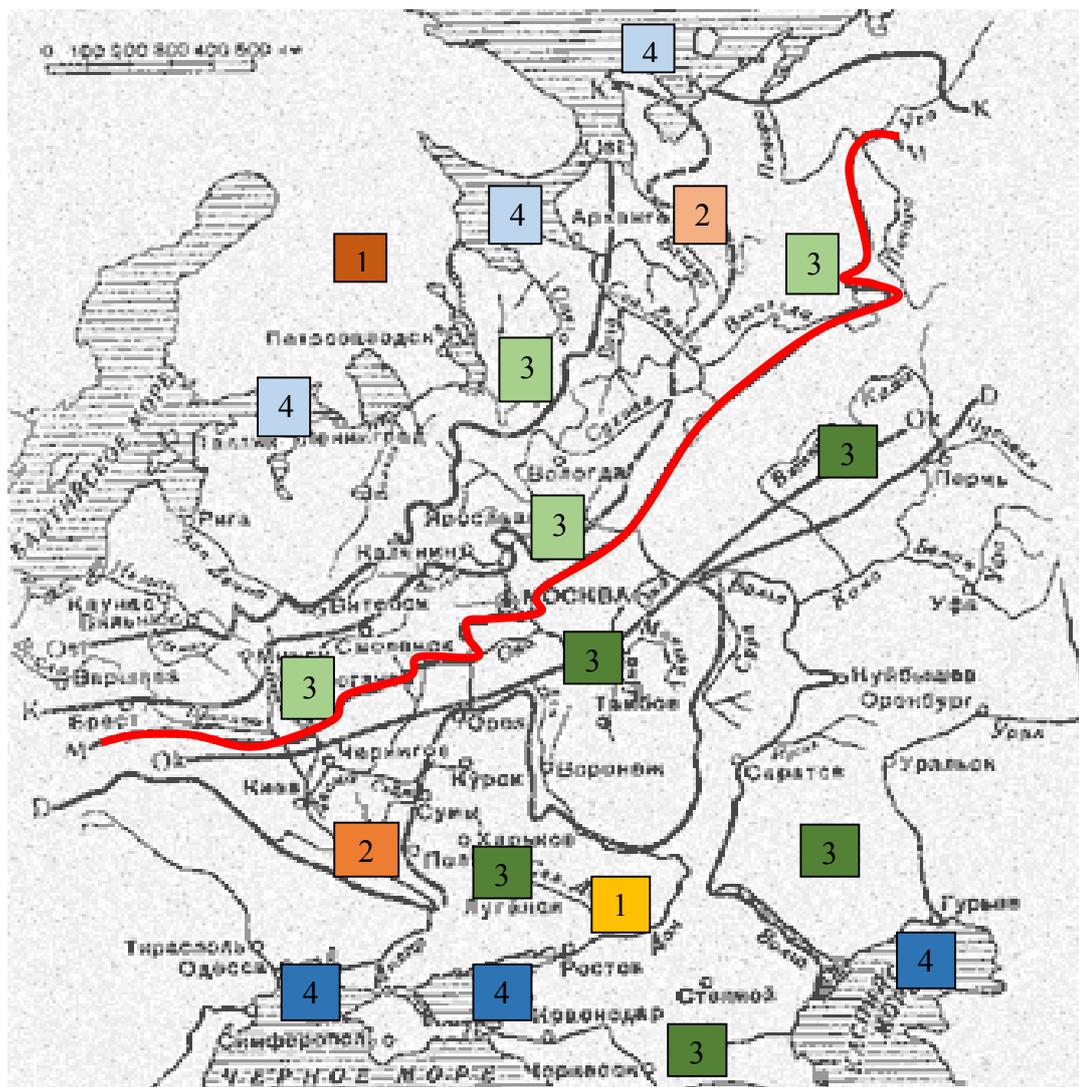
1.1 Восточно-Европейский и примыкающий к нему Фенноскандинавский геоблок (российская часть Балтийского щита) [17a].

Обзорная географическая карта Русской равнины (занимает большую часть Восточно-Европейской платформы) и региональные геологические разрезы по направлениям С - Ю и З - В приведены на рис. 5.1 и 5.2. Тектоническое строение показано на рис. 5.3.



На указанной территории господствует зональный принцип организации инженерно-геологической обстановки. В связи с этим в их пределах, включая акваториальное обрамление, можно выделить две зоны: Северную (ледниковую) и Южную (внеледниковую) в ранге геоблоков второго порядка. Граница между зонами проходит по положению конечно - моренных гряд московского оледенения (см. рис. 5.4) [14].

Схема расположения границ четвертичных оледенений на Русской равнине и типизация инженерно-геологических условий в Северной и Южной зонах



В Северной зоне прослеживаются три типа инженерно-геологической обстановки:

- 1** область приповерхностного залегания кристаллических докембрийских пород фундамента, перекрытых переменным по мощности покровом ледниковых и послеледниковых четвертичных отложений – Балтийский щит;
- 2** область полупогребённого залегания кристаллических докембрийских пород фундамента, перекрытых чехлом осадочных пород и покровом

ледниковых и послеледниковых четвертичных отложений - Тиманское поднятие;

3 область развития и приповерхностного залегания полициклического осадочного чехла, перекрытого переменным по мощности покровом ледниковых и послеледниковых четвертичных отложений – Северная часть Русской плиты и Баренцевская платформа.

4 Шельфовая зона Балтийского, Белого и Баренцового морей.

Инженерно-геологические условия Северной зоны отчётливо дифференцируются по гипсометрическим уровням ледниковой и послеледниковой денудации и аккумуляции, что подчёркивается комплексно-зональным строением рельефа.

На территории указанной зоны широко представлены слабые водонасыщенные песчано-глинистые грунты, верхняя зона которых подвержена значительным изменениям физического состояния в силу сезонного промерзания вплоть до образования многолетнемёрзлых пород в субарктических районах. Весьма существенно влияние таких геологических процессов и явлений как заболачивание, подтопление и затопление территорий, морозное пучение, пlyingуны, суффозия. Отчётливо проявлен платформенный карбонатный и гипсовый карст в породах ордовика, силура, девона, карбона и перми. В меньшей степени проявляют себя оползневые явления. Акваториальное окончание Северной зоны относится к бассейнам Балтийского, Белого и Баренцева морей. Это так называемый *гляциальный шельф*, в строении которого принимают участие три основных комплекса пород: ледниковый, ледниково-водный и морской. Представлены они в основном глинистыми отложениями различной степени литификации: от плотных и прочных моренных грунтов до современных илов текучей и вязкой консистенции. Песчаные и крупнообломочные грунты имеют весьма ограниченное развитие. Рельеф дна равнинного и холмисто-равнинного характера осложнён моренными расчленёнными грядами и уступами. На гляциальном шельфе ведутся обширные инженерно-геологические исследования, связанные с гидротехническим

строительством, поисками и разведкой нефтяных и газовых месторождений, с созданием крупных курортных и оздоровительных комплексов, с поисками строительных песков.

Характерен высокий уровень техногенного освоения и экологических нарушений природной среды со стороны горнодобывающей промышленности (Балтийский щит, некоторые районы Русской плиты), газо-нефтедобывающей промышленности (Баренцево-Печорская провинция), гидротехнического, гражданского и промышленного строительства.

Грунтовые воды Северной зоны характеризуются различными видами агрессивности к бетонам и металлам и залегают близко к дневной поверхности.

В Южной (внеледниковой) зоне и её акваториальном обрамлении в пределах Чёрного, Азовского и Каспийского морей также может быть выделено несколько типов инженерно-геологической обстановки:

- 1 область приповерхностного залегания скальных и полускальных пород палеозойского и мезозойского возрастов с незначительным чехлом континентальных четвертичных отложений – Донецкое поднятие;
- 2 область полупогребённого залегания кристаллических докембрийских пород фундамента, перекрытых чехлом осадочных пород и гетерогенным покровом четвертичных отложений – Украинская антеклиза.
- 3 область приповерхностного залегания полициклического осадочного чехла, перекрытого переменным по мощности покровом континентальных и морских четвертичных отложений со значительным участием лёссовых пород, - южная часть Русской плиты и участки её перикратонных опусканий – Скифская плита, Предкавказский передовой прогиб, Прикаспийская низменность.
- 4 шельфовая область Чёрного моря, Азовского и Каспийского морей.

Инженерно-геологические условия Южной зоны в целом более сложны и разнообразны по сравнению с Северной. Это обусловлено тем, что она находится в краевой полосе активных неотектонических движений. Преобладают прямые соотношения между современным рельефом и

геологической структурой при сохранении общего ступенчатого строения дневной поверхности. В районах неотектонических опусканий активно протекают процессы субэразального и субаквального континентального и морского осадкообразования, что обуславливает широкое развитие лёссовых и аллювиально-дельтовых покровов. Южным окончанием Восточно-Европейского МСБ является пояс передовых прогибов (Крым, Кавказ). Эти прогибы являются стыковой структурой между Восточно-Европейским и Альпийско-Гималайским МСБ.

Пояс Предкавказских передовых прогибов представляет собой аккумулятивную равнину, расчленённую речными долинами и сочленяющуюся с предгорьями Кавказского хребта. Эта равнина протягивается от Таманского полуострова до побережья Каспийского моря и разделяется на две ветви Ставропольским поднятием. В прибрежных частях абсолютные отметки поверхности не превышают 150-200 метров, а в предгорьях Большого Кавказа достигают 1200-1500 метров. В структурном отношении указанная территория представляет собой глубокий предгорный прогиб с погружением складчатого фундамента на глубину до 10 км. Прогиб выполнен мощной глинистой толщей, относимой к майкопской серии отложений палеоген-неогенового возраста. Эти отложения распространяются далеко на север и определяют инженерно-геологические особенности строительства на весьма обширной территории там, где они выходят на поверхность или находятся в приповерхностном залегании. Майкопские глины отличаются большой склонностью к выветриванию с образованием мощных щебенистых осыпей, определяющих развитие многочисленных оползней. В зоне выветривания и дезинтеграции наблюдается ожелезнение и загипсованность, высокое содержание гумуса и гуминовых кислот. При взаимодействии с водой майкопские глины характеризуются сильным набуханием.

Большая часть Предкавказья находится в зоне 6 – 7 - балльных землетрясений.

В пределах Южной зоны, в районах поднятий, интенсивно развиваются процессы денудации, сопровождаемые активным карстом, оползнями, просадками. В береговой полосе преобладают неустойчивые абразионные берега (Чёрное и Азовское моря). Каспийское побережье в последние годы подтапливается. В районах перикратонных опусканий сильно проявлена соляная тектоника (Прикаспийская низменность).

Для Южной зоны характерен исключительно высокий уровень техногенного освоения и возникновение многочисленных очагов экологической напряжённости, что связано с разнообразной хозяйственной деятельностью: горнодобывающая промышленность (Курская магнитная аномалия, Донбасс, Кривбасс, Воронежская антеклиза и т. д.), гидротехническое строительство (Волжский и Днепровский каскады, крупные мелиоративные системы и каналы), энергетическое строительство (АЭС и ТЭЦ), городское промышленное и линейное строительство. Грунтовые воды имеют широкий спектр загрязнений и повышенную минерализацию. Многие районы зоны испытывают недостаток чистой питьевой воды.

Шельфовое обрамление этой зоны относится к Украине и включает в себя северо-западную часть Черноморского шельфа, характеризующуюся равнинным рельефом с преобладанием глубин до 50-100 метров. Основной тип отложений пески, ракушечники, реже илы мощностью до 1 - 2 метров, покрывающие подводные абразионные и аккумулятивные участки.

Азовское море имеет среднюю глубину 8,5 м. Оно занимает пологую впадину – часть эпигерцинской Скифской платформы, ушедшую под воду в голоцене. Слабоволнистое дно бассейна сложено толщей верхнеплейстоценовых суглинков, перекрытых морскими обломочными осадками, достигающими в южной части бассейна мощности до 30-40 метров. Особое место занимают лагуны Сиваша, отличающиеся высокой солёностью воды и выпадением самосадочной соли.

К Южной зоне следует отнести шельф северного и среднего Каспия, представляющий южное окончание Прикаспийской синеклизы. Это обширная

мелководная равнина, сформированная накоплениями терригенного материала, обогащенного ракушечником, и в изобилии поступающего сюда в виде выносов рек Волги, Урала, Терека и Сулака. В центральных районах прослеживаются многочисленные ракушечные и песчаные банки, к югу от которых расположена плоская равнина, сложенная песками и ракушечными осадками. В настоящее время на этом участке ведутся интенсивные разведочные работы на нефть и газ и инженерно-геологические исследования, связанные с эксплуатацией открытых месторождений.

К югу мелководные районы Северного Каспия переходят в аккумулятивные донные равнины, сложенные песками и алевролитами. Фундамент здесь обнаружен на глубинах до 15 км, широко представлены асимметричные гряды, образованные песчаниками и известняками –ракушечниками. В восточной части Среднего Каспия за пределами российского шельфа развита ступенчатая наклонная равнина, выработанная в миоценовых (хвалынские и новокаспийские отложения) субгоризонтально залегающих породах. Ниже бровки шельфа породы перекрыты новейшими песчано-ракушечными отложениями. В связи с указанной зоной нельзя не упомянуть залив Кара-Богаз-Гол, находящийся ныне на территории Туркмении. Залив представляет собой депрессию, борта которой сложены меловыми палеогеновыми и неогеновыми породами, а дно выстлано толщей эвапоритов с мощными прослоями солей. По сути дела, в условиях жаркого засушливого климата залив работал как природная фабрика ценного химического сырья. Попытки отгородить залив от моря глухой дамбой для увеличения добычи солей привели к резкому изменению процессов осадконакопления и ухудшению качества сырья. Пришлось срочно разбирать дамбу и восстанавливать естественную связь залива с морем. В данном районе в советское время был построен город Шевченко, в котором действовала атомная опреснительная установка.

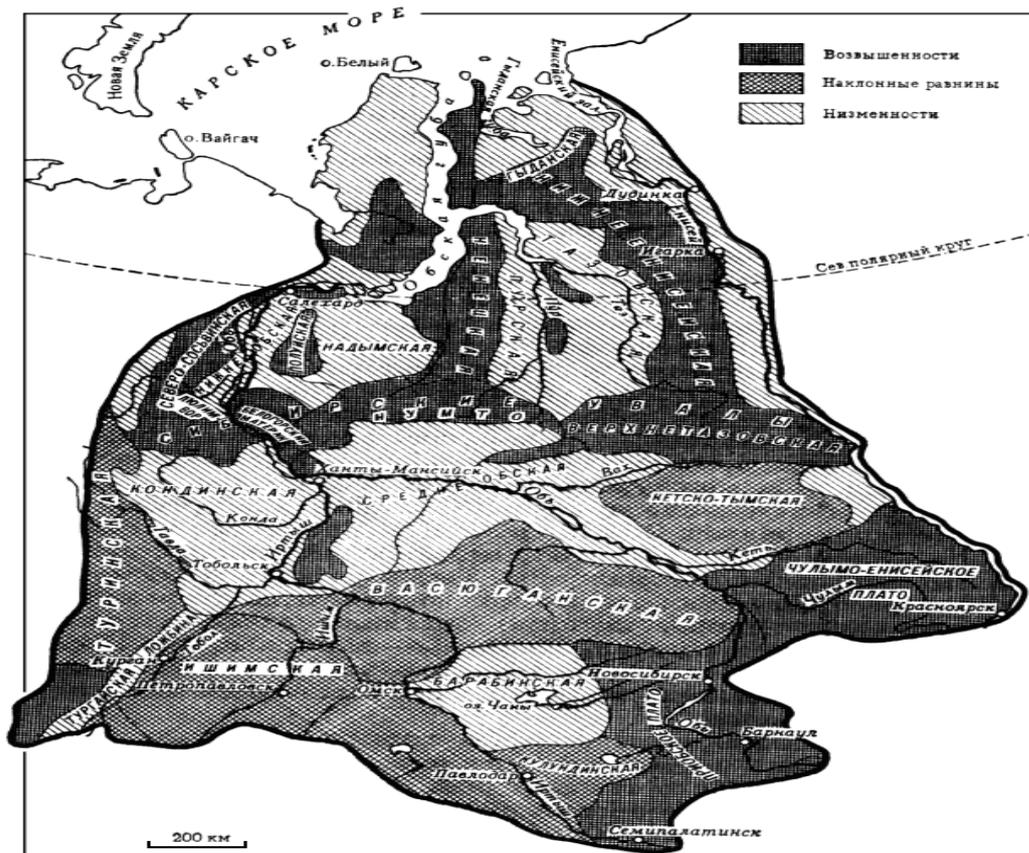
1.2. Западно-Сибирский геоблок и его арктический шельф [176].

Общее представление о рельефе Западно-Сибирской равнины передаёт рис. 5.5

Рис. 5.5



Площадь составляет около 3 миллионов км²; её протяжённость с севера на юг — 2500 км, а с запада на восток — 1900 км. Главные реки — Обь, Иртыш. Восточная граница геоблока проходит по долине Енисея.



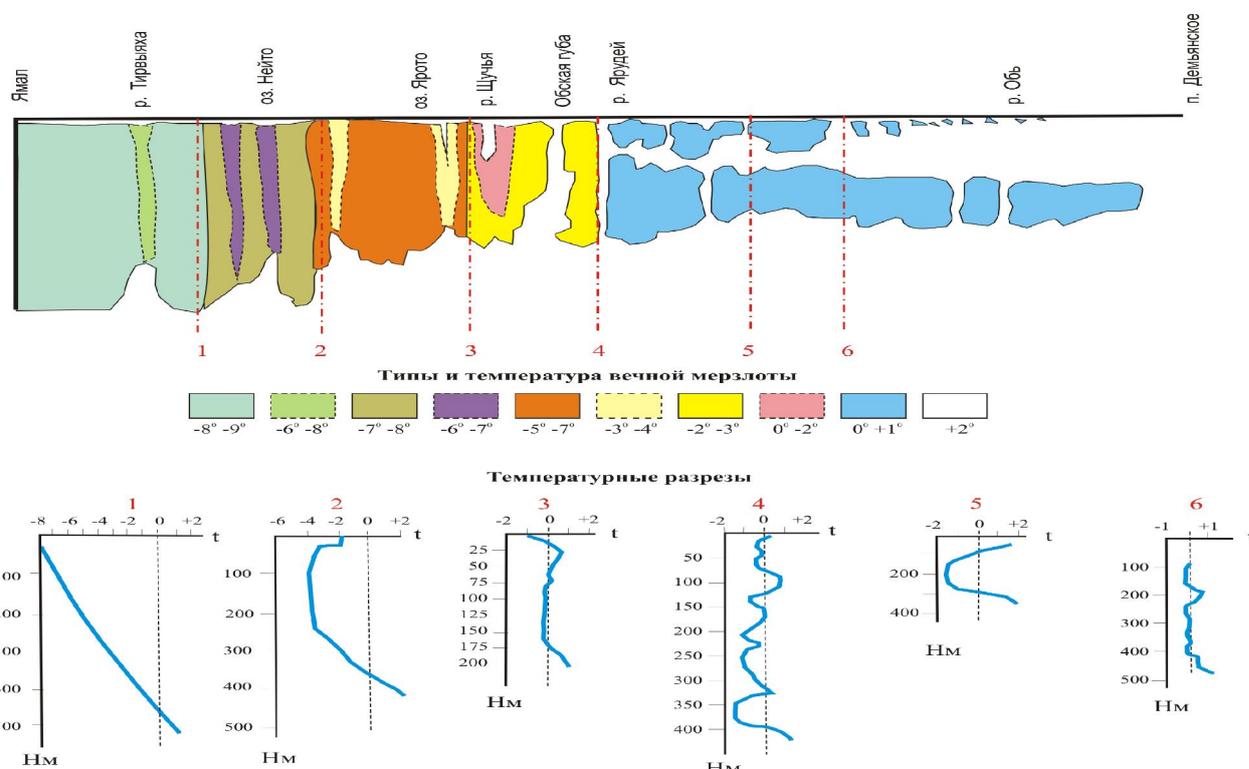
Положение основных природных зон показано на рис. 5.6

Строение многолетней мерзлоты с севера на юг представлено на рис. 5.7

Рис. 5.6



Рис. 5.7



На указанной территории чётко прослеживается климатическая зональность, что позволяет выделить четыре широтно ориентированные зоны:

заполярную акваториально-континентальную (включая Карский шельф), Северную, Центральную и Южную (В. Т. Трофимов, 1971). В целом, рельеф территории равнинный, слабо расчленённый в пределах отметок, не превышающих 250-300 метров. Только в краевых частях, примыкающих к денудационным предгорьям Урала и Алтая, сложенным нижнемеловыми, палеогеновыми и неогеновыми породами, наблюдаются повышенные отметки рельефа. С поверхности указанные денудационные равнины сложены субэральными и озёрно-аллювиальными лёссовидными суглинками, обладающими просадочными свойствами. В Центральной зоне к востоку от долины реки Оби выделяется область аккумулятивных равнин, сложенных ледниковыми и водноледниковыми отложениями (Сибирские Увалы).

В заполярной тундровой зоне сплошной мерзлоты повсеместно представлены многолетнемёрзлые породы с температурой от минус 3 до минус 10°C, на дневной поверхности развито морозобойное растрескивание и полигональный микрорельеф, на речных террасах и низких водоразделах развит термокарст и бугры пучения. Зимой это бесконечная снежная пустыня с невероятно сложными и трудными условиями жизни и работы на многочисленных газоносных месторождениях (рис. 5.8).

Рис. 5.8



В Северной зоне лесотундры и таёжных лесов распространена таликовая мерзлота, для которой характерно чередование талых и мёрзлых грунтов с температурой выше минус 3 °С. В указанной зоне широко развиты склоновая солифлюкция и термокарст (см. гл.4).

В Центральной (таёжной) зоне распространены сильно увлажнённые глинистые грунты, что определяет широкое развитие заболачивания от водоразделов до низких речных террас (рис. 5.9). В пылеватых песках и супесях руслового аллювия в строительных выработках проявляют себя пlyingуны.

Рис. 5.9

Вид на Васюганские болота



В Южной зоне распространены слабо увлажнённые, часто засоленные грунты. Высокие надпойменные террасы перекрыты лёссовидными суглинками и супесями, в которых развиты суффозионно-просадочные явления, активно развиваются овраги, эоловый перенос песков.

Южная зона Западно - Сибирского геоблока непосредственно граничит с Центрально-Казахстанским геоблоком, также относящимся к складчатым сооружениям Северной Евразии. Это внутриконтинентальное сводовое поднятие, которое в новейшую тектоническую эпоху оформилось в виде

Казахского эрозионно-денудационного низкогорья (Казахский мелкосопочник), переходящего к югу во внутреннюю Тенгизскую равнину Центрального Казахстана.

Центральную часть Западно - Сибирского геоблока занимает область крупных речных долин Оби, Иртыша и их притоков. Прослеживаются пойма и четыре надпойменные террасы. В разрезе поймы и первой надпойменной террасы преобладают суглинки, супеси и мощные горизонты торфов. Высокие террасы с поверхности сложены суглинками и глинами, подстилающимися тонкозернистыми и мелкозернистыми песками.

На большей части рассматриваемой территории грунтовые воды залегают близко к поверхности, они имеют малую минерализацию и проявляют широкий спектр агрессивности к бетонам (общекислотная, выщелачивающая и углекислотная).

Южнокарский шельф представляет в тектоническом отношении единое целое с северной частью Западно - Сибирской плиты. В его пределах мощный осадочный чехол (1000-4000 метров) перекрывает мозаично построенный фундамент, консолидировавшийся в байкальскую, каледонскую и позднегерцинскую эпохи складчатости. Непосредственно к берегу примыкает мелководная Ямало - Гыданская отмель, поверхность которой расчленена подводными эстуариями рек и переработана волновой аккумуляцией и термоабразией. Многочисленные острова сложены верхнеплейстоценовыми и голоценовыми морскими осадками, скованными мерзлотой. На больших глубинах, дальше от берега, прослеживается плоская мелководная полоса Среднего поднятия Карского моря, сложенная современными песчано-алевритовыми и песчаными отложениями, находящимися в зоне постоянного волнового воздействия. Под ними находятся реликты ледниковых и флювиогляциальных отложений. В этой зоне встречаются обширные поля железомарганцевых конкреций.

Западно - Сибирский геоблок отличается весьма неравномерным уровнем техногенного освоения и нарушенности геологической среды. Значительные

отрицательные экологические изменения наблюдаются в Заполярной и Северной зонах, где сосредоточена большая часть интенсивно разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений. Всего здесь установлено около 300 месторождений углеводородов. Кроме углеводородов велики запасы термальной энергии одного из величайших артезианских бассейнов, содержащих четыре региональных водоносных комплекса. Откачки нефти и газа вызывают опускание дневной поверхности, прокладка дорог и трубопроводов отрицательно сказывается на растительном покрове тундры, что в свою очередь вызывает деградацию мерзлоты, вторичное заболачивание, развитие оврагов и промоин даже на пологих склонах.

1.3. Восточно - Сибирский геоблок и его арктический шельф [17в].

Восточно - Сибирский геоблок приурочен к древней Сибирской платформе, протянувшейся от долины Енисея на западе до отрогов Верхоянского хребта на востоке (см. рис. 5.10 и 5.11).

Рис. 5.10



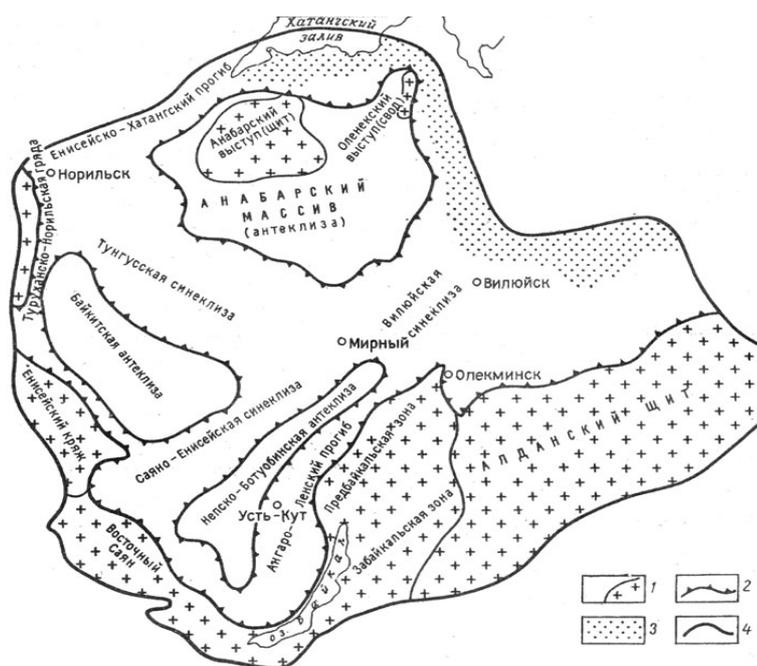
Грандиозна и сурова природа Восточной Сибири. Тянущиеся на тысячи километров многоводные реки, бескрайняя тайга, горные массивы и плоскогорья, низменные равнины тундровой полосы – всё это Восточная Сибирь.



Знаменитые Ленские столбы на восточной границе Восточно - Сибирского геоблока



Тектоническая схема Сибирской платформы (В. П. Гаврилов, 1981)



1. выходы на поверхность пород кристаллического фундамента
2. Границы региональных поднятий
3. Предверхоанский краевой прогиб
4. Граница платформы

Сибирская платформа является крайней восточной частью Евразийского мегаструктурного геоблока, непосредственно граничащего с Китайской плитой (рис. 5.13)

Рис. 5.13

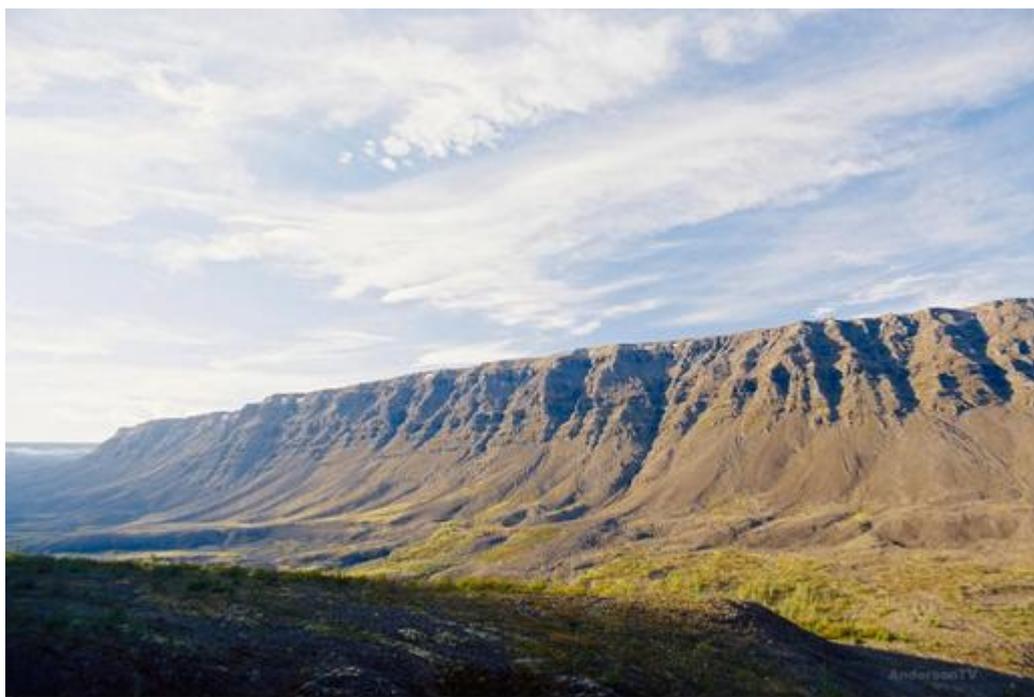


В основе геоблока лежит древняя Сибирская платформа со сложным мозаично-блоковым тектоническим строением основных структурных этажей. Выделяются два обширных приподнятых участка фундамента, сложенные архейско-протерозойскими метаморфическими и изверженными породами: Анабарская антеклиза и Алданский щит (аналоги Балтийского щита и Украинской антеклизы Восточно-Европейской платформы). Эти щиты ограничиваются и разделяются глубокими синеклизами (Тунгусская и Вилуйская), а также серией внутриплатформенных краевых и предгорных прогибов (Предтаймырский, Приверхоянский, Прибайкальский, Ангаро - Ленский, Ангаро - Канский, Иркутско - Черемховский), выполненных мощной

толщей скальных и полускальных пород трапповой (см. рис.5.14), эффузивной, эффузивно-осадочной, терригенной, терригенно-карбонатной и карбонатной формациями. Вдоль западной границы геоблока наблюдаются выходы байкальских структур, образующих эрозионно-тектонические низкогорья: Енисейский и Туруханский кряжи.

Рис. 5.14

Сибирские траппы



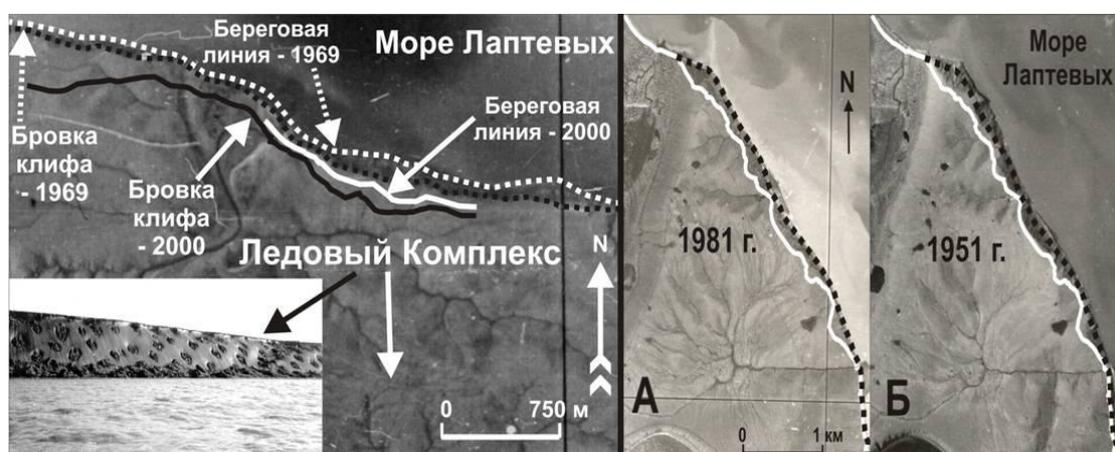
В рельефе преобладают структурно-денудационные формы рельефа, образующие столовые ступенчатые плато на горизонтально залегающих или пологопадающих интрузивных и эффузивных толщах в интервале абсолютных отметок от 200 до 1000 м. В пределах Вилюйской синеклизы, в центральной части Анабарского прогиба и северного склона Алданского щита развиты аккумулятивные формы, образующие увалисто-холмистые плато.

Среди четвертичного покрова преобладают маломощные отложения элювиального, делювиального и солифлюкционно-делювиального типов. В пределах Вилюйской синеклизы получили развитие песчано-глинистые озёрно-аллювиальные четвертичные образования. Следы покровных оледенений в пределах геоблока носят фрагментарный характер и не определяют той чёткой

зональности, которая характерна для комплексов ледниковых образований Восточно-Европейской платформы. Сибирская платформа лежит целиком в области развития многолетнемерзлых пород с таликами в южной части. В северной половине территории мощность замороженных пород достигает 300-400 метров. Характерной чертой территории является значительная заболоченность и широкое развитие мерзлотных процессов: термокарста, солифлюкции, пучения. На денудационных возвышенностях и низкогорье появляются карст, обвалы, осыпи, оползни, сели и просадки (Иркутский амфитеатр). Преобладают воды деятельного слоя и подрусловых таликов. Наряду с пресными и маломинерализованными, слабо агрессивными водами, встречаются надмерзлотные воды высокой агрессивности к бетонам и металлам. Для Сибирской платформы характерно богатство ландшафтно-растительных зон: от лесостепи на юге до тундры на севере, но большая часть занята таёжными лесами.

Субмаринная часть платформы представлена аккумулятивной равниной, занимающей западную часть моря Лаптевых, включая район Хатангского и Анабарского заливов и прибрежную часть до меридиана реки Оленёк. На шельфе преобладают талые породы с температурой выше точки замерзания вод, насыщающих донные осадки. Мерзлые породы отмечены лишь вдоль береговой полосы, где интенсивно развивается термоабразия. В результате бровка коренного берега ощутимо передвигается вглубь континента (рис.5.15).

Рис. 5.15



Маломощные линзы многолетнемерзлых пород встречаются на отдельных участках под дном моря, где они интенсивно протаивают сверху и снизу. Основные современные процессы на шельфе связаны с перемещением осадков вдольбереговыми течениями, с выносом песчаного материала реками, с торошением и подвижками ледяных полей.

Северное окончание Восточно - Сибирского геоблока относится к Таймыро-Североземельской складчатой зоне, представленной полуостровом Таймыр и островами Североземельского архипелага. Острова Северной земли представляют собой высокие плато, частично закрытые ледниками. Вдоль берега прослеживается неширокая аккумулятивная террасированная равнина. Над поверхностью ледникового щита местами поднимаются островерхие выходы скальных пород (нунатаки).

Таймырский полуостров занимает северную оконечность Евразийского континента и расположен между Енисейским заливом Карского моря и Хатангским заливом моря Лаптевых. По характеру поверхности делится на три части: Северо - Сибирская низменность, горы Бырранга высотой до 1125 метров, тянущиеся с юго-запада на северо-восток, и прибрежная равнина Карского моря. Южной границей полуострова считается северный выступ плато Путорана (рис.5.16).

Рис. 5.16



Горы Бырранга мало изучены и труднодоступны, но рассматриваются как резервный источник полиметаллов, золота и урана. Доказано наличие крупных запасов каменного и бурого углей. Горы состоят из ряда цепей, расчленённых глубокими речными долинами. Здесь обнажаются глинистые сланцы, железистые песчаники и алевролиты с отдельными выходами изверженных пород. Повсеместно развита многолетняя мерзлота мощностью до 300-400 метров с температурой мёрзлых толщ до минус 10 минус 15 градусов. Всюду распространены мерзлотные формы рельефа, встречаются крупные наледи. Склоны и вершины покрыты осыпями и курумами со следами древних оледенений. В южных предгорьях много озёр, крупнейшее из которых озеро Таймыр.

Особое место в рассматриваемом регионе занимает Норильско-Туруханский район, где расположено крупнейшее медно-никеле – кобальто - платиновое месторождение. Здесь накоплен бесценный опыт современного городского, гидротехнического строительства и производства горнотехнических открытых и подземных работ в сложных мерзлотно-динамических условиях (Талнах, Норильск, Кайеркан, Дудинка и др.), при этом возникает множество экологических проблем: Норильск один из самых загрязнённых городов мира (рис. 5.17).

Рис. 5.17

Вид на Норильский металлургический комбинат



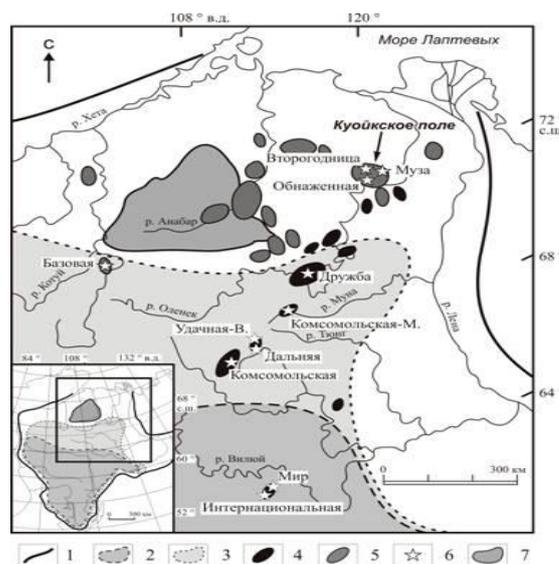
Наиболее благоприятными для строительства грунтами четвертичного возраста являются гравийно-галечные грунты, позволяющие использовать естественные основания без учёта сжимаемости и теплового состояния грунтов. Хорошим основанием сооружений являются песчаные грунты, но следует учитывать их высокую льдистость и тепловые осадки. На сильнольдистых грунтах рекомендуется вести строительство с сохранением их мёрзлого состояния, а на талых глинистых грунтах тщательно контролировать их значительную сжимаемость. Большое значение в формировании инженерно-геологической обстановки имеют разрывные нарушения и глубинные разломы, особенно в зонах гребневых и куполовидных антиклиналей, флексур и мульд. Повсеместное развитие многолетней мерзлоты и суровый климат обуславливают региональное развитие мерзлотно-динамических процессов: солифлюкции, термокарста, пучения, образования наледей.

Восточно - Сибирский геоблок является крупнейшей алмазоносной провинцией России, где добыча алмазов ведётся открытым и подземным способом (рис. 5.18). Очень часто разработка кимберлитовых трубок в условиях обводнения высококонцентрированными рассолами представляет сверхсложную техническую задачу (рис. 5.19).

Рис. 5.18. Карьер в г. Мирном (трубка «Мир»)



Рис. 5.19



1 – граница Сибирской платформы; 2 – область распространения кембрийских соленосных отложений; 3 – область сплошного развития рассолов; 4 – поля кимберлитов палеозойского возраста; 5 – поля кимберлитов мезозойского возраста; 6 – кимберлитовые трубки; 7 – Анабарский щит

Уровень техногенного освоения Восточно - Сибирского геоблока неравномерен. В северной половине территории экологические нарушения носят очаговый характер около крупных горнодобывающих, гидротехнических и городских объектов (Норильск, Мирный, Якутск, Вилуйская, Усть-Илимская, Братская ГЭС и др.). Южная часть территории интенсивно развивается и характеризуется многочисленными нарушениями геологической среды в пределах Иркутского амфитеатра, Ангарского каскада ГЭС, западного участка Байкало-Амурской магистрали).

Рис. 5.20

Вид с плотины Братской ГЭС на нижний бьеф



Помимо описанных выше платформенных геоблоков в состав Североевразийского сегмента входят значительные по площади структуры, претерпевшие как мощные складчатые и орогенные движения (байкальские, каледонские, герцинские), так и существенное денудационное выравнивание,

которое на последнем неотектоническом этапе сменилось значительным омолаживанием рельефа и перераспределением чехла четвертичных отложений. В пределах этих структур в приповерхностном залегании преобладают скальные и полускальные грунты, перекрытые довольно мощной корой выветривания. Соотношение ландшафтно-климатических и структурно-тектонических границ в пределах таких структур может быть различным. Наложение их друг на друга, как например, для геоблока возрождённых гор Южной Сибири определяет сложный, ветвящийся рисунок, создающий мозаичную или секториальную

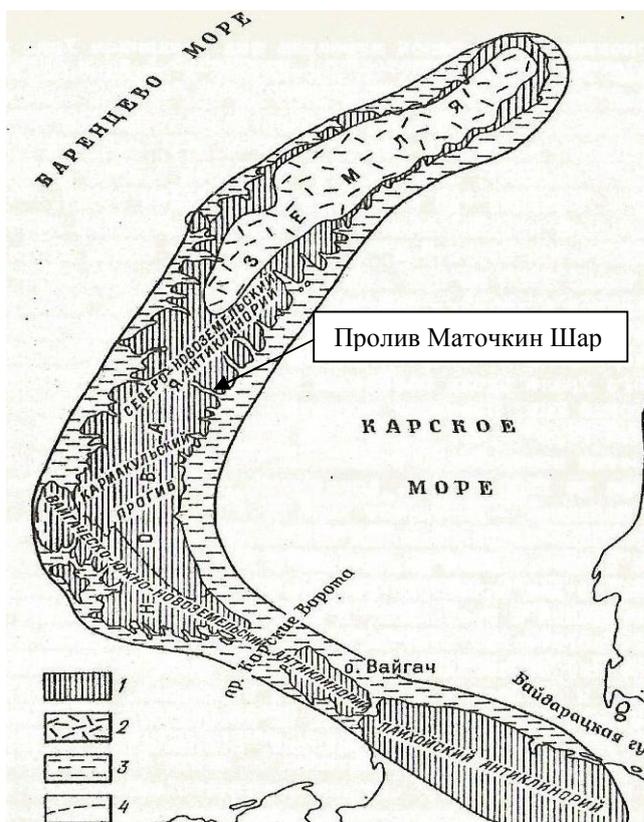
картину инженерно-геологических условий. С другой стороны, как например, для Новоземельско – Пайхойско - Уральского геоблока, при сглаженном рельефе основных горных сооружений прослеживается субширотная зональность основных типов инженерно-геологических условий, что свойственно соседним равнинным территориям Восточно-Европейской и Западно - Сибирской платформ.

1.4. Новоземельско-Пайхойско-Уральский геоблок и его арктический шельф [15, 17d].

Своеобразие инженерно-геологической обстановки позволяет выделить здесь два субрегиона: Пайхойско - Новоземельский (рис. 5.21) и собственно Уральский (рис. 5.23).

Рис. 5.21

Схема районирования Новоземельского субрегиона [15]



- 1 – зона развития многолетнемерзлых пород
- 2 – зона покровного оледенения
- 3 – шельф
- 4 - основные структурно-тектонические границы

Типичный ландшафт островов Новой Земли



Мыс Желания - самая северная точка Новой Земли

Гора Крузенштерна 1547 м



Самую северную часть Новоземельского архипелага занимает зона современного покровного оледенения. Ледниковый щит является сложным комплексом взаимосвязанных ледников, находящихся в постоянном, но неравномерном движении. Это движение, равно как физические свойства самого льда, определяют инженерно-геологические условия в пределах ледникового щита. В подошве ледникового покрова происходит донное таяние льда, что позволяет предположить отсутствие мёрзлых пород под его подошвой и приуроченность водообильных водоносных горизонтов к дочетвертичным образованиям.

Зона многолетнемёрзлых пород (суша, свободная от ледникового покрова) занимает половину Северного острова Новой Земли, весь Южный остров, остров Вайгач и Югорский полуостров (хребет Пай - Хой). Морское побережье этой зоны представляет собой террасированную равнину высотой 80-100 метров, переходящую в холмистое денудационное плато с абсолютными отметками 300-700 метров. Центральные части островов архипелага Новой Земли занято расчленённым среднегорьем с абсолютными высотами 1200-1500 метров и глубокими каньонообразными долинами. Основные инженерно-геологические особенности зоны определяются двухэтажным строением пояса отрицательных температур. В нижнем этаже немёрзлые породы насыщены отрицательно-температурными рассолами, верхний этаж представлен многолетнемёрзлыми

породами, мощность которых в прибрежной полосе колеблется от 10 до 200 метров, а в горных районах может достигать нескольких сот метров. Мощность деятельного слоя здесь колеблется от 0, 2 до 3,2 метра. Верхние горизонты мёрзлой толщи, представленные корой выветривания коренных пород, характеризуются высокой льдистостью, в нижних горизонтах общая льдистость не превышает нескольких процентов, а в трещинах часто присутствуют легкорастворимые соли, главным образом мирабилит.

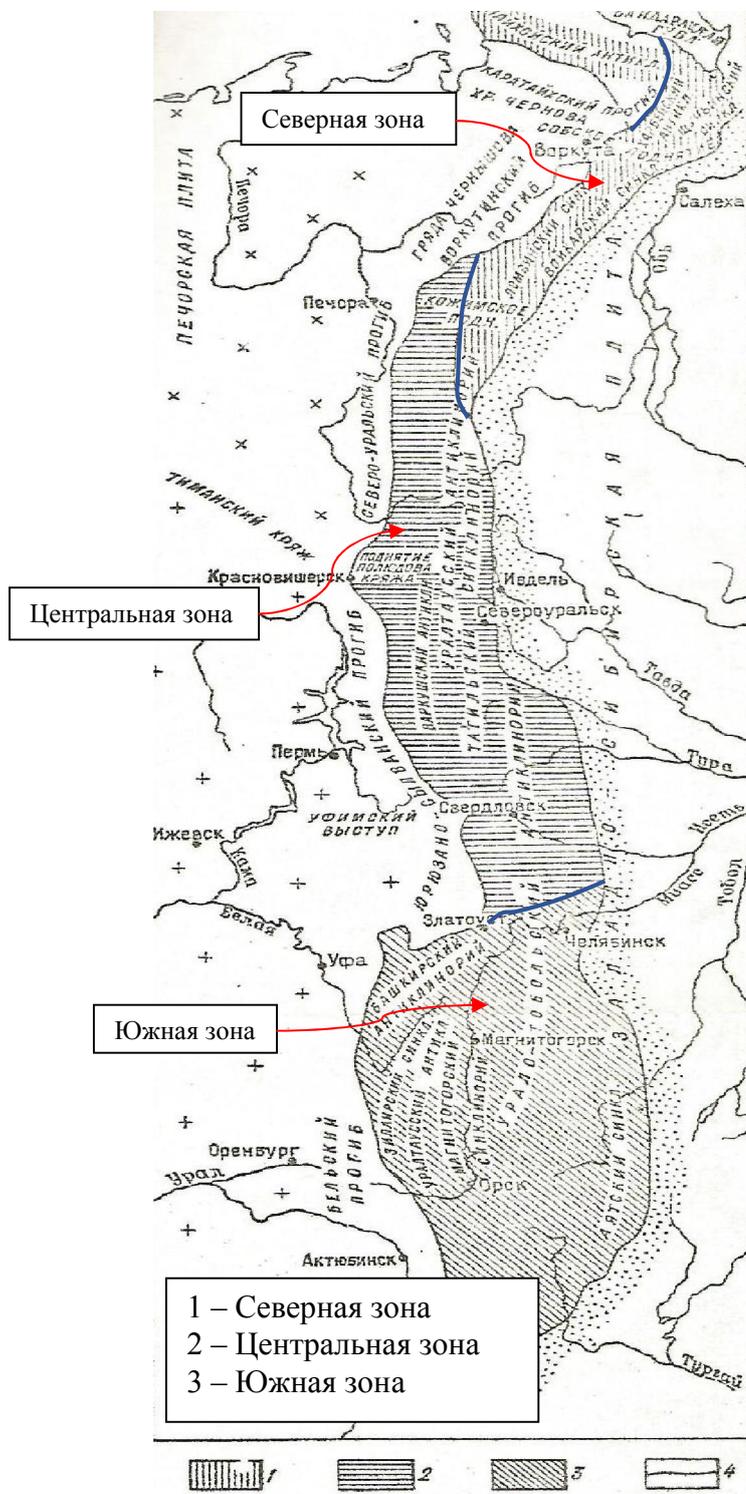
Для данной зоны характерно широкое развитие надмерзлотных, внутримерзлотных и подмерзлотных вод. Надмерзлотные воды, приуроченные к деятельному слою и надмерзлотным таликам, образуют маломощные водоносные горизонты, обладающие выщелачивающей и общекислотной агрессивностью к бетонам. Подмерзлотные трещинно-жильные и трещинно-пластовые воды, как правило, напорные и фонтанирующие, агрессивны к бетонам и проявляют коррозирующую активность чёрным и цветным металлам. Поровые воды мёрзлых пород агрессивны к алюминиевым оболочкам кабелей.

Зона шельфа узкой полосой окаймляет острова Новоземельского архипелага и Югорского полуострова. Четвертичный чехол шельфа сложен плейстоценовыми континентальными и континентально-морскими, а также голоценовыми морскими и ледниково-морскими отложениями, находящимися в талом состоянии. Их мощность в отдельных впадинах коренного ложа может составлять несколько десятков метров. Дочетвертичные породы представлены метаморфическими, терригенными, карбонатными и вулканогенными комплексами верхнепротерозойского и палеозойского возраста, прорванными редкими интрузиями диабазов и гранитоидов. На инженерно-геологическую обстановку всей береговой зоны существенно влияет наличие густой сети разрывных нарушений и блоковых движений, что обуславливает неровный рельеф коренного ложа и сложную конфигурацию берегов. На крутых берегах интенсивно развиваются процессы волновой абразии, но в северных районах её активность снижается за счёт длительного существования ледникового припая. Вдольбереговые потоки наносов почти отсутствуют, лишь на ограниченных

участках мелководья образуются песчаные банки и отмели, на которых начинается формирование подводных линз мёрзлых отложений.

Рис. 5.23

Схема районирования Уральского субрегиона [15]



Уральский субрегион может быть разделён на три зоны. Северная характеризуется почти повсеместным развитием многолетнемёрзлых пород мощностью 100-300 метров. Южная граница их распространения фиксируется по 61°30' с.ш., однако сплошное развитие они имеют севернее 65-66° с. ш. Основными геоморфологическими элементами здесь являются крупные горные хребты, разделённые продольными долинами. Абсолютные высоты водоразделов достигают 1000-1800 метров, днищ долин 600-700 метров. Склоны и подножья хребтов заняты таёжным лесом, севернее 65° с. ш. распространены тундровые ландшафты.

Особенности геологического строения определяются наличием

трёх структурно-формационных зон субмеридиональной ориентировки: Западно - Уральской, Центрально-Уральской и Тагильско - Магнитогорской. В Западно -

Уральской зоне преобладают карбонатные толщи и кремнисто - глинистые сланцы с прослоями вулканитов. Центрально-Уральская зона сложена наиболее древними доордовикскими метаморфизованными породами. В Тагильско - Магнитогорской зоне широко представлены перидотиты, диабазы и порфиры додевонского возраста, прорванные крупными телами гипербазитов. По коренным породам повсеместно развиты дресвяно-щебенистые коры выветривания мощностью около 10-15 метров. В инженерно-геологическом отношении коры выветривания относятся к полускальным грунтам, переходящим в верхней части разреза в рыхлые несвязные. Их физико-механические свойства усложняются мёрзлым состоянием, наличием прожилков льда в трещинах и льда-цемента в щебенисто-глыбовых образованиях.

В основании разреза четвертичного чехла залегают нерасчленённые плиоцен-нижнечетвертичные морские и прибрежно-морские супеси и пески. В переуглублённых речных долинах развиты суглинки и пески с включениями гальки и валунов. На надпойменных террасах распространены аллювиальные и озёрно-болотные отложения: пески, супеси, суглинки и торфа. В горных районах представлены крупнообломочные ледниковые и водно-ледниковые отложения: валуны и галечники с небольшим количеством суглинистого заполнителя. Физико-механические свойства рыхлых отложений зависят от их льдистости, температуры и засоленности.

Геодинамическая обстановка характеризуется широким развитием мерзлотно-динамических процессов: солифлюкции, морозного пучения, интенсивного морозного выветривания. Подмерзлотные воды, образующие трещинно-пластовые скопления, имеют небольшие притоки и слабую минерализацию. Эти воды слабо агрессивны к бетону и металлам. Надмерзлотные пресные и ультрапресные воды образуют сезонные водоносные линзы и обладают выщелачивающей агрессивностью к бетонам.

Интенсивные современные поднятия и резкие формы рельефа обуславливают развитие обвалов, осыпей, эрозионных процессов. В горных районах довольно много селеопасных бассейнов. Широко развиты мерзлотные

процессы: солифлюкция, морозное пучение, формирование курумов на склонах и «каменных морей» на водоразделах.

В Центральной зоне, охватывающей южную часть Северного Урала и Средний Урал, в геологическом отношении прослеживаются те же структурно-формационные зоны, что и в северной части субрегиона, но в целом инженерно-геологическая обстановка здесь принципиально иная. Рельеф становится менее резким, среднегорье сменяется низкогорьем. Широко представлены открытые и погребённые коры выветривания. Интенсивность корообразования убывает с востока на запад. Наибольшей мощностью и дифференциацией по составу обладают древние коры, формирование которых началось в мезозое. Неоднородность состава и резкая изменчивость свойств грунтов в пределах кор выветривания создают много проблем для поверхностного строительства и эксплуатации месторождений, приуроченных к корам выветривания.

Четвертичный покров в указанной зоне не имеет сплошного распространения. Горные массивы и хребты в пределах отметок выше 500 метров покрыты развалами глыб, переходящими ниже по склонам в элювиальные и делювиальные щебенисто-глинистые отложения небольшой мощности. На западном склоне практически повсеместно развиты покровные элювиально-делювиальные и пролювиально-делювиальные суглинки мощностью от 1-2 до 10-15 метров. Мощность четвертичных отложений выше в речных долинах, где песчано-глинистые грунты формируют несколько комплексов террас.

Для гидрогеологических условий характерно распространение трещинно-грунтовых, трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод. Карстовые воды отличаются высокой водообильностью и могут обладать сульфатным типом агрессии к бетонам.

Геодинамическая обстановка связана прежде всего с карстом, активно развивающимся в условиях гумидного климата как в приосевой части Урала, так и на западном и восточном склонах. Карстуются в основном палеозойские известняки и доломиты. На восточном склоне породы закарстованы до глубины

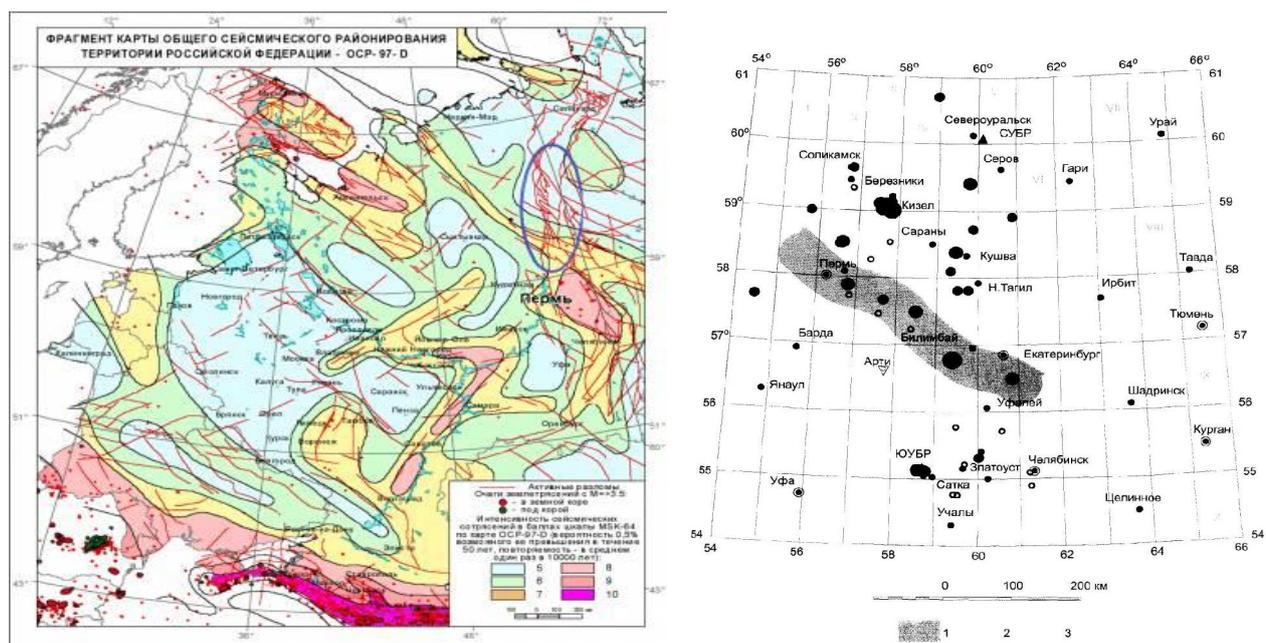
300 метров, на западном склоне – до глубины 500-600 метров. К карстовым областям Урала приурочены многочисленные месторождения бокситов и других полезных ископаемых. Обработка этих месторождений сильно осложнена водообильностью карстовых вод, когда притоки в горные выработки могут достигать 2000-5000 м³/час.

Рис. 5.24

Ординская подводная пещера на левом берегу р. Кунгур



Средний Урал характеризуется повышенной сейсмической активностью, достигающей в горных районах 7-балльной интенсивности (рис. 5.25).



В горных районах Среднего Урала развивается интенсивное выветривание изверженных пород, что сопровождается обвалами, осыпями, формированием осыпей и курумов. Относительно неглубокое залегание грунтовых вод и значительная глубина промерзания способствуют пучинообразованию, как в тонкодисперсных, так и крупнообломочных рухляковых разностях.

Южная зона Уральского субрегиона располагается в пределах Южного Урала (исключая западные склоны наиболее возвышенных хребтов в его северной части). Абсолютные отметки основного горного хребта этой зоны Уралтау достигают 1000-1600 метров.

Типичный ландшафт Южного Урала



Периклинальным замыканием служат Мугоджарские горы, находящиеся в настоящее время на территории Казахстана. От основной части Урала Мугоджары отделены косоширотным понижением, имеющим типичный равнинный рельеф. В пределах Южной зоны происходит структурно-тектоническая перестройка с развитием значительных надвигов западном направлении. Центральная зона хребта Уралтау надвинута на Башкирский выступ и Зилаирскую сланцевую зону на 12-15 км. Структурно-формационные комплексы западноуральского типа сокращаются, и начинает преобладать восточноуральский тип геологического разреза, в котором преобладают мощные флишевые и флишоидные силурийско-девонские отложения (Магнитогорский синклиорий). Пограничная с Западно - Сибирским геоблоком территория представлена Восточно-Уральским и Зауральским поднятиями, разделёнными Восточно-Уральским синклиорием, где осадочно-вулканогенные толщи силура, девона и карбона прорваны многочисленными интрузивными телами и метаморфическими образованиями гранитогнейсов и мигматитов. Для Южного Урала характерно широкое развитие типичных платформенных формаций (от верхнего триаса до палеогена) континентального и морского типа. Широко представлены коры выветривания мощностью 20-30 метров.

В горной части на водоразделах преобладают крупнообломочные элювиально-делювиальные отложения, а в долинах рек и межгорных впадинах

развиты аллювиальные и аллювиально-озёрные отложения. Покровные лёссовые отложения различного генезиса перекрывают невысокие междуречья, пологие склоны и высокие речные террасы.

Подземные воды зоны характеризуются относительно глубоким залеганием пёстрой водообильностью и различным химическим составом. В понижениях и депрессиях преобладают сульфатно-хлоридные слабозасоленные и солёные воды с минерализацией до 15-20 г/л. Пресные грунтовые воды в основном можно встретить на водоразделах горных хребтов.

Геодинамическая обстановка определяется широким распространением засоленных четвертичных отложений и просадочными явлениями в лёссовых породах. В горных районах активно проявляет себя весь спектр склоновых процессов: обвалы, осыпи и оползни.

Весь Уральский регион, исторически сложившийся с петровской эпохи как мощный горнодобывающий центр русского государства, испытывает значительные техногенные нагрузки. Особенно они велики на Среднем и Южном Урале. В некоторых горнопромышленных районах изменения и разрушения геологической среды носят необратимый и опасный характер.

2. Альпийско-Гималайский мегаструктурный геоблок.

К данному мегаблоку относят горные системы и глубокие внутриконтинентальные впадины Средиземноморского горного пояса, объединённые общим эпигеосинклинальным развитием, обусловившим широкое представительство разнообразных комплексов пород и интенсивное проявление эндогенной и экзогенной геодинамики. На территории России к указанной морфоструктуре относятся, прежде всего, горные отроги Северо-Западного Кавказа, спускающиеся к Черноморскому побережью [17ж].

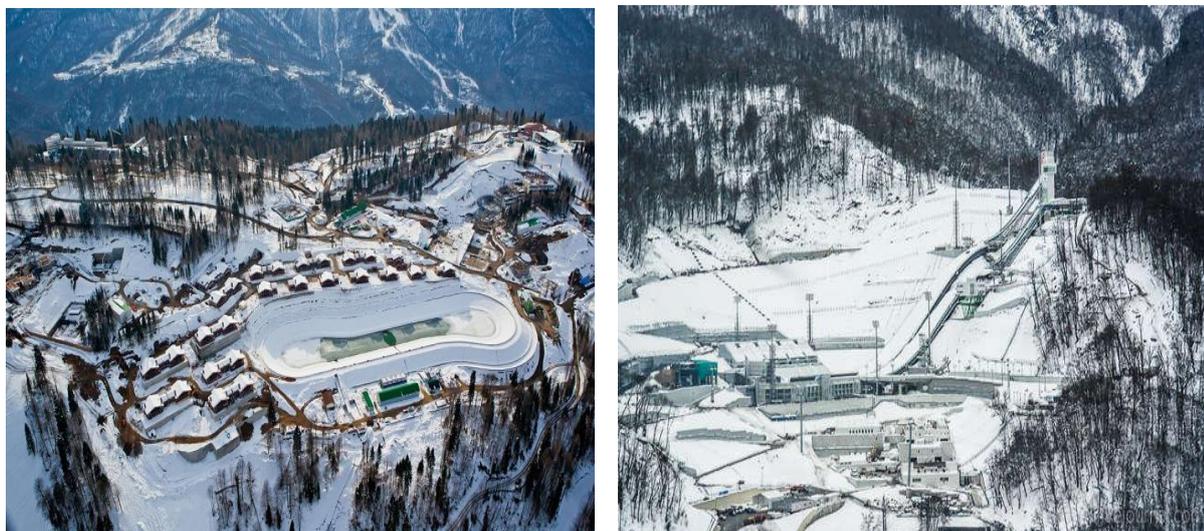
Наибольший инженерно-геологический интерес представляют горные сооружения Северо - Западного Кавказа и береговая зона Чёрного моря между Анапой и Адлером, где развернулось интенсивное строительство, связанное с подготовкой к зимним Олимпийским играм 2014 года (рис. 5.27 и 5.28).

Вид на основные Олимпийские объекты на Имеретинской низменности



Рис. 5.28.

Вид на горный кластер Олимпийских объектов в Сочи



Кроме того, в этом регионе сосредоточены значительные запасы нефти и газа (рис.5.29).



Южные склоны Северо-Западного Кавказа представлены низко-среднегорьем с отметками вершин от 200 до 2000 метров. В геологическом строении принимают участие породы верхней юры, мела и палеогена, представленные известняками, доломитами и мергелями (карбонатная формация), а также песчаниками, сланцами, глинами с прослоями известняков (терригенный и карбонатный флиш). Здесь проявляют себя эрозия, сели, оползни, карст. Сейсмическая активность оценивается в 7-8 баллов, на отдельных участках побережья по уточнённым данным сила землетрясений может достигать 9 - 9,5 баллов. На южных склонах Северо-Западного Кавказа широко развиты грунтовые воды трещинного типа умеренной водообильности, малой минерализации и гидрокарбонатно-кальциевого состава. Зона глубокой циркуляции характеризуется обильными углекислыми водами с минерализацией от 1 до 18 г/л.

Шельф Северо-Западного Кавказа между Анапой и Адлером длиной около 300 км характеризуется шириной до 10 км и очень малыми уклонами поверхности. Мощность современных осадков повсеместно мала и на поверхности дна часто обнажаются дислоцированные породы дочетвертичного возраста. Морское дно осложнено древнеэрозионными долинами, морскими каньонами, подводными эрозионными террасами и валами выпирания подводных оползней.

Береговая полоса Черноморского побережья Кавказа интенсивно освоена и изменена берегоукрепительными работами. Особенно эффективными здесь оказались крупномасштабные работы по управлению пляжевой зоной за счёт систематической подсыпки гравийно-галечного материала из специальных карьеров и устьев крупных рек (Шахе, Мзымта, Псоу). Таким способом удалось закрепить пляжевую зону мыса Пицунда, смытую штормом 1969 года (см. рис.5.30)

Рис. 5.30



Исключительно важную роль в формировании инженерно-геологических условий всей шельфовой зоны играет ветровой и волновой режим бассейна восточной части Чёрного моря. На долю сильных ветров со скоростью 30-40 м/с в Чёрном море приходится 17% годового цикла. Вызванные этими ветрами штормовые волны могут достигать высоты 10 метров.

3. Тяньшанско-Забайкальский мегаструктурный геоблок.

На территории современной России этот геоблок представлен возрождёнными горами Южной Сибири: складчатые системы Алтая, Кузнецко-Минусинской впадины, Западного Саяна и Тувы, Восточного Саяна, Байкало-Патомского нагорья, Прибайкалья (Байкало-Витимская складчатая зона) и Забайкалья (Монголо-Охотская складчатая система, Буреинский и Аргунский массивы).

Геоблок возрождённых гор южной Сибири [170, 18].

Алтае-Саянская часть геоблока отличается наиболее сложными и разнообразными инженерно-геологическими условиями. Сюда входят горы и нагорья Горного Алтая, Тувы, Западного и Восточного Саян, Кузнецкий Алатау с абсолютными отметкам вершин до 2000-3000 метров. Ветвящиеся цепи гор окружены обширными предгорьями и разделены глубокими депрессиями с многочисленными озёрами (рис.5.31).

Рис. 5.31

Алтайские пейзажи



Территория характеризуется высокой тектонической активностью, последнее землетрясение в Горном Алтае в 2003 году оценивалось магнитудой 7,3 по шкале Рихтера (10 баллов по шкале MSK-64). В геологическом разрезе преобладают эффузивные, эффузивно-осадочные, метаморфические, флишевые и молассовые комплексы, прорванные многочисленными интрузиями. Четвертичные отложения значительной мощности делювиального, пролювиального и аллювиального происхождения приурочены к межгорным депрессиям и котловинам. С поверхности залегают просадочные лёссовые грунты. Выше снеговой линии развита многолетняя мерзлота, видны следы позднечетвертичных горных оледенений. Среди подземных вод региона преобладают глубокозалегающие трещинные и трещинно - карстовые воды, преимущественно пресные, гидрокарбонатные, холодные и термальные, встречаются родоновые источники. В четвертичных отложениях повсеместно

развиты грунтовые воды и верховодка, при промерзании которых формируются грунтовые наледи. Геодинамическая обстановка определяется склоновыми процессам: оползнями, обвалами, осыпями. С многолетней мерзлотой связаны солифлюкционные течения на склонах.

К северу от горных сооружений Алтая междуречье рек Оби и Енисея занято возвышенными плоскогорными равнинами с абсолютными отметками поверхности от 100 до 300 метров, а в пределах Салаирского кряжа до 500 метров, отдельные холмы достигают высоты 620 метров. На крайнем севере данной территории вдоль правого берега Оби расположена Колывань-Томская расчленённая равнина, в пределах которой обнажаются скальные породы палеозоя – мраморизованные известняки, песчаники и сланцы, прорванные многочисленными телами магматических пород. На породах палеозоя залегают озёрно-аллювиальные глины мощностью до 30 метров и просадочные лёссовые грунты значительной мощности (краснодубровская свита). К югу от Колывань-Томской равнины, между Салаирским кряжем и Кузнецким Алатау, располагается знаменитый Кузнецкий угленосный бассейн, в пределах которого залегают палеозойские и раннемезозойские угленосные формации: аргиллиты, алевролиты, песчаники и конгломераты с мощными пластами каменных углей.

Из каменного угля в настоящее время можно получить до 240 различных химических продуктов.

Рис. 5.32

Вид угольного разреза в Кузбассе



Вид оползневых нарушений в борту карьера



Породы угленосной толщи расланцованы, трещиноваты, на поверхности быстро выветриваются до состояния мелкой щебёнки. Четвертичные отложения Кузбасса образуют сплошной покров мощностью до 100 метров на западе и до 20 метров на востоке. Как обычно, верхняя часть четвертичного разреза заканчивается покровными лёссовыми отложениями, обладающими просадочными свойствами.

На территории Кузбасса большую опасность представляют подземные пожары в угленосных породах, когда при выгорании пластов угля образуются пустоты, над которыми происходят значительные осадки и провалы поверхности, вызывающие различные повреждения инженерных сооружений.

Региональные изменения Геологической среды Алтае - Саянской горной страны и её предгорий сведены в таблицу (см. рис. 5.33) [17д].

Рис. 5.33

Типизация инженерно-геологических регионов по особенностям изменения геологической среды	Факторы инженерно-геологических условий, определяющие региональные изменения геологической среды	Основные виды инженерно-хозяйственного освоения	Региональные изменения геологической среды	
Инженерно-геологические регионы горно-складчатых сооружений (Саяно-Сангиленский, Саяно-Алатауский, Тувинский, Горно-Алтайский, Западно-Саянский)	Сильно- и глубокорасчлененный, крутосклонный, преимущественно средне- и высокогорный рельеф Повсеместное развитие прочных сложодислоцированных скальных грунтов Широкое распространение карбонатных пород Повсеместное развитие многолетней мерзлоты Карстовые, склоновые процессы	Горнодобывающая промышленность Линейные сооружения Гидроэнергетика Вырубка лесов	Изменение температурного режима и состояния мерзлых грунтов Активизация склоновых процессов	
Инженерно-геологические регионы Салаирской и Кольвань-Томской складчатых зон	Салаирский	Плоскогорный слаборасчлененный рельеф Значительное распространение карбонатных закарстованных пород Повсеместное развитие лёссовых грунтов Оврагообразование, суффозия, просадки в лёссах	Регион освоен слабо. Разрабатываются отдельные месторождения. Имеются сельскохозяйственные угодья	Региональные изменения отсутствуют Возможна активизация эрозийных процессов
	Кольвань-Томский	Равнинный расчлененный эрозийно-аккумулятивный рельеф Широкое развитие дислоцированных, преимущественно терригенных, формаций Сплошной покров лёссовых грунтов	Гражданское строительство Угольная промышленность Железные дороги Зерновое и животноводческое сельское хозяйство	Просадки в лёссовых грунтах
Инженерно-геологические регионы межгорных прогибов и впадин	Кузнецкий	Преимущественно равнинный денудационно-аккумулятивный рельеф Широкое распространение пород угленосной формации, сложно и неоднородно дислоцированных, легко выветривающихся Широкое развитие лёссовых грунтов Оврагообразование, речная эрозия, оползни, суффозионно-просадочные явления	Разработка месторождений угля Промышленно-гражданское строительство	Формирование техногенного рельефа Изменение режима и состава подземных вод Локальное истощение запасов и загрязнение подземных вод Подтопление городских территорий Провалы и мульды оседания над шахтами Активизация суффозионно-просадочных процессов и оврагообразования
	Миусинский	Преобладание равнинного денудационно-аккумулятивного рельефа Широкое распространение прочных осадочных слабодислоцированных пород Широкое развитие суглинистых пылеватых преимущественно лёссовых отложений	Мелноррируемое земледелие, животноводство Промышленно-гражданское и дорожное строительство Разработка месторождений угля открытым способом (КАТЭК) Водохранилища	Активизация суффозионно-просадочных, оползневых процессов, плоскостной эрозии и оврагообразования Вторичное засоление почв и грунтов на орошаемых массивах

Рис. 5.33 (продолжение)

Типизация инженерно-геологических регионов по особенностям изменения геологической среды	Факторы инженерно-геологических условий, определяющие региональные изменения геологической среды	Основные виды инженерно-хозяйственного освоения	Региональные изменения геологической среды
Межгорные впадины Горного Алтая и Тувы	Равнинный преимущественно аккумулятивный рельеф Мощные толщи четвертичных отложений, в верхней части обледененных или песчаных Пестрые мерзлотные условия Широкое развитие мерзлотных процессов	Земледелие, часто с применением водной мелиорации; животноводство Промышленно-гражданское строительство Разработка месторождений угля, строительных материалов	Активизация геокриологических процессов (лучение, термокарст, наледи), суффозионно-просадочных и эоловых процессов

Горные массивы Прибайкалья и Забайкалья [18] возникли на разновозрастных складчатых структурах (байкальские, герцинские, мезозойские) в результате сводового поднятия, образовавшего разновысотные нагорья и хребты с абсолютными отметками 2800-3300 метров. Сложены нагорья в основном кристаллическими породами докембрия: кристаллическими сланцами и гранитоидами.

В результате локальных опусканий, которые продолжаются до настоящего времени, возникли межгорные впадины, днища которых лежат на отметках ниже уровня моря на 400-700 метров. Наиболее глубокой является впадина озера Байкал, максимальная глубина которого составляет 1637 метров (рис. 5.34).

Рис. 5.34

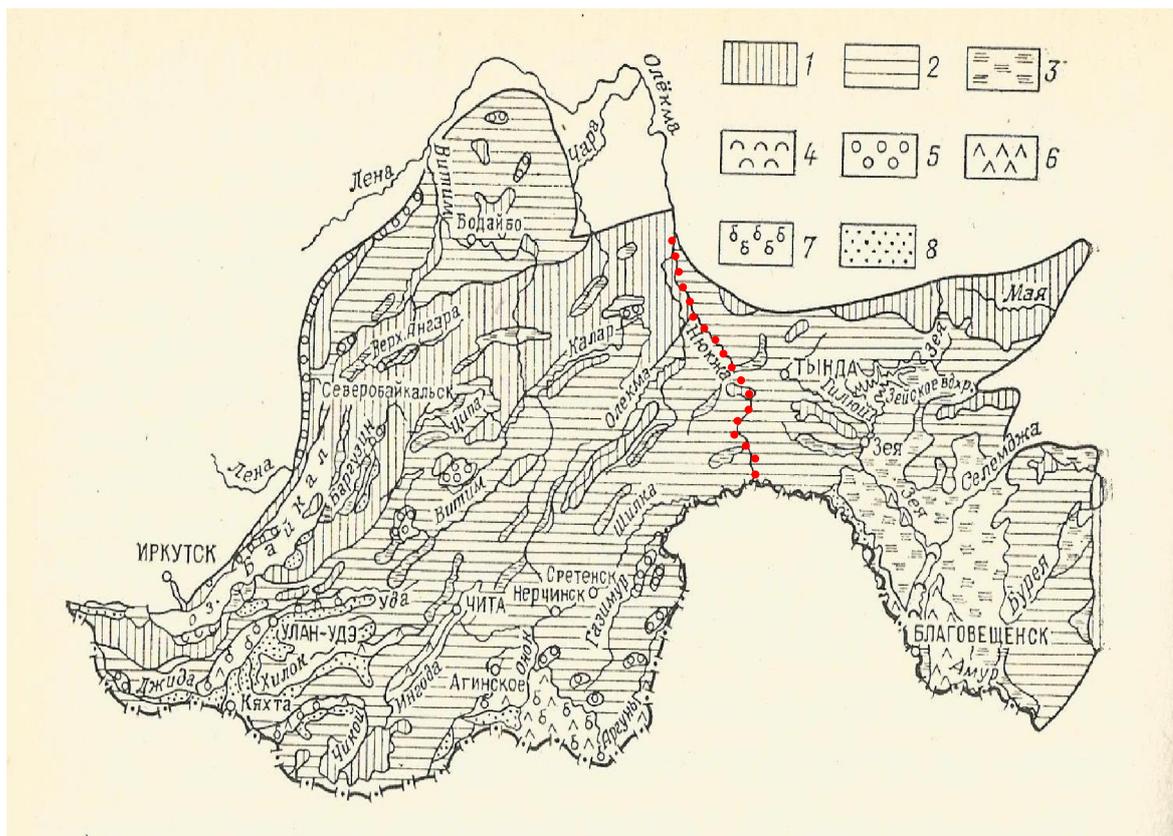
Виды озера Байкал



Инженерно-геологические условия Прибайкалья и Забайкалья определяются сильно пересечённым рельефом, раздробленностью и трещиноватостью пород, высокой сейсмической активностью, широким распространением многолетнемерзлых пород. Региональное развитие в Забайкалье имеют мерзлотно-динамические процессы: пучение грунтов, наледи, солифлюкция, морозобойное растрескивание грунтов, термокарст. Большие запасы снега и ливневой характер осадков в тёплое время года обуславливают разнообразные склоновые и эрозионные процессы: обвалы, осыпи, курумы, лавины, сели. Геодинамическая обстановка в Забайкалье, включая западную часть Дальневосточного мегаструктурного геоблока, показана на рис. 5.35.

Рис. 5.35

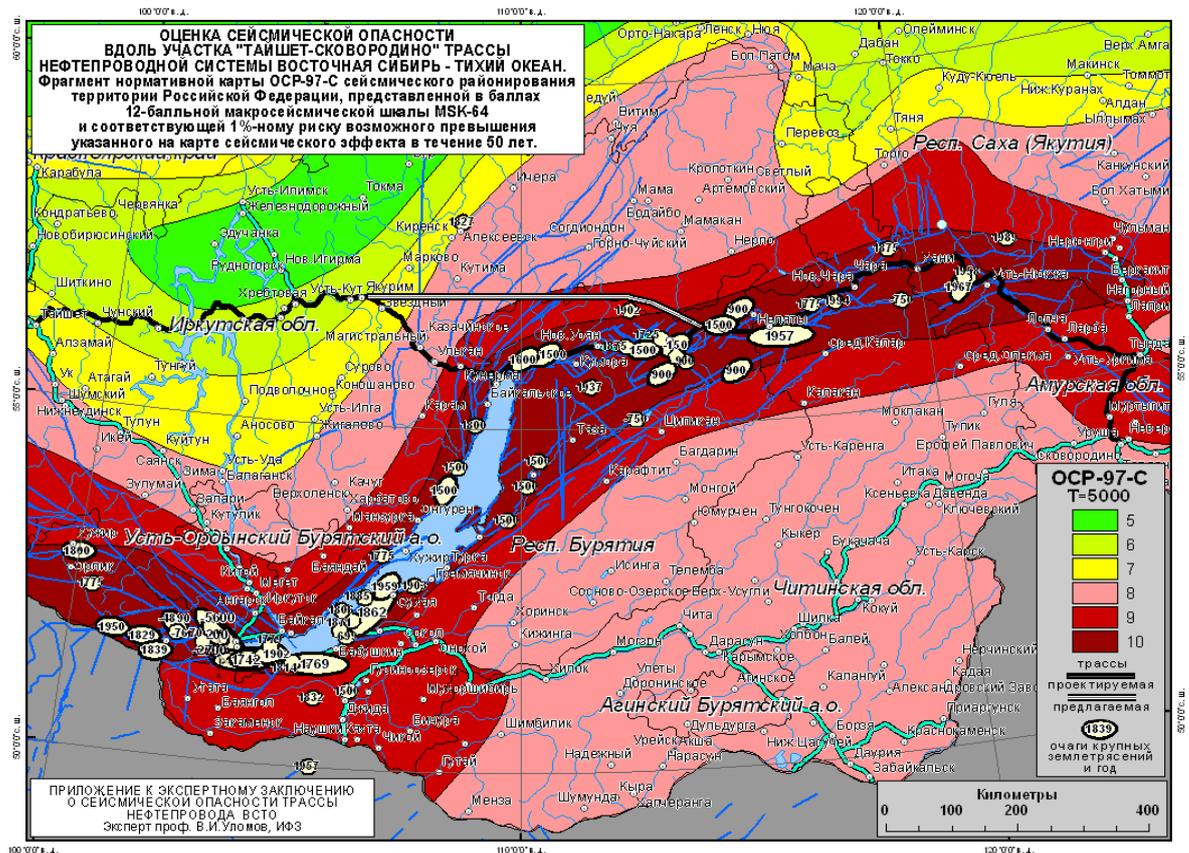
Схема развития ведущих экзогенных геологических процессов в Забайкалье и западной части Дальневосточного блока [17г]



1 – обвалы, осыпи, курумы, лавины, сели 2 – курумы и солифлюкция 3 – заболачивание, пучения, морозобойное растрескивание, термокарст, солифлюкция 4 – оползни 5 – карст 6 – плоскостной смыв и овражная эрозия 7- 8 – эоловые процессы (дефляция и аккумуляция)

Представление о сейсмической обстановке в Прибайкалье и Забайкалье даёт схема сейсмического районирования, выполненная при проектировании нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан (рис. 5.36).

Рис. 5.36



Наиболее сейсмоопасным является Байкальское сводовое поднятие в пределах рифтовых впадин и межвпадинных перемычек. Именно здесь зафиксированы следы грандиозных сейсмических катастроф в XIX-XX веках силой 9-10 баллов, ежегодно регистрируется большое число слабых землетрясений. Землетрясения в Забайкалье нередко носят катастрофический характер для различных сооружений, на дневной поверхности возникают зияющие трещины и рвы, в горах происходят мощные обвалы. К северу от Байкальской рифтовой зоны уровень сейсмоопасности снижается до 5-6 баллов, но к востоку она вновь усиливается в области сводового поднятия Становика - Джугджура, постепенно затухая к Охотскому морю. В южных районах Забайкалья выделяется ещё одна сейсмоактивная зона Приамурья - Тукурингра-

Джагдинская, где фиксируются землетрясения силой до 7 - 8 баллов. Самый восточный участок Забайкалья Хингано-Буреинский регион на стыке с Китайской платформой также оценивается как весьма сейсмоактивная морфоструктура.

Для Забайкалья характерна чёткая ландшафтно-климатическая типизация экзогенных геологических процессов. В высокогорных гольцовых районах выше границы леса (1000 - 1600 метров) широко проявляют себя обвалы, осыпи, курумы, солифлюкция, снежно-ледниковая нивация, снежные лавины и сели (рис. 5.37).

Рис. 5.37

Вид на знаменитый гольц Сохондо в Забайкалье



В горно-таёжном поясе ниже 1000-1300 метров более типичны солифлюкция, оползни-потоки, в днищах долин и межгорных впадинах – сезонное и многолетнее пучение, наледные процессы, морозобойное растрескивание и термопросадки. Развитию этого комплекса процессов способствуют высокая обводнённость пород, развитие глинистых грунтов и торфяников. Широко представлены здесь мощные наледи, которые могут занимать до 30% площади долин.

В лесостепном поясе геодинамическая обстановка дифференцирована в зависимости от экспозиции склонов: на склонах северной экспозиции развиваются процессы, свойственные таёжной зоне, а на склонах южной экспозиции активизируются процессы плоскостного смыва, оврагообразование, эолового переноса. Зональная приуроченность геологических процессов не исключает развитие азональных процессов, например, карста и оползней, что обусловлено литологическими и тектоническими особенностями конкретных участков.

Карстовые процессы в Забайкалье носят ограниченный характер, поскольку растворимые карбонатные породы занимают не более 5 - 10% территории. Карстовые проявления имеют дочетвертичный возраст, а суровый климат и мерзлота не способствуют их развитию.

Гидрогеологические условия Забайкалья зависят от строения многолетнемёрзлых пород. В распространении мерзлоты сказывается как широтная, так и высотная поясность. Северная зона характеризуется сплошным распространением мерзлоты и значительной мощностью до 300-500 метров и температурой пород от минус 2 до минус 10 °С. Многолетнемёрзлые породы здесь распространены на всех элементах рельефа, при этом наиболее глубоко промороженными являются осевые части хребтов. Талики в этой зоне формируются под руслами крупных рек, под озёрами, в зонах разломов за счёт инфильтрации поверхностных вод и выхода на поверхность подземных вод. Разгрузка высоконапорных подземных вод осуществляется по краевым разломам предгорий в виде высокодебитных источников и крупных наледей.

Сами массивы сплошного промерзания характеризуются практически отсутствием подземных вод ниже мёрзлой толщи. Подземные воды встречаются лишь в зонах разломов, в подрусловых и подозёрных таликах.

В гидрогеологических массивах несплошного промерзания подземный сток рассосредоточен и не образует значительных запасов.

Наиболее значительные запасы подземных вод сосредоточены в артезианских бассейнах байкальского типа. Это мощные резервуары напорных и

субнапорных вод с чёткой гидродинамической и гидрохимической зональностью. В верхней части таких бассейнов преобладают пресные гидрокарбонатные кальциевые или магниевые-кальциевые воды, с глубиной появляются солоноватые воды натриевого состава. В глубоких горизонтах появляются термальные воды сульфатного состава, насыщенные азотом и метаном. В бортах впадин многочисленны выходы термальных источников с температурой от 40 до 80 °С.

Значительные запасы пресных вод подтверждены в бассейнах, выполненных рыхлыми мезозойскими и кайнозойскими отложениями и характеризующихся прерывистым, островным или редкоостровным типом промерзания. Там, где отмечена двухслойная мерзлота (Верхнеангарская и Баргузинская впадины), встречаются надмерзлотные и подмерзлотные воды. В

На юге рассматриваемой территории (южнее 54° с. ш.) в условиях засушливого климата (Селенгинское среднегорье и Агинские степи) (см. рис. 5.38) впадины байкальского типа содержат бессточные бассейны подземных вод с застойным режимом. Здесь на поверхности часто возникают солонцы и солончаки, а озёра отличаются минерализованными водами (1,5 - 3,5 г/л) хлоридно-натриевого и сульфатно-натриевого состава.

Рис. 5.38

Ландшафт Агинских степей Забайкалья

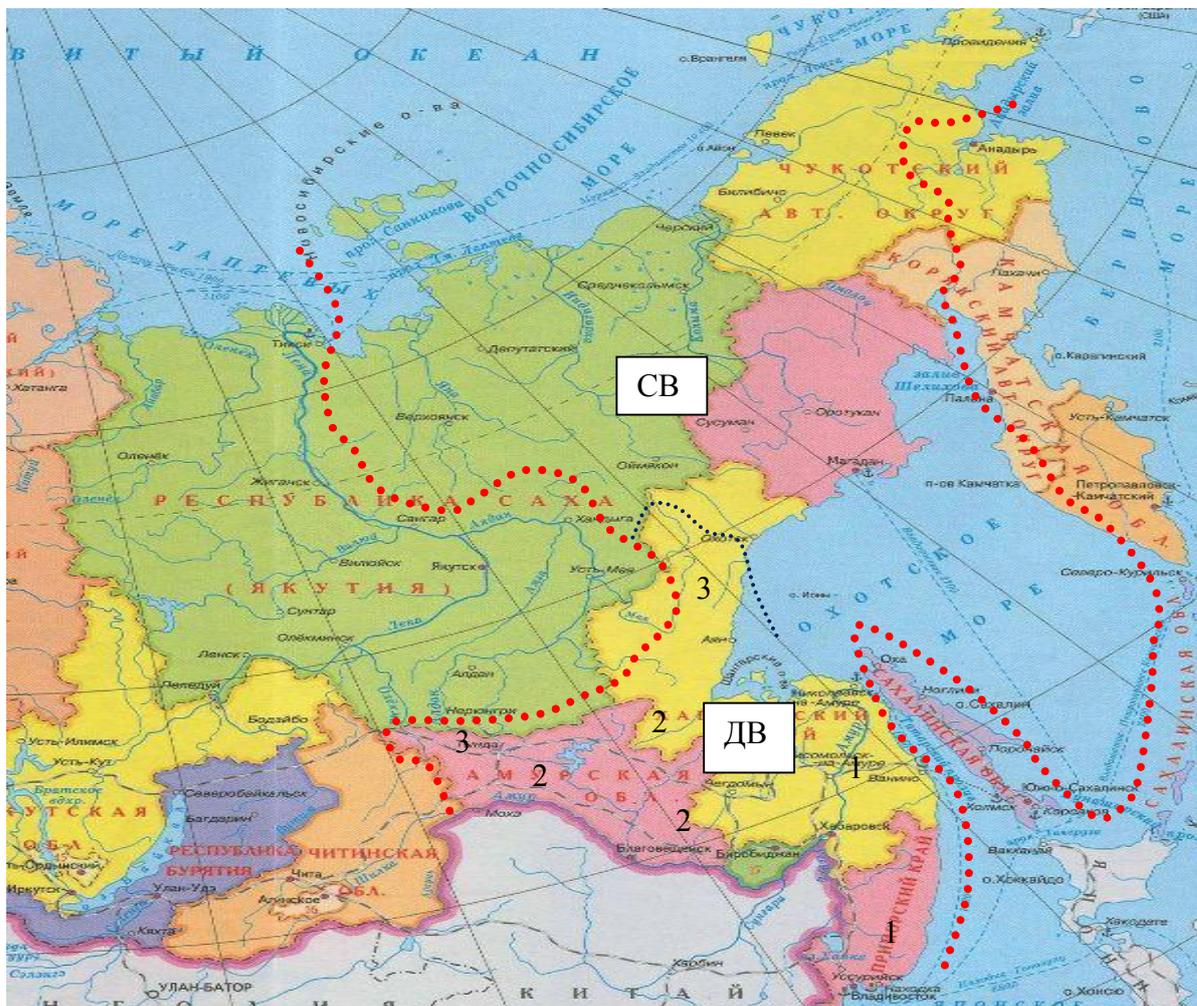


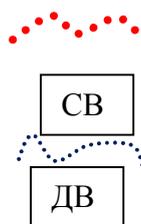
На территории вулканогенных структур, сложенных кайнозойскими эффузивами, влияние мерзлоты на подземные воды определяется соотношением мощностей мёрзлой зоны с мощностью осадочного или вулканогенного чехла. Все бассейны Забайкалья имеют мощность чехла и зоны пресных вод значительно превышающую мощность мёрзлой толщи.

4. Дальневосточный мегаструктурный геоблок [17г].

В указанный МСБ можно объединить две крупнейшие геоморфологические страны, охватывающие Дальний Восток и Северо-Восток России с прилегающими шельфами морей Лаптевых, Восточно - Сибирского, Чукотского и северной части Берингова моря, а также Охотского и Японского морей (рис. 5.39).

Рис. 5.39





Граница Дальневосточного мегаструктурного блока

СВ – Геоморфологическая страна гор, равнин, плато и низменностей Северо-Востока

ДВ - Геоморфологическая страна гор, равнин, плато и низменностей Дальнего Востока

Природа в пределах рассматриваемой территории характеризуется большим разнообразием ландшафтов. Здесь есть равнинные ландшафты с проявлением широтной зональности: тундровые и лесотундровые аккумулятивные равнины, морского и аллювиального происхождения; таёжные аккумулятивные равнины (морские, аллювиальные, болотные, озёрные); таёжные плато; лесные аккумулятивные и аккумулятивно-денудационные равнины. Наряду с равнинными ландшафтами широко представлены горные ландшафты с вертикальной поясностью, демонстрирующей альпинотипный экзарационный рельеф, закрытый вечными льдами и тундровыми гольцами, и горы с таёжными и широколиственными лесами.

Рис. 5.40

Вид на хребет Черского из долины р. Кюеллях-Мустах



Широко представлены вулканические пояса – Охотско - Чукотский, Приморский, свидетельствующие о неоднократных распадах континентов в течение геологической истории Земли. Самый крупный вулканоген восточной

Азии Охотско - Чукотский пояс протяжённостью почти три тысячи километров образовался в позднем мезозое около 90 – 100 млн. лет назад. Этот гигант, бушевавший десятки миллионов лет на краю мезозойского континента, ныне угас. Горячие источники на Чукотке и по Охотскому побережью - все, что осталось от его огненной мощи. Но хорошо сохранились изверженные в период наибольшей мощи этих вулканов разноцветные лавы и туфы. Коричневые, зеленые, красные туфо - лавовые скалы можно увидеть на первых двухстах километрах знаменитого Колымского шоссе. Город Магадан тоже расположен в пределах вулканического пояса, но на глубоко размытых сооружениях ранних этапов жизни гиганта, когда краски извергаемых им лавовых потоков были однотонными, преимущественно серыми или зеленовато-серым.

Рис. 5.41

Вид на Охотско - Чукотский вулканический пояс

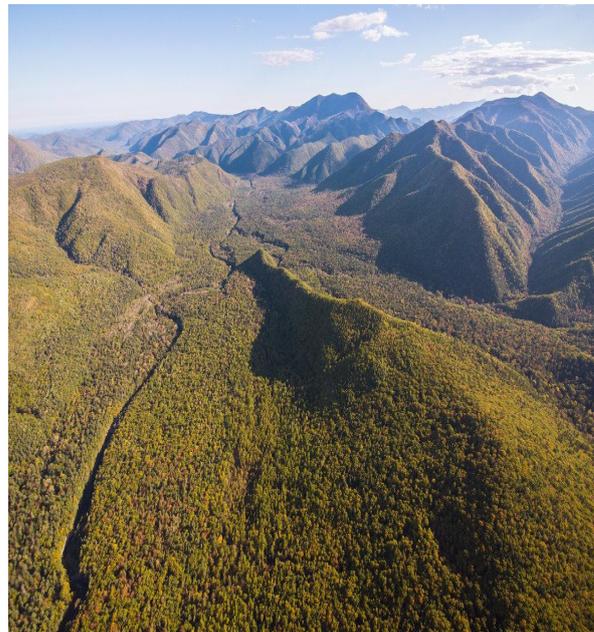
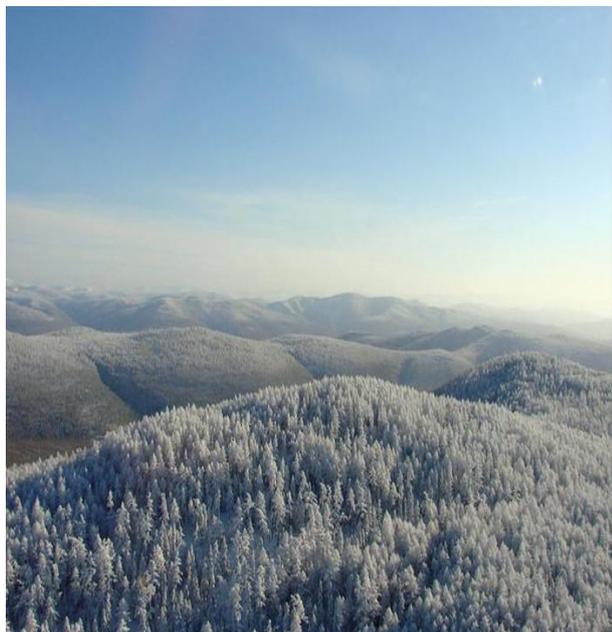


Вид на Сихотэ-Алинский вулканический пояс (долина р. Уссури)



В пределах Дальневосточного горно-равнинного пояса можно выделить геоблоки первого порядка Приморский (1), Приамурский (2) и Станово - Джугджурский (3), в составе которых находятся горные сооружения Буреинского массива и Сихотэ-Алинского хребта, а также разделяющие и окаймляющие их впадины и низменности, крупнейшими из которых являются Зейско - Буреинская, Амуро - Зейская, Средне-Амурская, Эворано - Чукчагирская и Ханкайская (рис. 5.39; 5.43)

Вид на Буреинский массив, справа - на Сихотэ-Алинский хребет



Ханкайский пейзаж

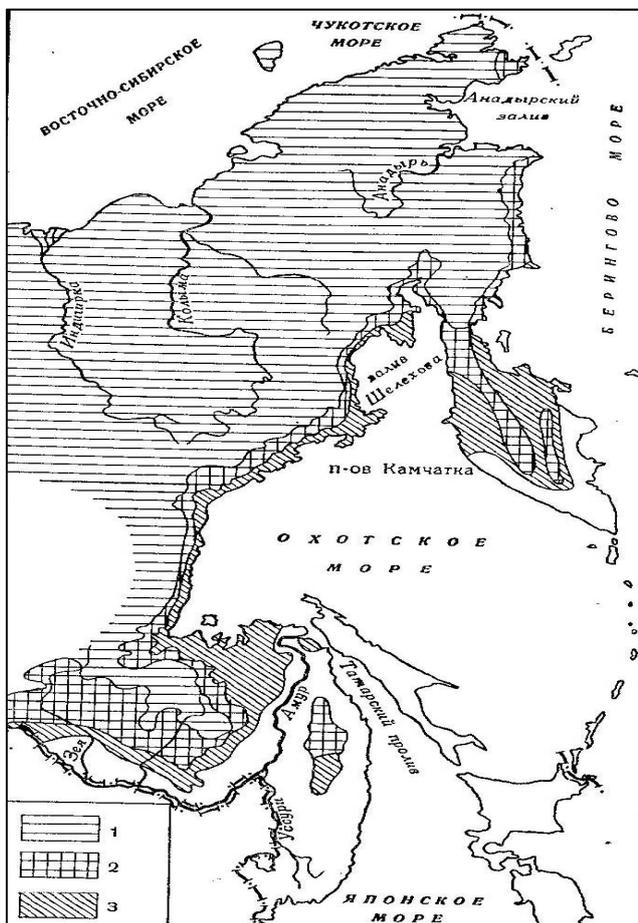


Инженерно-геологические условия горной части определяются среднегорным расчленённым рельефом с широким развитием метаморфических и интрузивных пород. Установлено наличие мощной коры выветривания, крупных зон тектонических нарушений и дробления, что обуславливает проявление многочисленных обвалов, оползней и формирование селевых потоков. Мощность мерзлоты в этих районах может составлять сотни метров с

температурой на обнажённых гольцах до минус 8 - 10°C. Ситуация с распространением многолетней мерзлоты в регионе представлена на рис. 5.45.

Рис. 5.45

Схематическая карта распространения многолетнемерзлых пород
(включая Тихоокеанский регион)



Зоны распространения многолетнемерзлых пород:

- 1- сплошной
- 2- прерывистого
- 3- массивно-островного

Инженерно-геологическая обстановка осложняется землетрясениями силой до 6 - 7 баллов. Подземные воды в горной части характеризуются слабой водообильностью, но отличаются выщелачивающей и общекислотной агрессивностью. Крупные впадины региона выполнены грубообломочными угленосными толщами мощностью до 1500 метров,

которые перекрыты неогеновыми и четвертичными отложениями аллювиального и пролювиального генезиса и песчано-гравийного состава. Близкое залегание грунтовых вод и значительное количество атмосферных осадков способствуют широкому заболачиванию и переувлажнению территорий.

Эрозионная деятельность и оврагообразование начинают проявлять себя там, где идёт интенсивная вырубка лесного покрова. По долинам Амура и его притоков наблюдаются оползневые явления.

Прилегающий к Приморскому геоблоку шельф Японского моря расположен в пределах Сихотэ-Алинской складчатой зоны и представлен наклонными абразионно-аккумулятивными равнинами, наложенными на дислоцированное докайнозойское основание. Коренные породы представлены

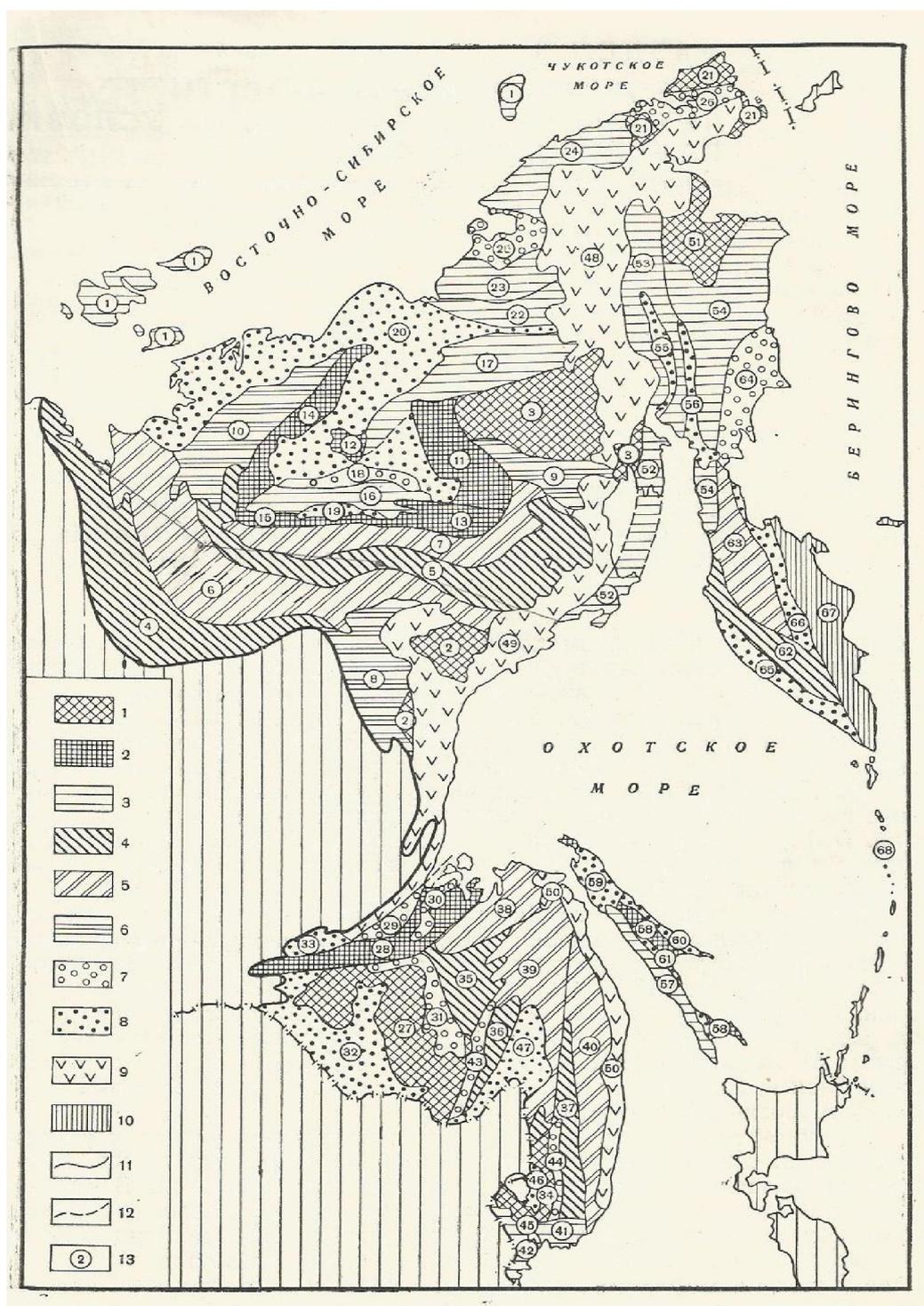
палеозойскими и мезозойскими отложениями – алевролитами, песчаниками, гравелитами и различными туфами. Ширина шельфа колеблется в пределах 30-100 км, на шельфе преобладают песчаные осадки малой мощности. В закрытых и полузакрытых бухтах встречаются илы, преимущественно суглинистые. Показатели физических свойств илов приведены в табл. 5.1 [17Г].

Табл. 5.1

Показатели	Пределы значений
Плотность минеральной части, г/см ³	2,45...2,77
Плотность при естественном сложении, г/см	1,45...1,98
Коэффициент пористости	0,99...2,24
Естественная влажность, %	32,4...90,04
Предел текучести, %	26,4...50,3
Предел пластичности, %	14...35,9
Число пластичности	2,6...23,8

Основной фон Северо-Востока создают низкогорья и среднегорья, переходящие на севере и на востоке в приморские низменности и равнины. На всём Северо-Востоке от Верхоянского хребта до Пясинско-Анадырской низменности господствуют геологические структуры мезозойского возраста, между которыми располагаются древние жёсткие массивы, крупнейшими из которых являются Колымский и Охотский. Горный рельеф, сформированный в мезозойскую эпоху складчатостей, затем был уничтожен денудацией и омоложен в новейшую эпоху кайнозойским тектогенезом.

Тектонические структуры Дальнего Востока, включая Тихоокеанское окончание и о. Сахалин, представлены на рис. 5.46 [17Г].



1 – массивы; 2 – поднятия; 3 – складчатые зоны; 4 – мегантиклинории и антиклинории; 5 – мегасинклинории и синклинории; пригеосинклинальные прогибы; 7 – прогибы; 8 – впадины; 9 – вулканогенные пояса; 10 - антиклинальные зоны; 11 – 12 границы структур соответственно установленные и предполагаемые; 13 - названия структур, в том числе 48, 49, 50 – Восточно - Азиатский вулканогенный пояс [17г].

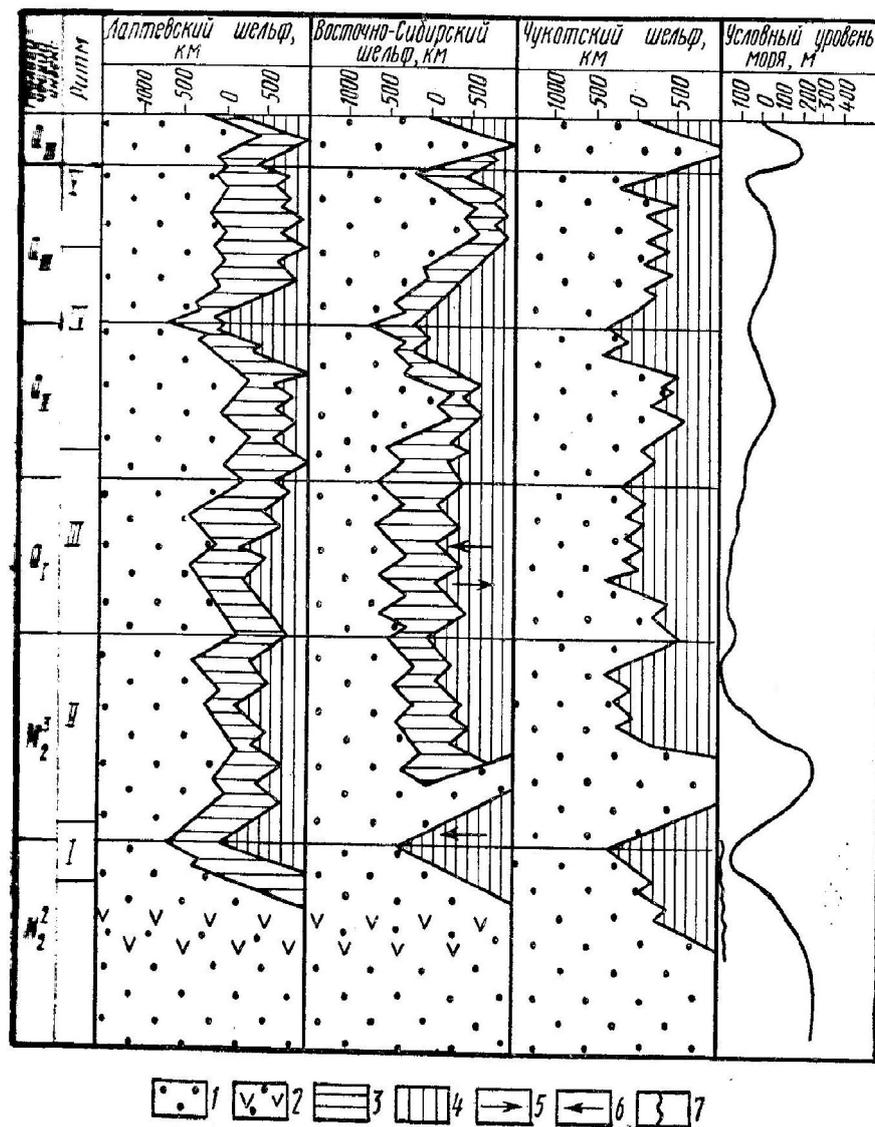
В целом, в регионе представлены четыре типа рельефа: складчато - глыбовые эрозивно-тектонические горы, расчленённые межгорными

впадинами, структурно-денудационные плоскогорья, озёрно-аллювиальные или морские аккумулятивные равнины и эрозионно-денудационные равнины (см. рис.5.39...5.44).

В горах развиты преимущественно дочетвертичные формации метаморфических, эффузивных, интрузивных и осадочных пород. Четвертичный покров развит в основном во впадинах и представлен коллювиальными, элювиальными, делювиальными и ледниковыми образованиями небольшой мощности. На равнинах развиты лессовидные супеси и суглинки мощностью до 60-70 метров. Для них характерна повсеместная и сильная насыщенность льдом вплоть до образования крупных клиновидных ледяных тел. Нижние части аллювиальных комплексов представлены песками со льдистостью до 30-40%. Естественно, что с такими грунтами связаны термокарст, заболачивание, пучение. В горных районах развиты обвалы, осыпи, наледи, солифлюкция и термокарст. Сейсмичность растёт с юга на север: от 6 до 8 баллов.

Охотско-Чукотская зона геоблока представлена вулканогенным поясом, являющимся частью своеобразного обрамления материка Евразии. Именно здесь в конце мезозоя и начале кайнозоя находилась граница Тихого океана, ныне сместившаяся в зону островных дуг. Ширина пояса 150-200 км. рельеф низко-среднегорный, лишь отдельные гранитоидные массивы возвышаются до отметок 1800 метров и более.

Рассматриваемая территория окаймляется протяжённой шельфовой зоной восточной части моря Лаптевых, Восточно - Сибирского, Чукотского и северной части Берингова моря. Большая часть шельфовой зоны представлена затопленными аллювиально-озёрными и морскими аккумулятивными равнинами на мезозойском опущенном основании. Отдельные воздымающиеся блоки образуют островные массивы и мелководья. Отдельные участки шельфа характеризуются резко расчленённым рельефом, обусловленным многочисленными выходами прочных скальных грунтов. История формирования арктического шельфа и прибрежной зоны в позднем кайнозое представлена на рис. 5.47 [17г].



- 1 – Суша, преимущественно денудация
- 2 – суша, местами с осадконакоплением
- 3 – пресноводные бассейны
- 4 – шельфовые моря
- 5 – миграция морской фауны из Атлантики
- 6 – миграция морской фауны из тихоого океана
- 7 – эпохи корообразования

От североберинговоморского мелководья к Американскому матерiku протягивается подводный перешеек, называемый «Берингов мост». В кайнозое он испытывал неоднократные колебания, что приводило к попеременному затоплению и осушению большей его части. Рельеф перешейка выровнен, здесь преимущественно развиты терригенные осадки, приносимые крупными реками с Чукотки и Аляски. Мощность осадочного покрова, по геофизическим данным, достигает 1,5 км.

Охотоморский шельф представлен обширными равнинами, приуроченными к наиболее погруженным частям Охотоморской плиты, разделённым подводным уступом на две батиметрические ступени в интервале глубин: нижняя - от минус 1500 до минус 600 метров, и верхняя - до минус 300

метров. В пределах ступеней прослеживаются субгоризонтальные и наклонные поверхности и обширные впадины. Прибрежная полоса отличается исключительной выравненностью морского дна, иногда нарушаемой подводными долинами и останцами мезозойских гранитов. Грунты морского дна в инженерно-геологическом отношении изучены весьма слабо.

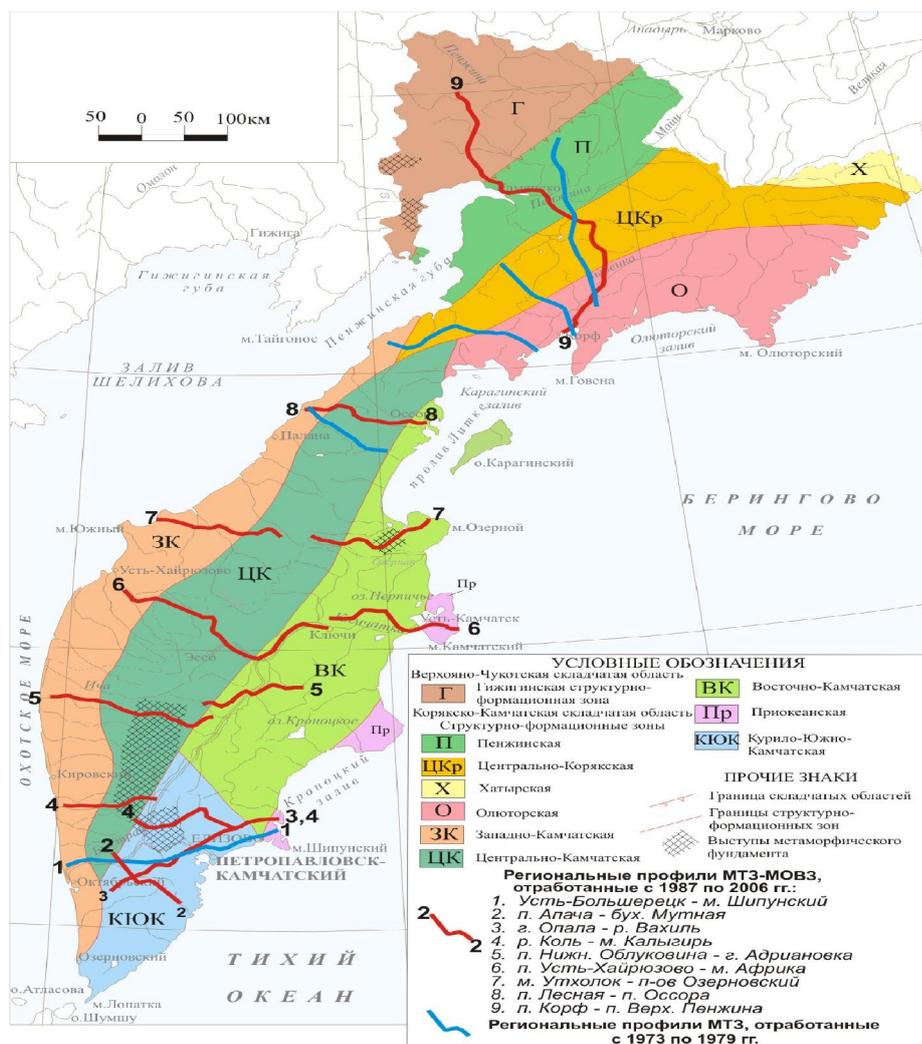
В северной части Охотского моря наблюдаются наиболее высокие приливы (более 10 метров), что вместе с активной деятельностью рек способствует формированию обширных песчаных пляжей.

В целом, рассматриваемый регион освоен слабо и в инженерно-геологическом и гидрогеологическом отношении изучен недостаточно.

5. Тихоокеанский мегаструктурный геоблок [17г].

Тихоокеанский геосинклинальный пояс является переходным между Евразийским материком и Тихим океаном (см. рис. 5.38). Здесь наблюдаются сложное мозаичное строение земной коры, резкие изменения её мощности (от 5 до 35 км), чрезвычайно резкая вертикальная расчленённость. Характерны огромные амплитуды и высокая дифференциация современных и новейших тектонических движений, большая напряжённость сейсмических процессов, мощные проявления современного вулканизма, высокая степень интенсивности экзогенных процессов. Всё это предопределяет исключительную сложность инженерно-геологических условий.

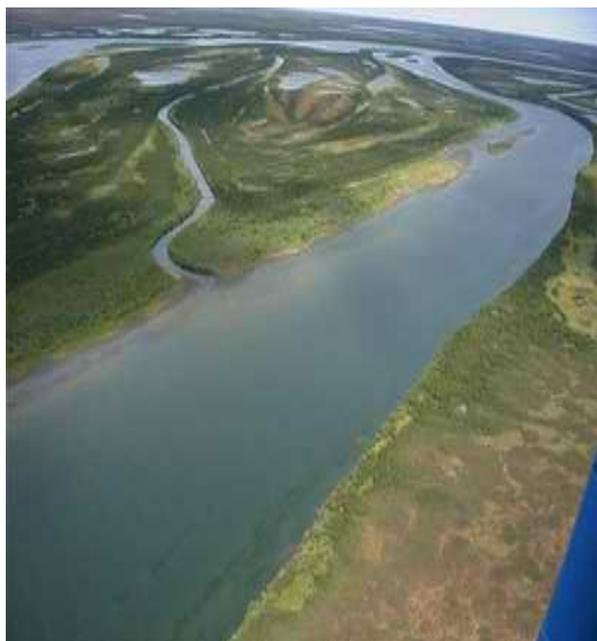
Структурно-тектоническое районирование Корякско - Камчатского пояса представлено на рис. 5.48, при этом Западно – Камчатская зона относится к Дальневосточному мегаструктурному блоку.



Характерные виды зоны сочленения Камчатки и Корякского края представлены на рис. 5.49.



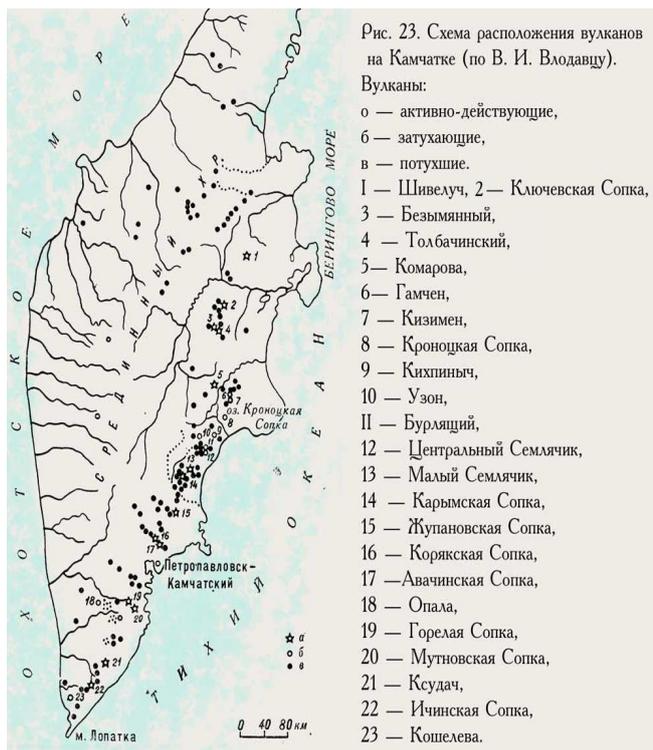
Территория пояса характеризуется резкой изменчивостью климата: среднегодовая температура воздуха на северо-востоке составляет минус $3,7^{\circ}$, а на юго-востоке – плюс $2,5^{\circ}$. Максимум осадков выпадает на юге – от 1100 до 2600 мм, минимум на склонах северных хребтов – до 300 мм. Здесь широко развиты многолетнемерзлые породы (см. рис. 5.44). На севере в пределах Пенжинской и Анадырской равнин и Корякского нагорья инженерно-геологические условия определяются равнинным характером рельефа, неглубокой расчленённостью, развитием многолетнемерзлых пород мощностью 200 - 300 м, почти повсеместным развитием аллювиально-озёрных, флювиогляциальных и аллювиальных отложений с отдельными выходами дочетвертичных образований. Широко проявляются мерзлотно-динамические процессы, заболачивание, интенсивная эрозия приподнятых участков, перевевание песков в речных долинах и на морском побережье. Агрессивные грунтовые воды залегают близко к дневной поверхности. Вид Анадырской низменности и Корякского нагорья представлен на рис. 5.50.



Инженерно-геологические условия Корякско - Камчатской зоны определяются резко расчленённым средне- и высокогорным рельефом, широким распространением дочетвертичных пород вулканогенно-осадочного формирования. Здесь интенсивно проявляют себя эрозионные и обвально-осыпные процессы. На высотах более 1000 метров наблюдается островная многолетняя мерзлота, приуроченная к заболоченным понижениям.

Центральная и юго-восточная Камчатки заняты вулканическим поясом протяжённостью до 750 км при максимальной ширине до 75 км. Это цепь слившихся своими основаниями стратовулканов (всего 28), абсолютные высоты которых достигают 4850 метров (чаще 1500 - 2000 м). Понижения между ними находятся на отметках 1000-2000 метров. К западу и востоку от этой цепи находятся вулканические плато.

Схема расположения камчатских вулканов показана на рис. 5.51



Один из действующих вулканов Ключевская Сопка представлен на рис.

5.52.



Освоение указанной территории осложняется существованием действующих вулканов, широким развитием обвально-осыпных процессов, снежных лавин, вулканических грязекаменных потоков, наличием многолетнемерзлых пород и развитием термокарста, бугров пучения и наледей. Интенсивность землетрясений достигает 9 - 10 баллов.

Центральную часть Камчатки занимает крупный синклинальный прогиб, интенсивно опускающийся в настоящее время. Здесь представлены мощные толщи четвертичных отложений озёрно-аллювиального, аллювиального и водно-ледникового генезиса. Сейсмичность этой территории оценивается в 6 - 7 баллов.

Сейсмическое районирование Камчатки с выделением цунамиопасного побережья показано на рис. 5.53.

Рис. 5.53

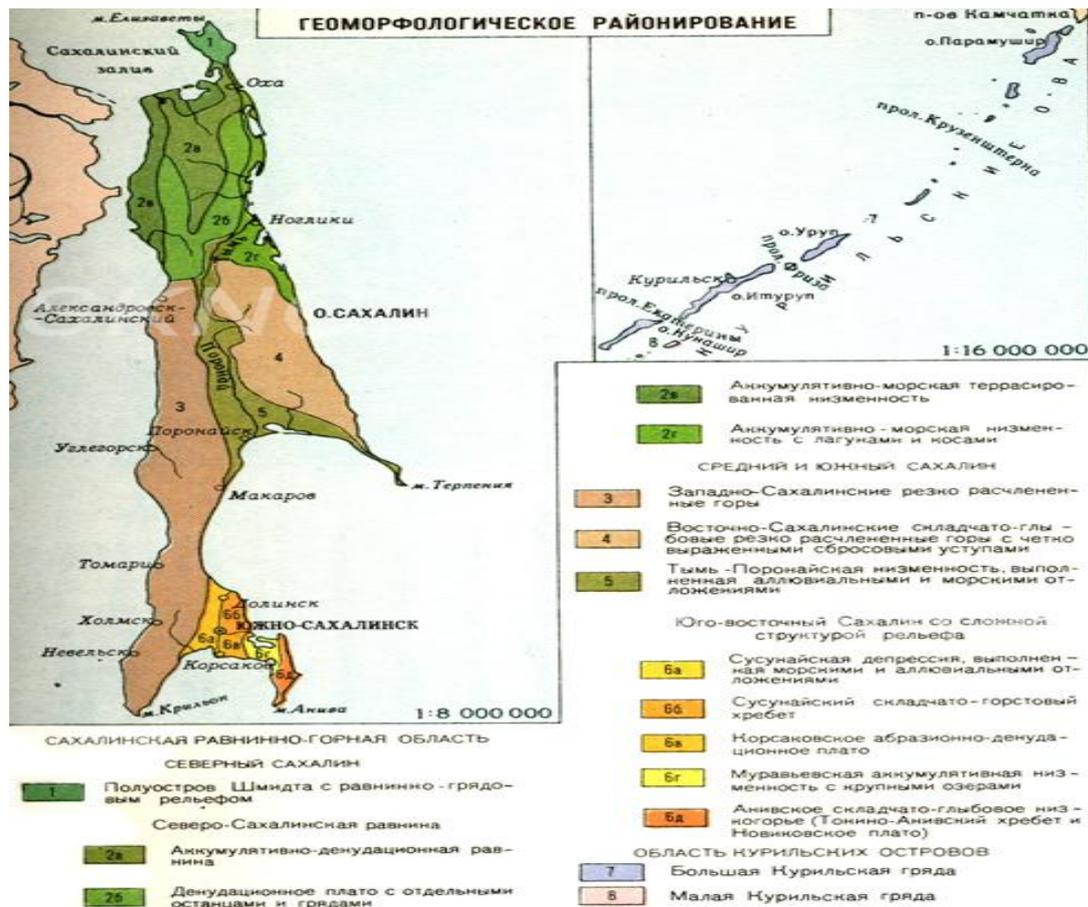


Остров Сахалин, входящий в состав Тихоокеанского пояса, представляет собой кайнозойское складчатое сооружение, образованное Восточно-Сахалинским и Западно-Сахалинским антиклинориями, разделёнными

Центрально-Сахалинским синклинирем. Сахалинские структуры развиты на коре материкового типа мощностью до 30 км. Преобладают меловые и кайнозойские отложения, перекрывающие метаморфические образования. Природа Сахалина чрезвычайно разнообразна, многие виды растений и животных являются эндемичными и занесены в Красную книгу.

Геоморфологическое районирование Сахалина представлено на рис. 5.54.

Рис. 5.54



Красника (клоповка)



Сахалинский таймень



Вид на Тихоокеанское побережье Сахалина (Восточно-Сахалинский антиклинорий)



Рис. 5.56

Долина р. Поронай (Тымь –Поронайская низменность)



Западный берег Сахалина. Оползневые участки берега Амурского лимана



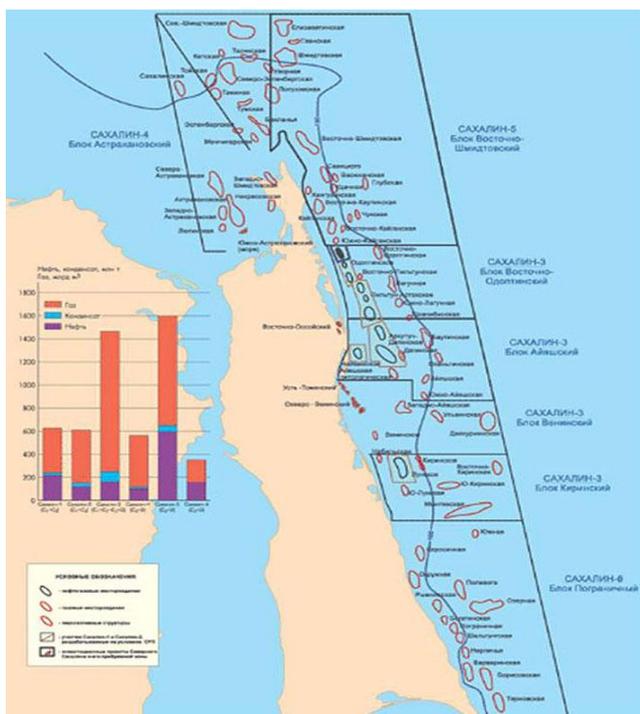
Современный вулканизм отсутствует, но характерна высокая сейсмичность. В 1995 году сильнейшее землетрясение силой 7,5 баллов по шкале Рихтера стёрло с лица Земли сахалинский город Нефтегорск (рис. 5.58)



Спектр пород на Сахалине чрезвычайно разнообразен и представлен скальными и полускальными породами интрузивной, метаморфической, вулканогенной, терригенной, флишевой и молассовой формаций. Интенсивно протекают процессы выветривания, понижения заболочены, локально проявляет себя мерзлота. В береговой зоне Сахалина много оползневых участков.

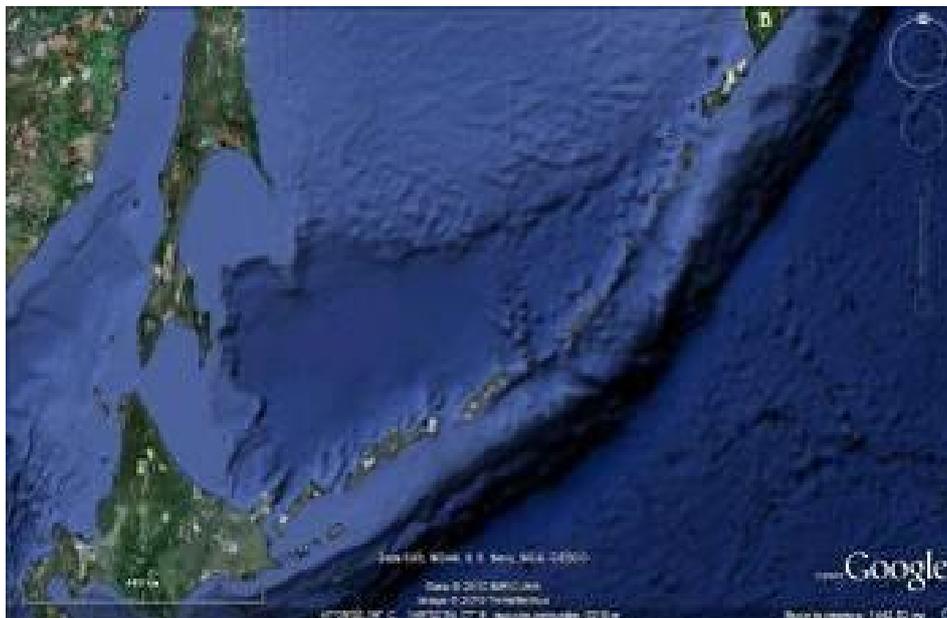
Шельф Сахалина относится к бассейнам Японского и Охотского морей. Для него характерны плоские или слабо наклонные абразионно-аккумулятивные поверхности на однородных и слабо расчленённых мезозойских и кайнозойских структурах. Ширина шельфа колеблется от 10 до 20 км, углы наклона поверхности морского дна не превышают нескольких десятков минут. Мощность рыхлых осадков мала, преобладают отпрепарированные гряды коренных пород, подводные клифы и ступени. Лишь вдоль восточного побережья острова местами наблюдается формирование мощных песчаных пересыпей, отчленяющих крупные заливы. На шельфе Сахалина велики запасы углеводородного сырья (нефти и конденсата 1,7 миллиардов тонн, газа 3,7 триллиона кубометров) и уже сейчас разрабатывается несколько крупных месторождений (рис. 5.59).

Рис. 5.59



Курильская островная дуга длиной около 1200 км включает в себя как острова, так и подводные склоны дуги (рис. 5.60).

Рис. 5.60



Это молодой развивающийся антиклинорий с высокой сейсмической активностью, осложнённый многочисленными вулканами и образующий горную дугу, имеющую относительное превышение над дном Курильской котловины до 4500 метров. В строении дуги принимают участие внутренний и внешний хребты. Внутренний хребет (Большая Курильская гряда) поднимается над морем в виде системы 28 крупных и множества мелких островов (рис. 5.61).

Рис. 5.61



Характерные виды Курильских островов представлены на рис. 5. 62

Рис. 5.62



Внешний хребет почти целиком подводный и только на крайнем юге он возвышается над морем, образуя Малые Курильские острова и полуостров Немуро на о. Хоккайдо (Япония). Между хребтами расположена узкая депрессия с максимальной глубиной до 3000 метров. Внутренний хребет представляет собой пологое сводовое поднятие, на котором возвышается вулканическая надстройка из 39 действующих вулканов. Внешний хребет имеет массивную блоковую структуру, сложенную породами верхнего мела и палеогена.

Островная отмель Курильской гряды со стороны Охотского моря гораздо уже (2-4 км), чем с океанической стороны (до 17 км). Её наклон к Охотской плите достигает 10-20°. Здесь наблюдается большое число подводных гор с плоскими вершинами, лежащими на глубинах от 200 до 950 метров. Небольшой участок шельфа Охотского моря, занимающий привершинную часть Пенжинской губы, характеризуется исключительно большими объёмами аллювиальных выносов, малыми уклонами дна и мощными приливными явлениями (до 13 метров). Всё это определяет формирование обширных приливных осушек, сложенных тонкими песчано-глинистыми осадками.

К рассматриваемому Тихоокеанскому поясу относятся южная и юго-западная части Берингова моря, представленные глубоководной Берингоморской котловиной и её отдельными впадинами (Алеутская, Командорская, Бауэра), разделёнными внутренними поднятиями, а также Алеутской горной грядой.

Всю эту область пояса характеризуют разнонаправленные вертикальные движения, которые предопределили формирование горного рельефа дуги и окружающих глубоководных впадин, заполненных мощной толщей (до 4-6 км по геофизическим данным) рыхлых осадков (аргиллитов, глубоководных диатомитов, турбидитов). Именно в этом регионе рассматриваются проекты альтернативной энергетики на основе плавучих блоков, использующих геотермальную зональность океанических течений (рис. 5.63).

Рис. 5.63



Заключение

Появление инженерной геологии в семействе геологических наук было предопределено потребностью всестороннего изучения геологических условий возведения различных сооружений и освоения территорий. В Российской Федерации инженерная геология, как наука и как практика, сложилась в советский период массового строительства и электрификации страны. Она сформировалась в 30-х годах XX столетия на базе первоначальных разрозненных запросов строительной практики и во второй половине столетия приняла законченную форму специального геологического знания новой формации с научно-теоретической базой, разработанной поколениями учёных и практиков. Аксиоматика инженерной геологии была рассмотрена во введении (см. выше). В логической структуре инженерной геологии в результате специализации и дифференциации сложились определённые научно-практические направления, прежде всего, грунтоведение, инженерная геодинамика, региональная инженерная геология и специальная инженерная геология (см. структурную схему инженерно-геологического знания). Единство этих направлений обеспечивает всестороннее использование геологической информации на разных этапах планирования развития территорий, строительства различных сооружений, производства инженерных работ, комплексного решения проблем рационального использования и охраны Геологической среды. Каждое из названных направлений создало соответствующие разделы знаний – учения на общей методологической основе историзма и системности: о формировании свойств горных пород; о закономерностях распространения, залегания и движения подземных вод; о причинах, условиях, механизмах и динамике развития геологических процессов; о закономерностях пространственной неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий; о влиянии техногенеза на природную среду. Инженерная геология, и прежде всего, грунтоведение, не могла обойти своим вниманием почвы, находящиеся часто на острие

реализации строительных объектов и производства инженерных работ. Недооценка почвенной тематики в инженерно-геологических исследованиях всегда чревата большими негативными последствиями, тем более что генетическое грунтоведение позаимствовало у почвоведения многие приёмы и методы исследования состава и свойств рыхлых дисперсных грунтов. Вслед за В. Д. Ломтадзе авторы полагают, что почвы естественным образом по совокупности своих генетических признаков и особенностям состава и свойств должны относиться к пятой группе горных пород по инженерно-геологической классификации, требующей особого подхода и с точки зрения изучения, и с точки зрения оценки их роли в реализации строительных проектов и инженерных работ [...].

Необходимо подчеркнуть, что с развитием инженерно-экологических исследований в составе инженерных изысканий для строительства почвы стали одним из обязательных компонентов изучения геохимического загрязнения территорий.

Немаловажно отметить, что развитие инженерной геологии сформировало новый уровень информационного обеспечения современного постиндустриального общества, в котором главенствующую роль играет обсуждение безопасности и комфортности для человека объектов, создаваемых в различных областях строительства, обсуждение взаимодействия человека и окружающей среды.

Инженерно-геологические изыскания, один из разделов инженерной геологии, это процесс научно – производственных исследований, обеспечивающий получение геопространственной информации, необходимой и достаточной для планирования размещения, строительства и эксплуатации различных сооружений и производства инженерных работ. Такая трактовка сущности инженерно-геологических изысканий принята во всём мире и поддерживается на законодательном уровне. В целом система инженерных изысканий предполагает выполнение комплекса исследований по плану в

определённой последовательности и соответственно со стадиями проектирования сооружений. Эта система должна обеспечить выбор оптимальных, технически целесообразных и экономически наиболее выгодных инженерных решений при решении различных задач освоения и охраны Геологической среды [В. Д. Ломтадзе. Словарь по инженерной геологии, 1999]. Как показывает практика, без современных и всесторонних инженерных изысканий невозможно гарантировать строительство от разных геологических неожиданностей, которые могут повлечь за собой не только изменение проектов, сроков строительства и стоимости сооружений, но и разрушительные катастрофы и гибель людей.

Надёжная технологически совершенная система инженерных изысканий — это не только гарант безопасности строительной сферы, но и определённый стимул развития целых отраслей промышленности – металлургии, металлообработки, приборостроения, информационно - компьютерных технологий. Не только специалисты изыскатели, но и всё общество, должны быть заинтересованы в создании и поддержании на должном уровне системы инженерных изысканий в целом, и инженерно-геологических изысканий в частности.

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОТКРЫТЫЙ ИНСТИТУТ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**

Кафедра землепользования и кадастра

Утверждаю
Заведующий кафедрой
геодезии и дистанционного зондирования

____.____.2012

**ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ
по дисциплине**

«Почвоведение и Инженерная геология»

Направления: 120100 «Геодезия и дистанционное зондирование»
120700 «Землеустройство и кадастры»

Составители: М. С. Захаров
проф. кафедры землепользования и кадастра;
Т. Н. Николаева,
доцент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии
СПб горного института

Санкт-Петербург
2014

Обязательный минимум содержания дисциплины

Процесс изучения дисциплины «Почвоведение и инженерная геология» направлен на формирование следующих компетенций:

- знакомство с сущностью предлагаемых учебных дисциплин по инженерной геологии и почвоведению: история развития, объект, предмет, методология, включая геологические основы инженерной геологии и почвоведения, условия взаимосвязи указанных дисциплин;
- знакомство с проблематикой в области взаимодействия строительства и инженерных работ с окружающей природной средой;
- знакомство с механизмами формирования состава и свойств грунтов и почв;
- знакомство с основными законами взаимодействия различных природных объектов, методиками моделирования (физического, математического, логического) взаимодействия различных сооружений с Геологической Средой;
- знания законов инженерной геологии для разработки комплексных программ исследований инженерно-геологических и почвенных условий в различных ландшафтно-климатических зонах;
- формирование практических знаний в области грунтоведения и инженерной геодинамики для формирования программ геодезических и кадастровых исследований при инженерных изысканиях;
- способности понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в инженерных изысканиях, в том числе соблюдать основные требования информационной безопасности и защиты государственной тайны;
- способности работать со специальной информацией в глобальных компьютерных сетях;

В результате изучения дисциплины, обучающиеся должны **знать**:

- общую структуру Инженерно-Геологического Знания и его связь с Почвоведением;
- роль Инженерной Геологии в использовании природных ресурсов и в строительной отрасли;
- виды горных пород и их строительные свойства;
- механизмы формирования различных видов почв, их состава и свойств, способы управления плодородием почв;
- типы подземных вод по условиям залегания, формирования и движения, химизма и гидродинамики; роль подземных вод в формировании и эволюции различных типов почв;
- геодинамические процессы, влияющие на устойчивость зданий и сооружений и на сохранение почвенного покрова, способы борьбы с геологическими природными и техногенными опасностями;
- организационно-технологические возможности и правила получения инженерно-геологической информации, необходимой и достаточной для проектирования и строительства различных зданий и сооружений.

В результате изучения дисциплины, обучающиеся должны **уметь**:

- отличать основные виды горных пород и почв друг от друга и оценивать их природные и строительные свойства;
- читать и строить геологические, инженерно-геологические и почвенные разрезы, геологические карты, планы и блок-диаграммы;
- сформировать логику оценки факторов инженерно-геологической обстановки и определения категории сложности инженерно-геологических условий и рисков, связанных с безопасностью капитального строительства;
- производить бонитировку почв по их важнейшим показателям;
- сформулировать задание на инженерно-геодезические изыскания в рамках нормативных требований и разработать программу геодезического обеспечения основных видов инженерных изысканий;
- подобрать лицензионные программные пакеты для обработки и систематизации

полученной информации с учётом требований инженерной геологии и почвоведения.

В результате изучения дисциплины, обучающиеся должны *владеть*:

— системными знаниями при выполнении инженерно-геодезических изысканий для получения и обработки комплексной информации о Геологической Среде и её компонентах и передачи этой информации в наиболее эффективной форме различным потребителям.

Вопросы самопроверки при подготовке к тестированию

Тема 1. Краткие сведения из общей и полевой геологии.

1. Горные породы как основания и среда сооружений или стройматериал.
2. Геосферная модель Земли и строение тектоносферы.
3. Пликативные и дизъюнктивные деформации. Механизм эволюции литосферы.
4. Типы рельефа поверхности Земли.
5. Возраст горных пород. Геохронологическая шкала.
6. Формы залегания горных пород (магматических, осадочных). Условия залегания осадочных пород: ненарушенное, нарушенное (моноклинали, складки, тектонические разломы).
7. Классификация горных пород по генезису (магматические, осадочные, метаморфические). Структура, текстура, минеральный состав в пределах каждой группы пород. Основные виды.

Тема 2. Минералы, горные породы / грунты / почвы.

8. Классификация грунтов по ГОСТ 25100-2011. «Грунты. Классификация». Сравнение с зарубежными классификациями.
9. Скальные и полускальные грунты. Типы связей. Основные показатели физического состояния и свойств.
10. Дисперсные грунты (ДГ). Типы связей. Основные фазы и компоненты. Гранулометрический состав ДГ, основные фракции, их свойства и минеральный состав. Основные виды ДГ (крупнообломочные, песчаные, глинистые органоминеральные, органические). График гранулометрического состава.
11. Виды воды (свободная, связанная) и газа (адсорбированный, заземлённый, растворенный) в грунтах, их влияние на свойства.
12. Основные характеристики физического состояния ДГ: плотность, влажность, пористость, характерные влажности, консистенция, степень плотности. Формулы взаимосвязи и расчёта.
13. Механические свойства грунтов: деформационные, прочностные. Природа деформации и разрушения скальных и полускальных, связанных и несвязных грунтов.
14. Понятие о массиве горных пород, грунтовой толще. Основные показатели их состояния: трещиноватость, выветрелость, однородность, напряженное состояние и температурный режим; их практическое значение.
15. Группа грунтов особого состава, состояния и свойств (набухающие, просадочные, засоленные и загипсованные, торф и заторфованные). Особенности этих грунтов как оснований сооружений.
16. Мёрзлые грунты. Особенности состава и свойств.
17. Техногенные грунты и их строительная характеристика.
18. Почвы: процессы почвообразования и малый биологический круговорот веществ.
19. Факторы почвообразования: климат, рельеф, живые существа, деятельность человека и др.
20. Роль биологического фактора в формировании почв.
21. Понятие о возрасте почв.
22. Характеристики твёрдой фазы почв. Гранулометрический и минеральный состав почв.
23. Источники органического вещества почв и процессы его переработки. Гумификация и минерализация почв.

24. Поглощительная способность почвы и коллоидные свойства.
25. Процессы физико-химического обмена в почва и их влияние на свойства почв.
26. Жидкая фаза почв. Виды влаги в почвах и дисперсных породах/грунтах.
27. Особенности водного баланса и типы водного режима почв. Характерные показатели влажности.
28. Газовая фаза почвы, её состав и свойства. Показатели воздушных свойств. Процессы газообмена.
29. Окислительно-восстановительные процессы в почвах.
30. Физические, водные и механические свойства почв.
31. Тепловые свойства и тепловой режим почв.
32. Структура почв и её влияние на свойства. Морфологический подход к оценке свойств почв.
33. Плодородие почв и способы управления плодородием.
34. Типы строения почвенного профиля.

Тема 3. Подземные воды (ПВ).

35. Понятие о коллекторах подземных вод и водоупорах.
36. Классификация ПВ по положению в разрезе, гидравлическим характеристикам и химическому составу.
37. Грунтовые воды: условия залегания, бассейны, потоки и их параметры; режим грунтовых вод ненарушенный, нарушенный. Карта гидроизогипс, и карта гидроизопьез.
38. Воды зоны аэрации: капиллярные, верховодка; практическое значение.
39. Напорные воды: артезианские бассейны, воды ледниковых и аллювиальных отложений, трещинно-жильные и трещинно-карстовые, меж - и подмерзлотные воды. Условия их залегания. Практическое значение напорных вод. Условия прорыва напорных вод в строительные и горные выработки.
40. Законы движения подземных вод. Понятие о фильтрации и инфильтрации. Основные законы фильтрации для ламинарного и турбулентного движения подземных вод - законы Дарси и Краснопольского. Коэффициент фильтрации, методы определения, оценка водопроницаемости горных пород и почв.
41. Основные типы водозаборов и строительных выработок: совершенные, несовершенные, вертикальные, горизонтальные, открытые, закрытые.
42. Определение притока воды к водозаборам и строительным выработкам. Понятие о депрессионной воронке. Основные формулы для расчета притоков воды.
43. Химический состав воды, оценка минерализации. Агрессивные свойства воды к бетону, металлам.
44. Понятие о гидрогеологических условиях, причины их изменения при строительстве и эксплуатации территорий. Прорыв напорных вод, проседание дневной поверхности в пределах депрессионной воронки.

Тема 4. Геологические (геодинамические) процессы и явления.

45. Классификация геологических и инженерно-геологических процессов и явлений.
46. Деятельность поверхностных вод: эрозионные процессы, паводки и сели, абразия, заболачивание.
47. Карст: определение, условия развития, виды карста по составу пород, открытый и закрытый карст; техногенные причины его развития, значение для строительства, способы защиты.
48. Суффозия: определение, условия развития и проявления суффозии в природных условиях и на застроенных территориях, последствия, способы защиты. Карстово-суффозионные процессы. Способы оценки суффозионных процессов.
49. Плывуны: характерные признаки плывунов, распространение, значение для строительства. Условия проявления плывунов. Способы защиты.
50. Комплексная оценка суффозионных, тиксотропных процессов и плывунов по условиям развития, времени и масштабу.

51. Объемные деформации в массиве грунта: просадки, набухание, усадка, причины их возникновения. Просадка в лёссовых грунтах, особенности лёссовых грунтов, количественная оценка просадки, последствия, способы защиты.
52. Гравитационные (склоновые) процессы: оползни, обвалы, осыпи. Оценка устойчивости оползневых склонов и откосов. Условия развития, способы защиты.
53. Геокриологические (мерзлотные) процессы. Мерзлые грунты, особенности их состава и свойств. Распространение вечной мерзлоты. Морозное пучение, просадки при оттаивании. Наледи, термокарст, солифлюкция, бугры пучения.
54. Неотектонические движения земной коры. Землетрясения: причины возникновения, сейсмические волны, запись землетрясений, оценка их интенсивности (шкала MSK-64, шкала Рихтера), сейсмодислокации, сейсмическое районирование.

Тема 5. Особенности инженерно-геологических условий территории России.

55. Понятие об инженерно-геологических условиях и факторах, определяющих их разнообразие.
56. Принципы инженерно-геологического районирования территории России.
57. Инженерно-геологические особенности мегаструктурного геоблока Северной Евразии:
 - Восточно-Европейский геоблок
 - Западно-Сибирский геоблок
 - Восточно-Сибирский геоблок
 - Новоземельско-Пайхойско-Уральский геоблок
58. Инженерно-геологические особенности эпиплатформенного Тяньшанско-Забайкальского пояса (горные сооружения Южной Сибири и Забайкалья).
59. Инженерно-геологические особенности Черноморского побережья России (Средиземноморская геосинклинальная зона).
60. Инженерно-геологические особенности мегаструктурного геоблока Дальнего Востока и Северо-Востока России.
61. Инженерно-геологические особенности мегаструктурного геоблока горных сооружений и глубоководных котловин Тихоокеанского пояса.

Список литературы для подготовки к тестированию

Основная литература

1. Милютин А.Г. Геология. М.: Высш. школа. 2008. – 448 с.
2. Гаврилов В. П. Геотектоника. М.: изд-во «Нефть и газ», 2005. – 368 с.
3. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной геологии. Изд. СПб Горного института, 1999. – 360 с.
4. Ананьев В. П., Потапов А. Д. Инженерная геология. М.: Высш. школа. 2007. – 575 с.
5. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л.: Недра, 1984. – 511 с.
6. Емельянова Т. Я. Инженерная геодинамика. Томск. Изд-во ТПИ, 2009. – 134 с.
7. Иванов И. П., Тржицинский Ю. Б. Инженерная геодинамика. СПб: Изд-во Наука, 2001. – 416 с.
8. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. – 478 с.
9. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. – 328 с.
10. Кирюхин В. А. Общая гидрогеология. СПб: Изд-во СПб ГГИ им. Плеханова, 2008. – 439 с.
11. Петров Н.С. Водоснабжение и инженерная мелиорация. СПб: изд-во СПб ГГИ им. Г. В. Плеханова, 2005. – 60 с.
12. Мироненко В. А. Динамика подземных вод. М.: из-во МГУ, 2001. – 519 с.
13. Солодухин М. А., Архангельский И. В. Справочник техника геолога по инженерно-геологическим и гидрогеологическим работам. М.: Недра, 1982. – 288 с.
14. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России. / Под ред В. Т. Трофимова, Е. А. вознесенского, В. А. Королёва. М.: КДУ, 2011. – 672 с.

15. Инженерная геология СССР в 8-ми томах. М: изд. МГУ, 1978.
т. 1. Русская платформа; т. 2. Западно - Сибирская низменность; т. 3. Восточная Сибирь; т. 4. Дальний Восток; т. 5. Алтай, Урал; т. 8. Кавказ, Крым, Карпаты.
16. Инженерная геология СССР. Алтае-Саянский и Забайкальский регионы. М: Недра, 1990. – 375 с.

Дополнительная литература

1. Общая и полевая геология. Под ред. А. Н. Павлова. Л.: Недра, 1991. – 463 с.
3. Справочное руководство гидрогеолога в 2-х томах. Под ред. В. М. Максимова. Л.: Недра. - 512 с.
4. Инженерная геокриология. Справочное пособие. Под ред Э.Д. Ершова. М.: Недра.1991. - 439 с.
5. Теоретические основы инженерной геологии. Под ред. Е. М. Сергеева. М.: Недра.
 - Т. 1. Физико-химические основы. 1985. – 288 с.
 - Т. 2. Геологические основы. 1985. – 322 с.
 - Т. 3. Механико-математические основы. 1986. – 254 с.
6. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Под. ред. Е. М. Сергеева. М.: Недра. 1984.
 - Т. 1. Полевые методы. – 423 с.
 - Т. 2. Лабораторные методы. – 438 с.
7. Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология. Электронная база знаний. Версия 5.10. Содержит пять основных модулей: «Библиотека», «НГ-калькулятор», «Карты», «Нормативно - методический модуль», «Словари и переводчики». Содержит электронную коллекцию книг, включающую более 500 полнотекстовых учебников и монографий по 19 тематическим разделам. С подробной рубрикацией базы Знаний можно ознакомиться на сайте www.hge.pu.ru.

Справочная литература

1. Базы данных (информационно-справочные и поисковые системы) «Гарант», «Стройконсультант», портал Национального Общества Изыскателей (НОИЗ) по разделам нормативных документов для различных видов изысканий.
2. СП 47.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 11-02-96). Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Госстрой, 2012.
3. СП 11-105-97 (в 6-и частях). Инженерно-геологические изыскания. М.: Госстрой, 1998.
4. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М.: Госстрой, 2011.

Тесты (Тестовые задания) по дисциплине

«Почвоведение и Инженерная геология»

Тема 1. Краткие сведения из общей и полевой геологии.

1. Площадь поверхности Земли составляет, млн. кв. км

- 1) 350
- 2) 670
- 3) 510 *

2. Объём Земли составляет, куб. км

- 1) $1,5 \cdot 10^{10}$
- 2) $2,48 \cdot 10^{15}$
- 3) $1,08 \cdot 10^{12}$ *

3. Подошва земной коры в среднем находится на глубине от поверхности Земли

- 1) 50 км *
- 2) 100 км
- 3) 300 км

4. Средняя плотность пород земной коры составляет

- 1) $2,5 \text{ г/см}^3$
- 2) $3,2 \text{ г/см}^3$ *
- 3) $3,6 \text{ г/см}^3$

5. На глубине подошвы земной коры фиксируется температура

- 1) 300°C
- 2) 1000°C
- 3) 600°C *

6. Зоной субдукции называется

- 1) зона взаимодействия различных блоков земной коры
- 2) зона контакта океанических и континентальных плит литосферы *
- 3) зоны проявления складчатости внутри континентов суши

7. Шельфом называют

- 1) прибрежную зону океана
- 2) затопленную окраину континентов *
- 3) зону океанического дна на глубине 200...1000 м

8. Стратиграфическое подразделение, соответствующее геохронологическому периоду, называется

- 1) система *
- 2) эратема
- 3) ярус

9. В меловой системе мезозоя выделяется отделов

- 1) три – нижний, средний и верхний;
- 2) отделы не выделены;
- 3) два - нижний и верхний. *

10. Самая древняя морена, обнаруженная в размывах кровли коренных пород на территории Санкт-Петербурга, называется

- 1) вологодская *
- 2) калининская

3) московская

11. Озёрно-ледниковые верхнечетвертичные отложения на геологическом разрезе обозначаются индексом

- 1) gIII
- 2) lgIII *
- 3) fIII

12. Пликативными деформациями слоёв земной коры называют

- 1) различного рода нарушения в горизонтальном залегании пластов горных пород
- 2) только разрывные нарушения в залегании пластов
- 3) только изгибы пластов в форме складок *

13. Горстом называют...

- 1) участок земной коры, занимающий приподнятое положение по отношению к окружающим областям и ограниченный сбросами или взбросами; *
- 2) крупная складка горных пород любой формы;
- 3) складка осадочных пород с изогнутым вверх сводом.

14. Замком складки называют

- 1) центральную сводовую часть складки;
- 2) область размыва ядра складки;
- 3) область замыкания складки и погружения шарнира складки под соседние слои иной формы залегания. *

15. При средней плотности вещества земной коры $2,7 \text{ г/см}^3$ давление на глубине 1 км от поверхности составит

- 1) 27 МПа; *
- 2) 30 МПа;
- 3) 25 МПа.

16. Перепад высот между самой высокой и самой низкой точками земной поверхности составляет

- 1) около 30 км;
- 2) около 20 км; *
- 3) около 25 км.

17. Скорость продольных сейсмических волн в пределах осадочной оболочки земной коры составляет

- 1) 5-6 км/с;
- 2) 7-8 км/с;
- 3) 3-5 км/с.*

18. Астеносферой называют

- 1) расплавленный слой верхней мантии, подстилающий земную кору *
- 2) слой нижней мантии на границе с ядром Земли
- 3) внешнюю оболочку ядра Земли

19. Шельф занимает, в % от площади Мирового океана

- 1) 10
- 2) 8 *
- 3) 5

20. Слой атмосферы, расположенный в интервале высот 47...80 км над поверхностью Земли, называют

- 1) стратосферой
- 2) мезосферой *
- 3) тропосферой

21. Термический градиент это

- 1) повышение температуры горных пород с увеличением глубины залегания на каждые 100 м *
- 2) повышение температуры подземных вод с глубиной
- 3) глубина, при погружении на которую температура повышается на 1°C

22. Геотермическая ступень это

- 1) расстояние по вертикали в земной коре на котором температура повышается на 1°C *
- 2) изменение температуры горных пород при погружении на каждые 10 м
- 3) глубина подошвы слоя постоянных температур

23. Современная геологическая теория, трактующая структуру земной коры называется

- 1) мобилизмом *
- 2) фиксизмом
- 3) рифтогенезом

24. Евразийская литосферная плита занимает площадь, млн. кв. км

- 1) 100
- 2) 60
- 3) 90 *

25. Современный отдел Четвертичной системы называют

- 1) антропогеном
- 2) голоценом *
- 3) плиоценом

26. Антиклиналью называют

- 1) коленообразный изгиб пласта
- 2) воображаемую поверхность складчатой структуры горных пород
- 3) складку горных пород при положении зеркала складчатости выпуклостью вверх *

27. Синеклизой называют

- 1) платформенную складчатую область с господствующим изгибом пластов осадочных пород выпуклостью вниз *
- 2) горную складчатую область с преобладанием синклинальных складок
- 3) артезианские бассейны подземных вод

28. При замере элементов залегания горных пород с помощью горного компаса измеряют

- 1) угол падения пласта
- 2) линию простирания пласта
- 3) угол падения и азимут падения пласта *

29. Вертикальной амплитудой сброса называют

- 1) расстояние по вертикали между разорванными одноимёнными поверхностями пласта *
- 2) расстояние между одноимёнными поверхностями пласта по сместителю
- 3) расстояние от нижней плоскости разорванного пласта до поверхности земли

Тема 2. Минералы, горные породы/грунты/почвы

30. Минералом называется

- 1) природное кристаллохимическое образование
- 2) искусственное кристаллохимическое образование
- 3) природное образование относительно однородное по химическому составу, внутреннему строению и физическим свойствам *

31. Горной породой называется

- 1) ассоциации минеральных зёрен определённого состава и строения
- 2) естественные минеральные агрегаты определённого состава и строения, сформировавшиеся в земной коре в виде самостоятельных геологических тел *
- 3) минеральные агрегаты, сформировавшиеся в результате геологических процессов

32. Минералы: каолинит, гидрослюда, монтмориллонит следует относить к группе

- 1) окислов и гидратов окисей алюминия
- 2) окислов и гидратов окисей железа
- 3) глинистых минералов *

33. Более 70% состава Земли составляют два химических элемента

- 1) алюминий и железо
- 2) кислород и кремний *
- 3) кальций и кислород

34. Классы симметрии (сингонии) минералов устанавливаются на основе элементов симметрии

- 1) оси симметрии
- 2) центры симметрии, оси симметрии, плоскости симметрии *
- 3) центры и плоскости симметрии

35. Классификацию породообразующих минералов оптимально можно построить на основе следующих трёх признаков

- 1) твёрдость, цвет, плотность *
- 2) форма кристаллов и минеральных агрегатов, блеск, спайность
- 3) плотность, блеск и излом

36. Грунтом называют...

- 1) любую горную породу, используемую в строительных целях
- 2) многофазную систему, состоящую из минеральных элементов, органических элементов, воды и газов *
- 3) это условное прикладное наименование горной породы вне зависимости от её состава и свойств

37. График, получаемый по результатам лабораторного исследования сжимаемости грунтов в одомере, называется

- 1) графиком сопротивления сдвигу
- 2) компрессионной кривой *
- 3) интегральной кривой

38. Кумулятивная кривая гранулометрического состава грунтов служит

- 1) для оценки однородности состава грунта *
- 2) для оценки уплотнённости грунта
- 3) для оценки консистенции глинистого грунта

39. К категории влагоёмких можно отнести грунты

- 1) песчаные
- 2) гравелистые
- 3) глинистые *

40. Из показателей плотности грунта определяется расчётом

- 1) плотность скелета (сухих частиц) *
- 2) плотность минеральных частиц
- 3) плотность грунта в естественном залегании

41. Представлению о сопротивлении грунта сдвигу (срезу) соответствует математическая зависимость

- 1) $de = m_0 \times dp$
- 2) $\tau = p \times tg\varphi$
- 3) $\tau = c + p \times tg\varphi$ *

42. Упругая модель грунта (закон Гука) применяется для расчётов

- 1) конечной осадки основания *
- 2) устойчивости откосов
- 3) развития осадки во времени

43. Для расчётов устойчивости откосов и склонов используется теория

- 1) линейного деформирования грунтов
- 2) предельного напряжённого состояния *
- 3) фильтрационной консолидации

44. Четвёртый закон Барри Коммонера (1972) говорит

- 1) о неизбежности расплаты за нарушения природных законов *
- 2) о экологическом кризисе, порождённом современной технологической цивилизацией
- 3) о необходимости ограничить потребление природных ресурсов

45. Уплотнённый горизонт, в котором накапливаются вымываемые из вышележащих слоев вещества, называется

- 1) иллювиальный*
- 2) элювиальный
- 3) гумусовый

46. Процесс почвообразования наиболее развит

- 1) на рыхлых осадочных*
- 2) на магматических
- на метаморфических

47. Группа «физической» глины, выделенная Н.А. Качинским в классификации гранулометрических фракций В.Р. Вильямса, определяется размером

- 1) $>0,001$ мм
- 2) $<0,01$ мм*
- 3) $<0,005$ мм

48. Для фульвокислот характерно

- 1) энергичное разрушение минеральной части почвы*
- 2) темный цвет препаратов гуминовых кислот
- 3) накопление на месте образования

49. Для промывного типа водного режима почв характерно

- 1) коэффициент увлажнения $KУ < 1$
- 2) сумма годовых осадков больше величины испаряемости*
- 3) почвенная влага находится в подвешенном положении в «мертвом» горизонте

50. Большая часть доступных растениям воды в почвах передвигается под действием сил

- 1) осмотических
- 2) капиллярных*
- 3) гравитационных

51. Наибольшее количество прочносвязанной воды определяет почвенно-гидрологическую константу

- 1) максимальную адсорбционную влагоемкость*
- 2) влажность разрыва капиллярной каймы
- 3) полную влагоемкость

52. Оптимальные условия для развития растений создаются при содержании кислорода в почвенном воздухе (%)

- 1) 10
- 2) 20*
- 3) 30

53. Для почв, насыщенных Ca^{2+} и Mg^{2+} , характерно

- 1) щелочная реакция среды
- 2) хорошая оструктуренность*
- 3) легкая пептизация коллоидов

54. Суммарное количество обменных катионов в почве характеризует

- 1) pH среды
- 2) почвенный поглощающий комплекс
- 3) емкость поглощения почвы*

55. Вне зависимости от реакции среды отрицательно заряженные коллоидные частицы называются

- 1) базоиды*
- 2) амфолитоиды
- 3) ацидоиды

56. Заряд коллоидной частицы определяется составом ионов

- 1) двойного электрического слоя
- 2) слоя потенциалопределяющих ионов*
- 3) неподвижного слоя компенсирующих ионов

57. Потенциальная кислотность характерна для

- 1) почвенного раствора
- 2) богатых органикой почв
- 3) минеральной фазы почвы*

58. В почвоведении процессы перемещения и превращения массы горных пород, совершающиеся на протяжении геологических эпох, называются

- 1) биологический круговорот веществ
- 2) геологический круговорот веществ*
- 3) выветривание

59. Ведущее положение при почвообразовании принадлежит фактору

- 1) климат
- 2) растительный и животный мир*
- 3) почвообразующие породы

60. Возраст почвы как почвообразующего фактора обуславливает

- 1) механический состав
- 2) состав поселяющейся растительности
- 3) мощность почвенного профиля*

61. Оптимальное сочетание температуры и влажности для жизнедеятельности большинства микроорганизмов следующее:

- 1) $t \approx 25-30^\circ \text{C}$ и $w \approx 0,2w_{\text{п}}$
- 2) $t \approx 15-20^\circ \text{C}$ и $w \approx 0,6w_{\text{п}}$
- 3) $t \approx 25-30^\circ \text{C}$ и $w \approx 0,6w_{\text{п}}$ *

62. Теплопоглотельную способность почвы характеризуют величиной

- 1) теплопроводности
- 2) альбедо*
- 3) теплоемкости

63. К водным свойствам почв относится

- 1) пористость
- 2) влажность
- 3) влагоемкость*

64. Бесструктурные почвы характеризуются:

- 1) хорошим впитыванием влаги
- 2) господством окислительных процессов
- 3) ростом удельного сопротивления при обработке*

Тема 3. Подземные воды.

65. Гравитационной называют подземную воду, которая

- 1) не связана с поверхностью горных пород, заполняет поры и трещины в горных породах и формирует водоносные горизонты *
- 2) заполняет только капиллярные поры и формирует капиллярную кайму выше уровня грунтовых вод
- 3) заполняет макропоры и свободно передвигается по ним

66. Способность породы пропускать воду определяется параметром

- 1) упругой водоотдачей водоносного пласта
- 2) коэффициентом фильтрации горной породы *
- 3) упругоёмкостью водоносного пласта

67. Упругоёмкость водоносного пласта зависит

- 1) от дебита скважины во время откачки
- 2) от радиуса влияния откачки
- 3) от сжимаемости воды и водоносной породы *

68. Связь между двумя параметрами водоносного пласта следует оценивать по величине

- 1) дисперсии выборки

- 2) по значению коэффициента корреляции *
- 3) по коэффициенту асимметрии

69. Предельная высота капиллярного поднятия в тонко - и мелкозернистых песках составляет

- 1) 25 см
- 2) 200 см
- 3) 110 см *

70. Водоносным горизонтом называют

- 1) элементарную гидрогеологическую структуру с единой поверхностью подземных вод *
- 2) водоносный пласт с едиными условиями питания и движения подземных вод
- 3) водоносный пласт с единым химическим составом подземных вод

71. Грунтовыми подземными водами называют

- 1) подземные воды, залегающие на первом от поверхности водоупоре и сообщающиеся с атмосферой через зону аэрации *
- 2) любые подземные воды, связанные с грунтовым массивом
- 3) спорадические подземные воды на локальном водоупоре в зоне аэрации

72. Артезианскими подземными водами называют

- 1) воды, изливающиеся на дневную поверхность
- 2) подземные воды, расположенные между двумя водоупорами и обладающие избыточным напором над кровлей водоносного пласта *
- 3) подземные минерализованные воды, вскрытые глубокими скважинами

73. Величина гидростатического напора определяется

- 1) как величина условного подъёма воды над уровнем Мирового океана
- 2) как сумма возможной высоты подъёма воды над заданной точкой и высоты расположения этой точки над условной горизонтальной плоскостью *
- 3) как высота столба воды в горной выработке

74. В формулу Дарси $Q = V \times F = k \times F \times \frac{\Delta H}{L}$ заложено одно из понятий скорости перемещения воды в поровом пространстве

- 1) действительная скорость перемещения воды в поровом или трещинном пространстве породы
- 2) условная скорость ламинарного потока через выбранное сечение породы
- 3) условная величина, характеризующая отношение измеренного расхода к расчётному поперечному сечению фильтрующей породы *

75. Для крупнозернистого песка граничными значениями коэффициента фильтрации будут (м/сутки)

- 1) 0,001...0,01
- 2) более 10
- 3) 1...5 *

76. Величина гравитационной отдачи у супесей составит (в долях единицы)

- 1) 0,05
- 2) 0,30 *
- 3) 0,24

77. В формуле для расчёта коэффициента упругой водоотдачи μ^*

$\mu^* = a_0 \times m \times (1 - n)$ параметром a_0 обозначено

- 1) коэффициент сжимаемости породы *
- 2) коэффициент упругого отпора
- 3) приращение эффективных напряжений

78. Для расчёта притока воды к одиночной совершенной скважине во время откачки необходимо знать

- 1) коэффициент фильтрации и понижение воды в скважине
- 2) коэффициент фильтрации и радиус скважины или колодца
- 3) коэффициент фильтрации, радиус скважины и расстояние до контура питания при установившемся режиме откачки *

79. Расчётные формулы притока воды к совершенным выработкам можно использовать для расчёта водопитока к несовершенным выработкам (скважины, траншеи, котлованы)

- 1) вводя поправочный коэффициент на несовершенство выработки при условии стационарного режима и значительного удаления контура питания
- 2) при условии, что расстояние до ближайшей границы дренируемого пласта будет в 10 раз превышать его мощность *
- 3) принимая мощность зоны дренажа равной $4/3$ высоты столба воды в выработке

80. Воронка депрессии это

- 1) форма поверхности воды в возмущённом водоносном пласте, образующаяся вокруг выработки во время откачки *
- 2) геометрическая схематизация условий откачки, отражающая понижение воды в выработке
- 3) линия пересечения поверхности водоносного пласта при откачке наклонной плоскостью

81. Систематическим дренажом застраиваемой площади называют

- 1) сеть горизонтальных дренажных выработок
- 2) сеть горизонтальных дрен и вертикальных скважин, рассчитанных на определённое понижение и поддержание уровня подземных вод в пределах застраиваемой площади *
- 3) сеть канав, обеспечивающих требуемую норму осушения для определённого сооружения

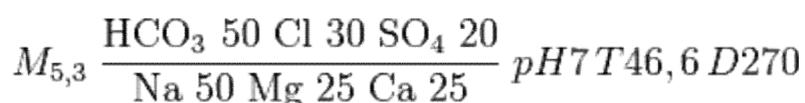
82. Вода имеет наибольшую плотность при какой температуре

- 1) при 0°C
- 2) при 10°C
- 3) при 4°C *

83. Классифицировать подземные воды по солёности позволяет

- 1) содержание водородных ионов
- 2) общее содержание всех растворённых минералов *
- 3) соотношение растворённых макрокомпонентов

84. Вода, представленная ниже формулой Курлова, относится к типу



- 1) пресная гидрокарбонатно - магниевая, слабо щелочная
- 2) солоноватая гидрокарбонатно – натриевая, слабо щелочная *
- 3) солоноватая гидрокарбонатно – кальциево - магниевая

Тема 4. Геологические процессы и явления.

85. Методику изучения геологических процессов для обоснования проектов защиты территории рассматривает раздел инженерной геологии, называемый

- 1) региональной инженерной геологией
- 2) инженерной геодинамикой *
- 3) специальной инженерной геологией

86. Экстенсивность геологического процесса, например, карста можно оценить

- 1) временной продолжительностью процесса
- 2) коэффициентом поражённости территории
- 3) площадью развития процесса *

87. Интенсивность развития геологического процесса можно оценить

- 1) временем протекания и объёмами масс горных пород, участвующих в процессе *
- 2) коэффициентом поражённости территории
- 3) временем действия процесса

88. Системный подход к изучению геологического процесса заключается в применении

- 1) логических заключений, основанных на познании механизма процесса
- 2) логики, основанной на познании структуры и организации пространства процесса
- 3) в познании взаимосвязи механизма, структуры, форм организации пространства процесса методом многоаспектного моделирования *

89. Историческую направленность процесса можно проследить

- 1) стационарными режимными наблюдениями *
- 2) инженерно-геологической съёмкой
- 3) комплексным изучением свойств грунтов

90. В составе режимных наблюдений за геодинамической обстановкой территории аэрокосмические исследования должны быть составлять не менее

- 1) 70 %
- 2) до 40 % *
- 3) до 20 %

91. Для оценки геодинамической опасности и разработки проекта инженерной защиты наиболее подходят инженерно-геологические карты

- 1) синтетические карты детальных масштабов
- 2) обзорные аналитические карты
- 3) детальные аналитические карты *

92. Из приведённого списка факторов, определяющих геодинамическую обстановку, можно исключить

- 1) ландшафтно – климатический
- 2) структурно - тектонический
- 3) плотность населения *
- 4) инженерная и хозяйственная деятельность человека

93. Экзогенная геодинамика определяется

- 1) энергией солнца и действием геофизических полей Земли *
- 2) внутренними силами Земли
- 3) влиянием Космоса

94. Гипоцентры коровых землетрясений находятся на глубине

- 1) 70...300 км
- 2) 300-700 км
- 3) 1...50 км *

95. Соотношение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн составляет

- 1) 2
- 2) 1,5
- 3) 1,7 *

96. Интенсивность землетрясения оценивается

- 1) скоростью продольных сейсмических волн
- 2) максимальным сейсмическим ускорением *
- 3) периодом сейсмических колебаний

97. Для регионального сейсмического районирования используется

- 1) коэффициент сейсмичности *
- 2) сейсмическое ускорение
- 3) частота землетрясений, зафиксированных в регионе

98. Магнитуда землетрясения это

- 1) сила сейсмического толчка
- 2) логарифм отношения эталонной амплитуды землетрясения и максимальной амплитуды, зафиксированной на сейсмограмме *
- 3) сейсмическое ускорение

99. Землетрясение интенсивностью 8 баллов по шкале MSK или 6 баллов по шкале Рихтера относится к категории

- 1) очень сильных
- 2) разрушительных *
- 3) опустошительных

100. Сейсмической жёсткостью грунтового массива называют

- 1) произведение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн
- 2) произведение глубины залегания подземных вод на плотность грунта
- 3) произведение скорости продольных (поперечных) волн на среднюю плотность грунта в пределах 10-метровой толщи *

101. Сейсмическое микрорайонирование это...

- 1) деление строительной площадки на участки в зависимости от величины приращения сейсмической балльности *
- 2) деление строительной площадки по геологическому строению и характеру обводнённости грунтов
- 3) деление строительной площадки в зависимости от интенсивности резонансных явлений

102. Величина сейсмической жёсткости песков лежит интервале значений

- 1) 7,2...2,;
- 2) 3,1...1 *
- 3) 12.6...5

103. Интенсивность вулканического извержения определяется

- 1) давлением в магматическом очаге

- 2) отношением количества газа к объёму изливающейся магмы *
- 3) насыщением магмы обломочным материалом

104. Морские волны, образующиеся при подводном землетрясении, называют

- 1) сейши
- 2) пахоэхозэ
- 3) цунами *

105. К категории сильно пучинистых относятся грунты

- 1) глинистые полутвёрдой консистенции
- 2) глинистые при консистенции от мягкопластичной до текучей
пески мелкие и пылеватые водонасыщенные *
- 3) песчаные при коэффициенте водонасыщения меньше 0,6

106. В зоне островной мерзлоты мощность и температура многолетнемерзлых пород составляют

- 1) 300-1000 мминус 14°C
- 2) 100 - 300 м.....до минус 5°C
- 3) 10...100 м.....от 0 до минус 2°C *

107. Показатель льдистости для категории сильно льдистых пород имеет значение

- 1) менее 0,2
- 2) 0,4...0,6 *
- 3) 0,6...0,9

108. Без учёта мёрзлого состояния можно вести строительство

- 1) на песчаных морозных грунтах
- 2) на скальных грунтах малой льдистости *
- 3) на глинистых грунтах в твёрдомёрзлом состоянии

109. Термокарстом называют

- 1) процесс оттаивания мёрзлых пород под дном водоёмов
- 2) процесс вытаивания льда и образование провалов и понижений, занятых водой *
- 3) процесс оттаивания и обрушения сильно льдистых пород на морском побережье

110. Солифлюкцией называют

- 1) процесс течения оттаявшего слоя по поверхности мёрзлых пород *
- 2) сползание откосов дорожных выемок при сезонном оттаивании
- 3) процесс выпучивания разжиженного глинистого грунта на поверхность

111. Для абразионных берегов характерно

- 1) быстрое нарастание глубин в пределах прибрежной зоны и наличие отвесных берегов *
- 2) наличие береговых валов и обширных пляжей
- 3) значительная скорость подъёма берега в современную эпоху

112. Для развития оврагов фактор при прочих равных геоморфологических и климатических условий определяющим будет

- 1) количество выпадающих атмосферных осадков
- 2) крутизна склонов
- 3) наличие водонепроницаемых легко размываемых пород *

113. Для старичного аллювия характерно

- 1) наличие отсортированных крупнозернистых песков

- 2) наличие тонкозернистых песков с прослоями торфа *
- 3) наличие скоплений гравия и гальки

114. Пролувиальные отложения слагают

- 1) верхние надпойменные террасы в речной долине
- 2) русловые отложения постоянных водных потоков
- 3) конуса выносов и шлейфы в устьях горных рек и временных водотоков *

115. Верховым болотом называют

- 1) заторфованное понижение в пределах водоразделов и высоких речных террас *
- 2) заросший застойный водоём
- 3) переувлажнённую территорию у подножья склонов

116. В торфе содержание органических веществ должно составлять

- 1) более 50% *
- 2) 30...40%
- 3) до 20%

117. Карстообразование наиболее активно проявляет себя

- 1) в солях
- 2) в карбонатах
- 3) в карбонатно – гипсовых породах *

118. Территория, где фиксируется от 0,1 до 1 провала в год на 1 км², оценивается как

- 1) неустойчивая *
- 2) относительно устойчивая
- 3) недостаточно устойчивая

119. Наиболее распространённый метод укрепления и упрочнения закарстованных пород в гидротехническом строительстве это

- 1) нагнетание жидкого стекла
- 2) тампонирующее глинистыми растворами
- 3) цементация *

120. Просадочные грунты I типа характеризуются

- 1) структурными связями, которые быстро разрушаются после водонасыщения
- 2) структурными связями, которые разрушаются после водонасыщения и приложения дополнительной нагрузки *
- 3) структурными связями, которые разрушаются при водонасыщении под действием собственного веса

121. Процесс суффозии начинает развиваться при градиенте напора

- 1) больше 1
- 2) при значениях больше 0,5
- 3) при значениях больше 10 *

122. Суффозия может развиваться при значениях коэффициента неоднородности гранулометрического состава грунта

- 1) больше 3 *
- 2) больше 5
- 3) больше 10

123. Истинным пльвуном называют

- 1) водонасыщенные рыхлые пески и супеси, способные разжижаться и приходить в движение при их вскрытии различными горными выработками и строительными котлованами *
- 2) текучие глины, сползающие по склону
- 3) любые водонасыщенные породы способные разжижаться и двигаться в подземных выработках

124. При круглоцилиндрической поверхности скольжения оползень в однородных глинистых породах называется

- 1) консеквентным
- 2) асеквентным *
- 3) инсеквентным

125. Наиболее эффективное противооползневое мероприятие при переувлажнении пород за счёт подземных вод

- 1) регулирование поверхностного стока
- 2) выполаживание склона
- 3) горизонтальный и вертикальный дренаж *

126. В основу прогноза устойчивости склонов и откосов положен принцип

- 1) соотношения сдвигающих и удерживающих сил *
- 2) взаимодействия расчётных блоков, на которые разделён склон или откос
- 3) соотношения общих и эффективных напряжений

127. Эффективность метода центробежного моделирования для прогноза устойчивости склонов и откосов можно оценить, как

- 1) высокую
- 2) умеренную *
- 3) низкую

128. Оползни и обвалы отличаются друг от друга

- 1) ничем, и те, и другие относятся к классу гравитационных явлений
- 2) механизмом и кинематикой проявления *
- 3) ролью подземных вод в механизме проявления

129. Коэффициентом подвижности осыпи называется

- 1) отношение угла откоса осыпи к углу внутреннего трения материала осыпи *
- 2) соотношение величины сцепления и угла внутреннего трения материала осыпи
- 3) отношение величины пригрузки осыпи к коэффициенту сдвига материала осыпи

130. Коррозией называют

- 1) процесс переноса песчаных частиц ветром
- 2) процесс формирования дюн и барханов
- 3) процесс обтачивания поверхностных конструкций и выходов горных пород воздушными потоками *

131. Термокарстовые озёра формируются

- 1) на месте карстовых полостей
- 2) на болотах с большой мощностью мохового покрова
- 3) на участках деградации бугров пучения и сильно льдистых грунтов *

Тема 5. Особенности инженерно-геологических условий территории России.

132. Инженерно-геологические условия территории определяются факторами

- 1) Структурно-тектоническими
- 2) Ландшафтно - климатическими
- 3) Сочетанием ландшафтно-климатических, структурно-тектонических и техногенных *

133. Закон блоково-ступенчатой организации Геологической среды проявляет себя

- 1) только на равнинах
- 2) только в горных местностях
- 3) имеет универсальное выражение для земной поверхности суши и дна мирового Океана *

134. При районировании территории России по инженерно-геологическим условиям можно выделить надпорядковых мегаструктурных блоков

- 1) Пять *
- 2) Три
- 3) Десять

135. В состав Североевразийского мегаструктурного блока не входят

- 1) Молодые складчатые зоны – Тиманская, Донецкая, Енисейско-Туруханская
- 2) Глубоководные котловины Тихоокеанского пояса*
- 3) Западно - Сибирская молодая платформа

136. В северной зоне Восточно-Европейского геоблока выделяется типов инженерно-геологических обстановок

- 1) Четыре *
- 2) Два
- 3) Пять

137. В пределах Балтийского щита определяющую роль в инженерно-геологической обстановке играют

- 1) послеледниковые четвертичные отложения
- 2) полициклический осадочный чехол
- 3) породы кристаллического фундамента в приповерхностном залегании *

138. Гляциальным шельфом называют

- 1) Геолого-структурную зону Восточно-Европейской платформы, занятую в плейстоцене покровным оледенением
- 2) Экваториальное окончание Северной зоны Восточно-Европейского геоблока, сложенное грунтами ледникового комплекса *
- 3) Часть Восточно-Европейского геоблока, занятую полярными бассейнами в четвертичный период

139. Для южной зоны Восточно-Европейского геоблока характерным является

- 1) широкое развитие лёссовых и аллювиально-дельтовых покровов *
- 2) широкое представительство моренных отложений
- 3) неотектонические поднятия

140. В зоне Предкавказских передовых прогибов складчатый фундамент опущен на глубину

- 1) до 3 км
- 2) до 10 км *

3) до 20 км

141. Соляная тектоника сильно проявлена в пределах

- 1) Ставропольского поднятия
- 2) Прикаспийской низменности *
- 3) побережья Азовского моря

142. Характерной чертой инженерно-геологической обстановки для северной зоны Западно - Сибирского геоблока является

- 1) широкое развитие мерзлоты и болот *
- 2) сильно пересечённый рельеф и оврагообразование
- 3) лёссовые покровы и пльвунуны

143. Мощность осадочного чехла в пределах Южнокарского шельфа составляет

- 1) до 500 м
- 2) 500 – 1000 м
- 3) 1000 – 4000 м *

144. В пределах Западно - Сибирского геоблока развита интенсивная добыча

- 1) полиметаллов и подземных вод
- 2) нефти и газа *
- 3) угля и сланцев

145. Характерной чертой Восточно - Сибирского геоблока является

- 1) широкое развитие эффузивной формации траппов *
- 2) широкое развитие структур байкальского этапа складчатости
- 3) широкое развитие отложений ледникового комплекса

146. Горы Бырранга (резервный источник полиметаллов, каменного угля, золота и урана) расположены

- 1) на юге Иркутского амфитеатра
- 2) на полуострове Таймыр *
- 3) в центральной части Вилюйской низменности

147. Бесценный опыт городского и горнотехнического строительства накоплен в городах Восточно - Сибирского геоблока

- 1) Иркутске и Ангарске
- 2) Братске и Якутске
- 3) Норильске *

148. Современный ледниковый щит в пределах Новоземельско-Пайхойско-Уральского геоблока занимает

- 1) горные сооружения высотой более 1500 м
- 2) северный остров Нововоземельского архипелага *
- 3) хребет Пай-Хой

149. Для северной зоны Уральского субрегиона характерно развитие многолетнемерзлых пород мощностью

- 1) до 30 м
- 1) 50 -100 м
- 3) 100 -300 м *

150. Для центральной зоны Уральского субрегиона характерно развитие

- 1) мощных открытых и погребённых кор выветривания коренных пород *

- 2) лёссового покрова
- 3) сильных землетрясений

151. Нунатаками называют

- 1) Выходы моренных образований среди ледниковых щитов
- 2) отдельные массивы льда на равнинах тундровой зоны
- 3) острровершие выходы скальных пород над поверхностью ледниковых щитов *

152. Мощность многолетнемёрзлых пород на севере Восточно - Сибирского геоблока достигает, м

- 1) 50 – 100
- 2) 300 - 400 *
- 3) до 600

153. Карбонатные и кремнисто – глинистые толщи широко представлены в структурно-формационных зонах Уральского субрегиона

- 1) Западно - Уральской *
- 2) Центрально – Уральской
- 3) Восточно – Уральской

154. Карстовые процессы и карстовые воды широко представлены в зонах Уральского субрегиона

- 1) Северной
- 2) Южной
- 3) Центральной *

155. Повышенная сейсмическая активность до 7 баллов по шкале MSK-64 характерна для зон Уральского субрегиона

- 1) Северной
- 2) Центральной *
- 3) Южной

156. Максимальная интенсивность землетрясений в пределах Туапсинско – Сочинского района Северо – Западного Кавказа может достигать в баллах по шкале MSK-64

- 1) 5...6
- 2) 7...8
- 3) 9...9,5 *

157. При проектировании и строительстве горных олимпийских объектов в районе Красной Поляны основное внимание при инженерно-геологической оценке уделялось

- 1) щебенисто - дресвяным грунтам коры выветривания юрских песчаников и сланцев *
- 2) пролювиальным галечниковым грунтам в речных долинах реки Мзымты и её притоков
- 3) склоновым оползневым накоплениям

158. Для укрепления береговой полосы между Адлером и Анапой наиболее эффективными мерами берегоукрепления являются

- 1) управление пляжевыми наносами методами намыва и подсыпки *
- 2) наброски из тетраподов
- 3) укрепление берега бунами и волноломами

159. В геоблок возрождённых гор южной Сибири на территории России входят

- 1) Горный Алтай и Западные Саяны
- 2) Горный Алтай и Тува

3) Горный Алтай, Западный и Восточный Саяны, Тува, Прибайкалье (Байкало-Витимская складчатая зона), Забайкалье (Монголо-Охотская складчатая зона) *

160. Между Салаирским кряжем и Кузнецким Алатау располагается

- 1) Кузнецкий угленосный бассейн *
- 2) Салаирские полиметаллические месторождения
- 3) Колывань - Томские месторождения мраморов

161. Межгорные впадины Забайкальского субрегиона лежат на абсолютных отметках

- 1) уровня Мирового океана
- 2) на высотах 1000...2000 м
- 3) 400 – 700 м ниже уровня моря *

162. Наиболее сейсмоопасный район Забайкалья приурочен

- 1) к Байкальской рифтовой зоне *
- 2) Хингано - Буреинскому региону
- 3) горным сооружениям Приамурья

163. Процессы пучения, образование наледей, термопросадки и морозобойное растрескивание в Забайкальском регионе наиболее характерны для

- 1) гольцовых районов выше границы леса
- 2) горно-таёжного пояса
- 3) долин и межгорных впадин *

164. Границу между Забайкальским и Дальневосточным регионами следует проводить

- 1) по долине реки Олёкмы и её притока реки Нюкжи по направлению к гос. границе с Китаем *
- 2) по долине реки Аргунь
- 3) по меридиану 122 градуса восточной долготы.

165. В состав Дальневосточного горно-равнинного пояса не входят

- 1) горные сооружения Буреинского массива
- 2) горный хребет Сунтар-Хаята *
- 3) Средне - Амурская впадина

166. На территории Приморского геоблока развиты типы мерзлоты

- 1) сплошной
- 2) прерывистый
- 3) прерывистый и массивно – островной *

167. В пределах северо-восточной части Дальневосточного геоблока преобладают тектонические структуры

- 1) мезозойского возраста *
- 2) палеозойского возраста
- 3) доархейского

168. В пределах Камчатки и Курильских островов насчитывается действующих вулканов

- 1) 100 – 200
- 2) 60 – 70 *
- 3) 20 - 25

169. На Северо –Востоке наибольшая сейсмическая активность до 8 магнитуд наблюдается в пределах

- 1) Охотско-Чукотского вулканического пояса
- 2) Омолонского массива
- 3) хребта Черского *

170. Зона наибольшей сейсмической активности на Камчатке находится в пределах

- 1) восточного побережья *
- 2) западного побережья
- 3) центральной зоны

171. Запасы нефти и конденсата на шельфе Сахалина составляют, миллиардов тонн

- 1) 20,4
- 2) 10,5
- 3) 1,7 *

172. Мерзлота на Сахалине распространена

- 1) локально *
- 2) повсеместно
- 3) имеет массивно-островное распространение

173. Внешний хребет Курильской гряды образует

- 1) отдельные мелкие острова
- 2) Малые Курильские острова и полуостров Немуро *
- 2) японский остров Хоккайдо

174. Высоты приливов в устье р. Пенжина составляют

- 1) 2...3 м
- 2) до 5 м
- 3) до 13 м *

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	№ вопроса	Правильный вариант ответа	Уровень сложности вопроса
1	2	3	4	5
1	Краткие сведения из общей и полевой геологии	1	3	1
		2	3	1
		3	1	1
		4	2	2
		5	3	1
		6	2	3
		7	2	2
		8	1	3
		9	3	2
		10	1	2
		11	2	3
		12	3	2
		13	1	2
		14	3	2
		15	1	3
		16	2	1
		17	3	2
		18	1	1
		19	2	1
		20	2	2
		21	1	1
		22	1	1
		23	1	2
		24	3	1
		25	2	2
		26	3	2
		27	1	2
		28	3	3
		29	1	1
2	Минералы, горные породы/ грунты/почвы	30	3	1
		31	2	1
		32	3	2
		33	2	1
		34	2	3
		35	1	2
		36	2	2
		37	2	3
		38	1	2
		39	3	2
		40	1	3
		41	3	3
		42	1	3
		43	2	3
		44	1	1
		45	1	1
		46	1	1
		47	2	3
		48	1	3
		49	2	1

		50	2	2
		51	1	2
		52	2	1
		53	2	2
		54	3	2
		55	1	1
		56	2	1
		57	3	1
		58	2	1
		59	2	1
		60	3	2
		61	3	3
		62	2	1
		63	3	1
		64	3	2
3	Подземные воды	65	1	2
		66	2	2
		67	3	3
		68	2	3
		69	3	1
		70	1	1
		71	1	1
		72	2	1
		73	2	2
		74	3	2
		75	2	1
		76	2	1
		77	1	2
		78	3	2
		79	2	3
		80	1	1
		81	2	1
		82	3	1
		83	2	1
		84	2	2
4	Геологические (геодинамические) процессы и явления	85	2	1
		86	3	2
		87	1	2
		88	3	3
		89	1	2
		90	2	2
		91	3	2
		92	3	1
		93	1	1
		94	3	1
		95	3	2
		96	2	2
		97	1	2
		98	2	2

		99	2	2
		100	3	1
		101	1	2
		102	2	1
		103	2	1
		104	3	1
		105	2	2
		106	3	2
		107	2	1
		108	2	1
		109	2	1
		110	1	1
		111	1	1
		112	3	1
		113	2	2
		114	3	1
		115	1	2
		116	1	1
		117	3	2
		118	1	2
		119	3	1
		120	2	1
		121	1	1
		122	1	1
		123	1	1
		124	2	1
		125	3	2
		126	1	3
		127	2	1
		128	2	2
		129	1	1
		130	3	1
		131	3	1
5	Особенности инженерно-геологических условий территории России	132	3	1
		133	3	2
		134	1	2
		135	2	1
		136	3	2
		137	3	2
		138	2	3
		139	1	3
		140	2	2
		141	2	2
		142	1	1
		143	3	3
		144	2	1
		145	1	3
		146	2	2
		147	3	1
		148	2	2
		149	3	1

		150	1	3
		151	3	1
		152	2	2
		153	1	3
		154	3	2
		155	2	2
		156	3	2
		157	1	2
		158	1	3
		159	3	3
		160	1	2
		161	3	2
		162	1	3
		163	3	3
		164	1	3
		165	2	2
		166	3	1
		167	1	2
		168	2	1
		169	3	2
		170	1	3
		171	3	1
		172	1	1
		173	2	2
		174	3	1

Таблицы распределения вопросов по темам с указанием правильного ответа

№ п/п	Название темы (раздела)	№ вопроса	Вариант правильного ответа
1	2	3	4
1	Краткие сведения из общей и полевой геологии	1	3
		2	3
		3	1
		4	2
		5	3
		6	2
		7	2
		8	1
		9	3
		10	1
		11	2
		12	3
		13	1
		14	3
		15	1
		16	2
		17	3
		18	1
		19	2
		20	2
		21	1
		22	1
		23	1
		24	3
		25	2
		26	3
		27	1
		28	3
		29	1

1	2	3	4
2	Минералы, горные породы/ грунты/почвы	30	3
		31	2
		32	3
		33	2
		34	2
		35	1
		36	2
		37	2
		38	1
		39	3
		40	1
		41	3
		42	1
		43	2
		44	1
		45	1
		46	1
		47	2
		48	1
		49	2
		50	2
		51	1
		52	2
		53	2
		54	3
		55	1
		56	2
		57	3
		58	2
		59	2
		60	3
		61	3
		62	2
		63	3
		64	3

1	2	3	4
3	Подземные воды	65	1
		66	2
		67	3
		68	2
		69	3
		70	1
		71	1
		72	2
		73	2
		74	3
		75	2
		76	2
		77	1
		78	3
		79	2
		80	1
		81	2
82	3		
83	2		
84	2		

1	2	3	4
4	Геологические (геодинамические) процессы и явления	85	2
		86	3
		87	1
		88	3
		89	1
		90	2
		91	3
		92	3
		93	1
		94	3
		95	3
		96	2
		97	1
		98	2
		99	2
		100	3
		101	1
		102	2
		103	2
		104	3
		105	2
		106	3
		107	2
		108	2
		109	2
		110	1
		111	1
		112	3
		113	2
		114	3
		115	1
116	1		
117	3		
118	1		
119	3		
120	2		
121	1		
122	1		
123	1		
124	2		
125	3		
126	1		
127	2		
128	2		
129	1		
130	3		
131	3		

1	2	3	4
5	Особенности инженерно-геологических условий территории России	132	3
		133	3
		134	1
		135	2
		136	3
		137	3
		138	2
		139	1
		140	2
		141	2
		142	1
		143	3
		144	2
		145	1
		146	2
		147	3
		148	2
		149	3
		150	1
		151	3
		152	2
		153	1
		154	3
		155	2
		156	3
		157	1
		158	1
		159	3
		160	1
		161	3
		162	1
		163	3
		164	1
165	2		
166	3		
167	1		
168	2		
169	3		
170	1		
171	3		
172	1		
173	2		
174	3		

Интернет-ресурсы к учебному пособию «Почвоведение и инженерная геология»

— <http://www.geomark.ru>: сайт издательства «Геомарк», электронные версии журналов «Инженерные изыскания», «Инженерная геология», «Геориск». Ведущие периодические издания по различным вопросам инженерной геологии, гидрогеологии, геодинамики и инженерно-геологических изысканий.

— <http://www.acdjournal.ru>: сайт издательского дома «АСД», электронная версия журнала Национального общества изыскателей (НОИЗ) «Проектирование и инженерные изыскания».

— <http://www.geoenv.ru>: электронная версия журнала «Геоэкология» (Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология).

— <http://yadi.sk/d/3CXF9wkV4ArZB> / <http://yadi.sk/d/j-C1pm3gEC6R7>: электронный конспект лекций и тематических альбомов иллюстраций по инженерной геологии и гидрогеологии М. С. Захарова на Яндекс. Диск, 2008-2013.

— http://www.benran.ru/Lib_kat.htm: электронные библиотечные каталоги в Интернете.

— <http://www.d-info.ru>: информативно-справочная система нормативной документации в строительстве. Версии Проф и Регламент содержат «Указатель нормативных документов по строительству, действующих на территории Российской Федерации» — официальное издание Госстроя России: СНиПы, ГОСТ, ГОСТ Р, СП, РДС, ВСН, СН, РСН, ТСН, новые документы по ценообразованию — ГЭСН, ГЭСНм, ГЭСНр, ГЭСНп, ФЭР, и др., а также нормативные документы органов надзора + реквизиты и тексты следующих нормативных документов, применяемых в строительстве: государственных стандартов (ГОСТ, ГОСТ Р, утвержденных Госстандартом России) на материалы, изделия, машины, оборудование и виды работ, государственные стандарты единой системы конструкторской документации и безопасности труда, государственные стандарты по пожарной и промышленной безопасности, охране природы, системам контроля и качества, и др.; пособий к строительным нормам и правилам (СНиП, СН, ВСН); методических рекомендаций и руководств по строительству; приказов, постановлений и директивных писем Госстроя России; нормативно-технических и нормативных методических документов других министерств и ведомств.

— <http://www.soils.narod.ru>: Почвы России. Сайт института почвоведения им. В. В. Докучаева.

— <http://www.ecosystema.ru>: Сайт А. С. Боголюбова, один из разделов которого посвящен описанию и типизации почв России.

— <http://www.dic.dssac.ru>: электронный Англо-русский/Русско-английский терминологический словарь по почвоведению, а также толковый словарь по почвоведению.

— <http://www.garant.ru>: интернет-версия справочной правовой системы «Гарант» в области строительства и инженерных изысканий.



Фумарольное поле «Июльское». Температура газов 493°C. остров Парамушир.

Фото Л. В. Котенко, 2006



Активная воронка Северного кратера вулкана Эбеко
с ультракислым термальным озером. Остров Парамушир
Т.А.Котенко, октябрь 2006 года

Фёдор Петрович Саваренский (1881-1946)

Инженер-геолог и гидрогеолог. Академик АН СССР. Один из основоположников инженерной геологии в России и СССР. Профессор Московского геологоразведочного института имени С. Орджоникидзе (с 1930), создатель и заведующий кафедрой инженерной геологии (с 1934) там же. В 1935–1940 гг. — руководитель отдела гидрогеологии и инженерной геологии в Геологическом институте АН СССР, с 1940 — председатель Комиссии гидрогеологии и инженерной геологии АН СССР, в 1944–1946 гг. — директор Лаборатории гидрогеологических проблем. Под руководством Ф. П. Саваренского составлена (1933) первая сводка по подземным водам СССР. Исследования Ф. П. Саваренского в области механики грунтов способствовали развитию грунтоведения. Его заслуги в науках о Земле столь велики, что сейчас нет ни одного научного направления, научно-практических проблем и задач, где бы ни использовались теоретические, методические разработки и рекомендации Ф. П. Саваренского.

Вениамин Васильевич Охотин (1888- 1954)

Инженер-геолог, почвовед, один из основоположников грунтоведения. Профессор, зав. кафедрой грунтоведения ЛГУ (1933-1954). В 1922 году он одним из первых в России начал систематическое изучение физико-механических грунтов в дорожных целях. В 1929-1930 гг. совместно с П.А. Земятченским организовал на геологическом факультете Ленинградского государственного университета первую в мире кафедру грунтоведения. С 1933 г. и до своей смерти в 1954 был ее бессменным заведующим. Опубликовал около 50 работ по разным разделам инженерной геологии, преимущественно по грунтоведению.

Виктор Александрович Приклонский (1899-1959)

Геолог и гидрогеолог, член-корреспондент АН СССР (1958). Окончил Московский университет (1920) и Московскую горную академию (1928). С 1930 преподавал в Московском геологоразведочном институте (профессор с 1950). Директор лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР (1957—59). Основные труды посвящены гидрогеологии и инженерной геологии. Предложил инженерно-геологическую классификацию горных пород и схемы последовательного формирования инженерно-геологических свойств осадочных пород. Государственная премия СССР (1952). Автор известной монографии «Грунтоведение». Ч. 1 и 2. М: Госгеолиздат, 1955.

Карл Терцаги (1883-1963)

Австрийский и американский геолог и инженер-строитель, один из основоположников механики грунтов, науки, тесно связанной с инженерной геологией.

Началом профессиональной деятельности К. Терцаги стала работа младшим инженером-конструктором в венской фирме, занимавшейся новой тогда отраслью — гидроэнергетикой, а Карл решал сопутствующие ей геологические задачи. Со временем круг его обязанностей быстро расширялся, и к 1908 году он уже руководил целой стройплощадкой, а также проектированием и возведением стальных армоконструкций. В это же время предпринял амбициозный проект постройки ГЭС в Хорватии. После этого Терцаги провел шесть месяцев в России, где разработал некоторые новые графические методы расчета промышленных резервуаров, которые легли в основу его диссертации (PhD), защищенной в 1912 году.

Деятельность постепенно начала приносить Терцаги известность, и он решил совершить «путешествие» по строительным площадкам некоторых крупных дамб в США. Это позволило ему получить множество сведений «из первых рук» по разнообразным строительным вопросам.

В декабре 1913 года Терцаги возвратился в Австрию. С началом Первой мировой войны его призвали в армию и направили руководить инженерным батальоном из 250 человек, а впоследствии — 1000 человек. После короткого периода управления аэродромом, он был избран профессором Оттоманского королевского инженерного колледжа в Стамбуле (ныне Стамбульский технический университет).

Здесь начался наиболее плодотворный период в жизни ученого, который положил начало делу его жизни — настоящему инженерному пониманию грунтов как строительного материала, чьи свойства можно было бы измерять стандартизированными методами. С помощью простейших инструментов и оборудования он организовал лабораторию и приступил к активной работе. Результаты его опытов и измерений, а также анализ сил, действующих на подпорные стенки, были впервые опубликованы в 1919 году и быстро получили признание как важнейший вклад в научное понимание фундаментальных свойств грунтов.

К моменту завершения войны Терцаги был вынужден оставить пост в Университете и устроиться на работу в стамбульский Роберт-колледж, где он переключается в преподавании с французского на английский язык, и вновь отстраивает свою лабораторию. В этот период он изучал различные количественные аспекты водопроницаемости грунтов и дал несколько объяснений наблюдаемым эффектам. Он изобрел некоторые новые измерительные приборы, а продолжительные наблюдения часто выполнял самостоятельно. В завершение многолетних исследований, Терцаги опубликовал в 1924 году свою главную книгу — «Erdbaumechanik» («Механика грунтов»), приведшую механику грунтов к всеобщему признанию. За этим последовало приглашение на работу в Массачусетский технологический институт (США), которое ученый практически без колебаний принял.

Основные работы (на русском языке):

Строительная механика грунта на основе его физических свойств. М: 1933

Механика грунтов в инженерной практике. М: 1958 (в соавторстве с Р. Пеком).

Теория механики грунтов. М: 1961.

Николай Васильевич Коломенский (1909 - 1974)

Инженер-геолог, выдающийся ученый и педагог, доктор геолого-минералогических наук, профессор. Вся его жизнь была связана с Московским геологоразведочным институтом и кафедрой инженерной геологии со времени ее создания. Н.В.Коломенского с полным правом можно считать учеником Ф.П. Саваренского, поскольку еще в студенческие годы он начал вести научную работу под его руководством и это сотрудничество в течение многих лет совместной работы оказало глубокое воздействие на формирование его личности и научных принципов.

Н.В. Коломенский проявил себя как прекрасный методист и в первую очередь как разработчик инженерно-геологических методов изысканий. Им была разработана методика построения карты Европейской части СССР для целей гидротехнического строительства (1952 г.), инженерно-геологических исследований для орошения юга Украины (1953 г.), методика комплексной инженерно-геологической оценки района Алушта-Судак (1962 г.) и территории южной части Волгограда (1960 г.).

На протяжении многих послевоенных лет Н.В. Коломенский был связан с гидротехническим строительством. Он участвовал в изысканиях и проектировании гидростанций Волжского каскада - Горьковской, Волгоградской, Чебоксарской ГЭС; возглавлял научно-исследовательские работы на Рыбинском, Ивановском, Горьковском, Волгоградском водохранилищах, исследуя проблему переработки их берегов. Некоторые из его учеников по этим материалам защитили кандидатские и докторские диссертации. Одновременно Н.В. Коломенский вел большую консультативную и экспертную работу. Он был связан с работами, выполняющимися Гидропроектом, Фундаментпроектом, Союзводпроектом, ВСЕГИНГЕО, ПНИИИСом, участвовал в разработке уникальных проблем, в частности, принимал участие в оценке инженерно-геологических условий строительства Серпуховского синхрофазотрона, был председателем межвузовской комиссии по изучению геологии Луны.

Наряду с научной, производственной и общественной деятельностью Н.В. Коломенский был прекрасным педагогом, воспитавшим любовь к инженерной геологии не одной сотне выпускников МГРИ. Его как педагога отличали строгий подход к отбору и проработке материала, четкость построения лекций, необычайно широкая эрудиция и прекрасное содержание лекций. Он является автором непревзойденных до сих пор учебников по инженерной геологии. Личное обаяние и остроумие, блестящий дар лектора, эрудированность, огромный практический опыт сделали его одним из любимейших профессоров МГРИ.

Основные работы:

Инженерная геология. Т.1-2 (1956). Инженерная геология. Учебник (1964) (в соавт. с И. С. Комаровым). Общая методика инженерно-геологических исследований (1968).
Специальная инженерная геология (1969).

Иван Васильевич Попов (1889-1974)

Инженер-геолог, один из основоположников отечественной инженерной геологии, профессор кафедры грунтоведения и инженерной геологии МГУ (1954—1974).

И. В. Попов сыграл огромную роль в становлении инженерной геологии как науки, в разработке её фундаментальных теоретических проблем. Круг научных интересов И. В. Попова был чрезвычайно широк и охватывал различные направления минералогии, гидрогеологии и инженерной геологии. С 1932 г. его научная деятельность была связана с гидротехническим строительством и инженерной геологией. И. В. Попов руководил изысканиями для проекта Большой Волги в 1930-х гг., являлся экспертом и консультантом ряда крупнейших послевоенных строек в стране: Волго-Дона, Мингечаурской ГЭС, Токтогульской ГЭС, Московского метро, комбинатов КМА, СУБРа и многих др. Позже он работал на ряде крупных зарубежных объектов в Египте (Асуанская ГЭС на р. Нил) и в Китае. В 1955 г. вместе с Е. М. Сергеевым участвовал в экспедициях по Западной Сибири и Северному Уралу.

И. В. Попов разрабатывал широкий круг научных проблем — от изучения роли кристаллических структур вторичных минералов при формировании свойств глин, до учения о формациях при региональных инженерно-геологических исследованиях. Он впервые разработал учение о формациях при региональных инженерно-геологических исследованиях.

Он опубликовал более 150 научных работ по различным вопросам грунтоведения и инженерной геологии, а также целый ряд учебников по инженерной геологии. Под его

редакцией вышел ряд монографий, сборников и методических пособий, в том числе двухтомный труд «Инженерно-геологические исследования для строительства гидротехнических сооружений» (1950), удостоенный Государственной премии СССР. Большой вклад И. В. Попов внес в развитие инженерной геодинамики, как одного из научных направлений инженерной геологии. Он занимался региональным изучением оползней, карста, просадок в лёссах и др. геологическими процессами и явлениями. Внедрял новые методы и технические средства при оценке инженерно-геологических условий и прогноза их изменения. Впервые предложил использовать методы физического моделирования при изучении ряда геологических процессов, создал на кафедре грунтоведения и инженерной геологии МГУ лабораторию инженерно-геологического моделирования.

Основные работы:

Инженерная геология СССР. Ч.1. Общие основы региональной инженерной геологии. М: Изд-во МГУ, 1961. Инженерная геол. СССР. Ч.II. Европейская часть СССР. М: Изд-во МГУ, 1965. Инженерная геол. СССР. Ч.III. Урал. Зап. Сибирь. М: Изд-во МГУ, 1969. Инженерная геол. СССР. Ч.IV. Кавказ. М: Изд-во МГУ, 1971. Инженерная геол. СССР. Ч.V. Казахстан. Средняя. Азия. М: Изд-во МГУ, 1974. Инженерная геология. / Учебник. М: Госгеолиздат, 1951; Инженерная геология. 2-е изд., перераб. и доп. М: Изд-во МГУ, 1957; 3-е изд. 1959.

Николай Александрович Цытович (1900-1984)

Выдающийся ученый в области механики грунтов, геомеханики, фундаментостроения и инженерной геологии, основоположник инженерного мерзлотоведения. Доктор технических наук, профессор. Ученый с мировым именем, возглавлявшим долгое время отечественную школу механики грунтов, педагог. Член-корреспондент АН СССР, председатель Президиума Якутского филиала АН СССР, президент Национальной ассоциации СССР Международного общества механики грунтов и фундаментостроения, лауреат Сталинской премии, заслуженный деятель науки и техники РСФСР,

Всего Н. А. Цытович за всю долгую и творчески насыщенную жизнь опубликовал около 360 научных работ, в том числе 25 монографий, большинство из которых переведено на иностранные языки.

Основные работы:

Основы механики грунтов (1934). Основания механики мерзлых грунтов (1937). Принципы механики мерзлых грунтов (1952). Основания и фундаменты на мерзлых грунтах (1958). Механика грунтов (1963). Теория и практика фундаментостроения (1964). Механика грунтов. Краткий курс (1968, 1973, 1979, 1983). Основания и фундаменты (1970). Механика мерзлых грунтов (1973). Основы прикладной геомеханики в строительстве (1981).

Николай Николаевич Маслов (1898-1986)

Выдающийся учёный и практик в области механики грунтов, фундаментостроения и инженерной геологии. Доктор технических наук, профессор, педагог. Автор многочисленных и широко известных трудов, среди которых «Инженерная геология (основы геотехники)» (1941), «Прикладная механика грунтов» (1949), «Условия

устойчивости склонов и откосов» (1955), «Условия устойчивости водонасыщенных песков» (1959), «Основы механики грунтов и инженерной геологии» (1961, 1968), «Длительная устойчивость и деформация смещения подпорных сооружений» (1968), «Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними)» (1977). Признанный авторитет в области гидротехнического строительства, участвовал в исследованиях, связанных с такими сооружениями, как Куйбышевская, Балаковская (Саратовская) и Волгоградская ГЭС, плотина Кайрак-Кумского водохранилища в Ферганской долине. Заслуженный деятель науки и техники СССР.

Валерий Давидович Ломтадзе (1912-1993)

Выдающийся теоретик и практик в области инженерной геологии. Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой «Инженерной геологии» Ленинградского горного института (1973 - 1989). Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Автор уникального цикла учебников и учебных пособий по основным разделам инженерной геологии: «Инженерная геология. Инженерная петрология» (1970, 1984), «Инженерная геология. Инженерная геодинамика» (1977), «Инженерная геология. Специальная инженерная геология» (1978), «Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород» (1972), «Введение в инженерную геологию» (1986), «Инженерная геология месторождений полезных ископаемых» (1986), «Словарь по инженерной геологии» (1993).

Евгений Михайлович Сергеев (1914-1997)

Инженер-геолог и грунтовед, крупнейший ученый в области инженерной геологии, талантливый педагог и организатор геологической науки, профессор кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова (1953), академик РАН, лауреат Ленинской (1982) и Государственных премий СССР (1977, 1988), Ломоносовской премии МГУ, зав. кафедрой грунтоведения и инженерной геологии (1954, с 1986 — каф. инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ, участник Великой Отечественной войны. В его честь ежегодно проводится научная конференция Сергеевские чтения.

Основные работы:

Избранные главы общего грунтоведения. М: Изд-во МГУ, 1946. Общее грунтоведение. М: Изд-во МГУ, 1952. Инженерная геология / Учебник. М: Изд-во МГУ, 1-е изд. 1978 // 2-е изд. 1982. Теоретические основы инженерной геологии. Геол. основы / Под ред. Е. М. Сергеева (отд. главы). М: Недра, 1985. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / Под ред. Е. М. Сергеева (отд. главы). М: Недра, 1985.

Галина Андреевна Голодковская (1927 -2011)

Инженер-геолог, доктор геол.-минер. наук (1968), профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического ф-та МГУ им. М.В.Ломоносова (1969), Заслуженный профессор МГУ (1996), лауреат Государственной премии СССР (1988), Государственной научной стипендии «Выдающиеся ученые России» (1995), Заслуженный деятель науки РФ (1993). Внесла существенный вклад в развитие региональной инженерной геологии.

Основные работы:

Инженерно-геол. исследования при разведке месторождений полезных. ископаемых (в соавт. с Демидюк Л.М., Шаумян Л.В). М: Изд-во МГУ, 1975. Engineering geological maps (в соавт. с Dearman W.R., Matula M.) Paris: UNESCO Press, 1976. Теоретические основы инженерной геологии. Геол. основы / Под ред. Е. М. Сергеева (отд. главы). М: Недра, 1985. Инженерно-геологическая типизация скальных массивов (в соавт. с Матула М., Шаумян Л.В.) М: 1987. Геологическая среда промышленных регионов (в соавт. с Елисеевым Ю.Б.) М: Недра, 1989. Методологические основы оценки эколого-геологического состояния территорий промышленных регионов (в соавт. с Королёвым, Куриновым М.Б.). Геология 2. ("Университеты России") / Ред. колл.: А.Н.Тихонов, В.А.Садовничий и др. М: Изд-во МГУ, 1995.

Георгий Сергеевич Золотарев (1914)

Инженер-геолог, доктор геолого-минералогических наук (1957), профессор кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ (1961), лауреат Государственной премии СССР (1952), член бюро Научного совета по инженерной геологии и гидрогеологии АН СССР, председатель Координационной комиссии по межфакультетской теме «Склоновые процессы» при МГУ, член Методической комиссии отделения "Гидрогеология и инженерная геология" исполкома Международной ассоциации инженеров-геологов, эксперт Госстроя СССР, Госплана СССР по проектам застройки городов и гидротехнических сооружений.

Опубликовал около 120 научных работ по различным вопросам инженерной геологии (теоретические основы и методика инженерно-геологических исследований в связи с промышленно-гражданским, подземным и гидротехническим строительством; методика инженерно-геологических исследований районов крупных водохранилищ, оценка и прогноз переработки берегов; геологические закономерности формирования склонов и прогноз их устойчивости).

Генрих Кондратьевич Бондарик (1925)

Инженер-геолог, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии МГГРУ (ранее МГРИ), заслуженный деятель науки РФ. Имеет звание "Выдающийся профессор МГРИ-РГГРУ".

Автор более 300 научных трудов, включая монографии и учебники, в том числе «Общая теория инженерной (физической) геологии» (1981), «Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород (1972), «Методика инженерно-геологических исследований» (1986), «Инженерная геодинамика» (в соавторстве с Л. А. Ярг и Г. К. Пендиным) (2007). Имеет 6 авторских свидетельств.

Виктор Иванович Осипов (1937)

Инженер-геолог, грунтовед, действительный член АН СССР (1991), доктор геолого-минералогических наук (1977), профессор кафедры инженерной геологии и охраны геологической среды геологического факультета МГУ (1977). Председатель Научного совета РАН по инженерной геологии, геоэкологии и геокриологии (1989). Вице-президент (1986-1990) Международной ассоциации инженеров-геологов. Главный редактор журнала «Геоэкология» (1988). Лауреат Государственной премии СССР (1988), опубликовал более 200 научных работ, получил 4 авторских свидетельства на изобретения и 5 зарубежных патентов.

Основные работы:

Грунтоведение (соавт. Е.М.Сергеев, Г.А.Голодковская, Р.С.Зиангиров и В.Т.Трофимов), 1971. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород (1979). Микроструктура глинистых пород (соавт. В.Н.Соколов, Н.А.Румянцева, 1989).

Виктор Титович Трофимов (1937)

Инженер-геолог, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой инженерной геологии и охраны геологической среды (экологической геологии) геологического факультета МГУ. С 1992 года проректор по научной работе МГУ.

Лауреат Государственной премии СССР (1977, 1988). Удостоен Ломоносовской премии I степени Московского университета (1976), серебряной (1985) и бронзовых (1969, 1972) медалей ВДНХ СССР. Награжден золотой медалью им. Петра I РАЕН. В 1996 г. В.Т. Трофимову присужден диплом Фонда имени академика В.И. Смирнова «За выдающийся вклад в развитие высшего геологического образования в России». В 2002 г. — Ломоносовская премия за педагогическую деятельность. В 2005 г. В.Т. Трофимов удостоен высокой правительственной награды — ордена Почета.

С 1978 г. В.Т. Трофимов входит в состав редакционных коллегий различных периодических изданий. В 1978-1993 гг. он являлся главным редактором и членом редколлегий журнала «Вестник Московского университета. Серия 4. Геология», журналов «Бюллетень МОИП. Отдел геологический» (с 1982 г.), «Мир камня» (1995 г.), «Минералогический альманах», «Известия секции наук о Земле РАЕН» (1998 г.). В то же время он был членом редколлегии серии «Современные проблемы биосферы» (1983-1988 гг.), редакционного совета секции по бурению на твердые полезные ископаемые, гидрогеологии и инженерной геологии издательства «Недра» (1987-1992 гг.), редколлегии журнала «Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии» и журнала «EARTH SCIENCE FRONTIERS», который издается в Китае на английском и китайском языках.

Опубликовал более 700 научных работ. Соавтор и автор 35 монографий, 9 учебников и учебных пособий, многих геологических, инженерно-геологических и геокриологических карт. Редактор более 120 монографий, сборников научных трудов и карт. Соавтор первой инженерно-геологической карты СССР.

Основные направления научных исследований связаны с решением проблем грунтоведения и региональной инженерной геологии. Изучение В. Т. Трофимовым различных регионов СССР позволило установить роль современной тепло- и влагообеспеченности массивов пород в формировании их инженерно-геологических особенностей, разработать вопросы генезиса просадочности лессовых пород, установить закономерности зонального изменения инженерно-геологических условий континентов Земли и их причинную обусловленность, разработать теоретические положения и методику инженерно-геологического районирования крупных регионов на основе анализа закономерностей пространственного изменения инженерно-геологических условий, методику инженерно-геологического картирования и составления синтетических и аналитических инженерно-геологических и геокриологических карт, установить закономерности формирования и пространственного изменения инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты.

В.Т. Трофимов — автор теоретических положений и методики инженерно-геологического районирования крупных территорий, методики мелкомасштабного инженерно-геологического картирования и составления синтетических и аналитических карт инженерно-геологического и геокриологического содержания. В 1997 г. под его руководством была разработана «Концепция геологического образования в России». В настоящее время на возглавляемой им кафедре в рамках Национального проекта «Формирование системы инновационного образования в МГУ им. М.В. Ломоносова» и

Национальной программы «Образование» разрабатывается инновационная магистерская программа «Экологическая геология техногенно-осваиваемых территорий».

Василий Васильевич Докучаев (1846-1903)

Русский геолог и почвовед, основатель национальной школы почвоведения и географии почв. Создал учение о почве как об особом природном теле, открыл основные закономерности генезиса и географического расположения почв.

Окончив Санкт-Петербургский университет, Докучаев был оставлен на факультете геологии в качестве консерватора (хранителя) минералогической коллекции и занимал эту должность с 1872 по 1878 год. Затем он был избран доцентом и профессором (1883) минералогии. В продолжение многих лет Докучаев преподавал минералогию в Институте гражданских инженеров.

Учёная деятельность Докучаева в период до 1878 года посвящена, главным образом, исследованию новейших четвертичных образований (наносов) и почв Европейской России. С 1871 по 1877 годы он совершил ряд экспедиций по северной и центральной России и южной части Финляндии, с целью изучения геологического строения, способа и времени образования речных долин и геологической деятельности рек. В 1878 году он защитил магистерскую диссертацию «Способы происхождения речных долин Европейской России», в которой изложил оригинальную теорию образования речных долин путём постепенного развития процессов линейной эрозии. Уже в это время в область научных интересов Докучаева попадают почвы, которые изучались им вместе с динамической геологией и четвертичными отложениями. В 1874 году он делает доклад о подзолах Смоленской губернии на заседании Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. В 1877 году Докучаев выступил перед Вольным Экономическим Обществом с докладом «Итоги о русском чернозёме», где критически анализировал отрывочные данные о чернозёмах, опубликованные к этому времени, теории его происхождения (морскую, болотную, растительно-наземную), после чего предложил план будущих специальных исследований.

За время с 1877 по 1881 годы Докучаев совершил ряд поездок по чернозёмной зоне, общая длина маршрута экспедиций составила более 10 тыс. км. Помимо описания геологических обнажений и почвенных разрезов, производился лабораторный анализ образцов. В 1883 году вышло сочинение Докучаева «Русский чернозём», в котором детально рассмотрены область распространения, способ происхождения, химический состав чернозёма, принципы классификации и методы исследования этой почвы. В нём было предложено определение почвы как особого природного минерально-органического образования, а не любых поверхностных наносов. В своей книге Докучаев обратился и к причинам роста частоты и ущерба от засух, называя среди них отсутствие надлежащих способов обработки почв, севооборотов, мер по сохранению влаги, распылению зернистой структуры чернозёмов, ухудшении водного и воздушного режимов, эрозии.

За эту работу Докучаев был удостоен Санкт-Петербургским университетом учёной степени доктора минералогии и геогнозии. От Вольного экономического общества получил особую благодарность, а от Академии наук — полную Макарьевскую премию (1885). «Русский чернозём» подвергся критике со стороны П. А. Костычева, который считал слишком незначительным число образцов, которые были проанализированы для доказательства зависимости свойств чернозёма от климатических факторов.

В 1882 году Докучаев принял предложение нижегородского губернского земства произвести, с целью более правильной расценки земель, полное исследование губернии в геологическом, почвенном и вообще естественно-историческом отношениях с помощью подготовленных им сотрудников-специалистов по почвоведению. Эта работа была закончена под руководством Докучаева за шесть лет, её результатом явились 14 выпусков «Материалов по оценке земель Нижегородской губернии» (по одному на каждый уезд губернии), с почвенной и геологической картой. К работам были привлечены ученики Докучаева Н. М. Сибирцев, П. А. Земятченский, А. Р. Ферхмин, А. Н. Краснов, В. П. Амалицкий, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, П. Ф. Бараков и др. В этой экспедиции была создана и отработана методика составления почвенных карт, разработана генетическая классификация почв с четырьмя крупными классами сухопутно-растительных, сухопутно-болотистых, болотных и пойменных почв, усовершенствован метод бонитировки, проверена и расширена на северные почвы сама концепция генетического почвоведения.

При жизни Докучаева его ученики провели подобные оценочные работы в 11 губерниях. Во время оценочных экспедиций Докучаев не переставал искать причины деградации чернозёмов и пути выхода из сложившейся ситуации. Через год после масштабной засухи 1891 года Докучаев издал книгу «Наши степи прежде и теперь», где предложил план охраны чернозёмов, включавший регулирование оврагов и балок, меры по защите почв от смыва, создание лесополос, искусственное орошение, поддержание определённого соотношения между пашней, лугом и лесом.

В 1892 году Докучаев добился организации «Особой экспедиции по испытанию и учёту различных способов и приёмов лесного и водного хозяйства в степях России» лесного департамента для экспериментальной проверки эффективности его программы.

По инициативе и при ближайшем содействии Докучаева в 1888 году была основана Почвенная комиссия при Вольном экономическом обществе, в которой он состоял председателем, ставшая первой организацией почвоведов. В 1889 году была создана комиссия под председательством Докучаева для всестороннего научного исследования Санкт-Петербурга и его окрестностей. В 1889—90 Докучаев был секретарём оргкомитета VIII съезда естествоиспытателей и врачей в Санкт-Петербурге. В 1895 году Докучаев организовал Бюро по почвоведению при Учёном комитете Министерства земледелия и государственных имуществ, получено согласие на подготовку новой почвенной карты (закончена в 1900 году Н. М. Сибирцевым, А. Р. Ферхманом и Г. И. Танфильевым). В 1889 году он отправил на Всемирную выставку в Париже свою почвенную коллекцию, за которую отделу русских почв выставки была присуждена золотая медаль, а Докучаеву — орден «За заслуги по земледелию». Период с 1887 по 1900 годы становится в жизни В. В. Докучаева чрезвычайно плодотворными. Около четверти всех публикаций Докучаева приходится на это время. В этот же период Докучаев проводит экспедиции на Кавказ, в Бессарабию и Среднюю Азию. В 1899 года он публикует статью «О зональности в минеральном царстве» и брошюру «К учению о зонах природы», в которых, основываясь на установленной зависимости почв от факторов их формирования, распространяет закон зональности, открытый для животного и растительного мира ещё А. фон Гумбольдтом, на почвы и вообще «все четвертичные образования». Им была также задумана книга «О соотношении между живой и мёртвой природой», для которой он успел написать лишь главу «Место и роль современного почвоведения в науке и жизни». После тяжёлой и продолжительной болезни В. В. Докучаев скончался в 1903 году. Похороны состоялись 29 октября (11 ноября), на них присутствовали А. П. Карпинский, Д. И. Менделеев, А. А. Иностранцев, многочисленные друзья и ученики Докучаева, студенты, делегаты от многих учебных заведений. Памяти Докучаева было посвящено более 100 публикаций в прессе 1903—1904 годов.

Павел Андреевич Костычев (1845 - 1895)

Выдающийся российский почвовед, агроном, микробиолог и геоботаник, один из основателей современного почвоведения; отец микробиолога, биохимика, физиолога растений Сергея Костычева.

Родился в семье крепостных крестьян в д. Карнаухово Шацкого уезда (ныне Шацкий район Рязанской области). Помещик решил воспитать из Костычева приказчика и отдал его в Шацкое уездное училище, которое тот закончил в 1860 году. После окончания Московской земледельческой школы (1864) уехал продолжать обучение в земледельческом институте Петербурга и окончил его в 1869 году.

Вместо службы у бывшего помещика Костычев решил заняться научной деятельностью. В 1875 году он приступил к экспериментальной проверке теории Л. Грандо, попытавшегося вновь поставить вопрос о гумусовом питании растений, и вскоре её опроверг. С 1876 года преподавал в СПбГУ, стал профессором.

В 1877 году подключился к деятельности Вольного экономического общества по химическому изучению чернозёмов, организовал в 1878 году первую в России агрохимическую лабораторию. В 1881 году защитил магистерскую диссертацию «Нерастворимые фосфорнокислые соединения почв». На следующий год был командирован в Германию и Францию для изучения прививок от сибирской язвы, работал в лаборатории Луи Пастера, что побудило его заняться почвенной микробиологией.

Выступал оппонентом В. В. Докучаева. Свои взгляды на почвообразование изложил в книге «Почвы чернозёмной области России, их происхождение, состав и свойства» (1886).

По Костычеву, чернозём есть производная от распространения и физиологии высших растений, роль остальных факторов, предложенных Докучаевым, особенно климата, он приносил. Важной заслугой Костычева явилось открытие роли почвенных микроорганизмов в разложении растительных остатков и формировании гумуса.

С 1885 года П.А. Костычев работал в Министерстве земледелия и государственных имуществ, а в 1894 году стал директором департамента земледелия.

Основные работы:

Посев полевых растений и употребляемые при нём машины и орудия (в соавторстве с В. Черняевым) (1881). Нерастворимые фосфорнокислые соединения почв (1881).

Общедоступное руководство к земледелию (1884). Учение об удобрении почв (1884).

Учение о механической обработке почв (1885). Почвы чернозёмной области России, их происхождение, состав и свойства (1885). Возделывание важнейших кормовых трав (1886).

Обработка и удобрение чернозёма (1892).

Николай Михайлович Сибирцев (1860 – 1900)

Российский почвовед, профессор, ученик и последователь В.В. Докучаева. Написал первый учебник почвоведения, систематизировал и развил учения Докучаева о почве. Первоначальное образование получил в архангельской духовной семинарии. По окончании, в 1882 году, курса наук в Санкт-Петербургском университете, по естественному факультету, принял участие в геолого-почвенном исследовании Нижегородской губернии, под общим руководством профессора В.В. Докучаева. С 1885 по 1892 год заведовал нижегородским земским естественно-историческим музеем, причем вел (вместе с Н.А. Богословским) почвенную часть в оценочно-статистическом исследовании той же губернии, составляя, между прочим, первые в России 2-х и 3-х верстные поездные почвенные карты. Одновременно, по поручению геологического комитета, производил геологические исследования в восточной части Владимирской

губернии. В 1892 и 1893 годах участвовал в работах так называемой "Особой степной экспедиции лесного департамента". С 1894 года занимает кафедру почвоведения в Новоалександрійском институте сельского хозяйства и лесоводства.

Основные работы:

Об основаниях генетической классификации почв (1895). Классификация почв в применении к России (1895). Окскоклязминский бассейн (геологические исследования, 1896). "Etude des sols de la Russie" (1897). Краткий обзор главнейших почвенных типов России (1898). Почвоведение (части I – III. Курс, читанный в Новоалександровском институте, 1898 - 1899).

Константин Дмитриевич Глинка (1867 – 1927)

Российский и советский геолог и почвовед, первый почвовед академик АН СССР (1927). По окончании курса в Санкт-Петербургском университете был оставлен в 1889 году по кафедре минералогии и геологии и в том же году назначен хранителем минералогического кабинета. В 1894 году командирован в Новоалександрійский институт сельского хозяйства и лесоводства ассистентом по кафедрам минералогии и геологии. В 1895 году был назначен адъюнкт-профессором по минералогии. В 1901 году, после смерти профессора Сибирцева, перешёл на кафедру почвоведения. Почвенными исследованиями начал заниматься под руководством В.В. Докучаева. Принимал участие в экспедициях и работах в Полтавской, Псковской, Смоленской и Келецкой губ. Степень доктора получил в Санкт-Петербургском университете в 1906 году.

К.Д. Глинкой написан фундаментальный учебник почвоведения, опубликованный в 1908 г. и вышедший в 6 изданиях.

С 1913 года директор Воронежского сельского хозяйства института. Возглавляет естественно-исторические исследования Воронежской губ. и Азии. С 1922 года ректор Сельскохозяйственного института в Петрограде. Одновременно возглавлял Отдел почвоведения Государственного института опытной агрономии.

В 1927 году становится первым почвоведом академиком АН СССР и возглавляет Почвенный институт имени В. В. Докучаева.

Летом 1927 года посетил первый Международный конгресс почвоведов в Вашингтоне.

Основные работы:

Исследования в области процессов выветривания, СПб, 1906.

Почвы России и прилегающих стран. М — П, 1923.

Деградация и подзолистый процесс. Ж. «Почвоведение», 1924, № 3—4; Почвоведение, 6 изд., М: 1935.

Константин Каэтанович Гедройц (1872-1932)

Известный русский и советский почвовед-агрохимик, основоположник коллоидной химии почв, академик АН СССР. В 1898 году окончил Санкт-Петербургский Лесной институт; в 1903 году — естественное отделение физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета, сдав экзамен экстерном. В 1900—1915 годах работал в сельскохозяйственной химической лаборатории Министерства земледелия под руководством П. С. Коссовича. Явился одним из основателей и многолетним руководителем агрохимического отдела Носовской сельскохозяйственной опытной

станции на Украине (1918—1930). В 1918—1928 годах работал научным сотрудником в почвенной химической лаборатории Почвенного института АН СССР (который до 1934 года находился в Ленинграде); в 1928—1930 годах — являлся его директором. Одновременно в период с 1918 по 1930 год был профессором петроградского Лесного института, а затем руководителем кафедры почвоведения этого же института. В январе 1929 года присвоено звание академика АН СССР по Отделению физико-математических наук (почвоведение, агрономическая химия). В 1930 году присвоено звание академика Академии наук УССР. Также являлся членом-корреспондентом Чехословацкой земледельческой академии.

Наиболее важны исследования К. К. Гедройца в области коллоидной химии почв. Он разработал учение о почвенных коллоидах и их роли в образовании почвы и её плодородии. Гедройц открыл т. н. «почвенный поглощающий комплекс» — совокупность высокодисперсных минеральных, органо-минеральных и органических частиц, обладающих ионнообменной способностью. Для почвы характерно преобладание отрицательного поверхностного заряда, поэтому её способность катионов выражена ярче, чем для анионов. Обменные катионы, находящиеся на поверхности почвенных частиц, обуславливают такие свойства почвы, как её структура, рН и солевой состав почвенного раствора, её способность к поддержанию роста растений, а также влияют на динамику многих почвенных процессов.

Гедройц разработал принципы новой классификации почв, основанной на составе их обменных катионов. Им было предложено деление всех почв на насыщенные и ненасыщенные основаниями, а также выделено четыре главных почвенных типа: латеритный, подзолистый, чернозёмный и солонцовый. Гедройц объяснил природу солонцеватости почв, установив, что свойства солонца обусловлены находящимся в ППК ионом натрия. Им была предложена схема эволюции почв засоленного ряда, включающая стадии солончака, солонца и солоди. Изучение поглощающего комплекса и законов ионного обмена позволило Гедройцу подвести точную количественную базу под способы химической мелиорации почв: гипсование и известкование. Им было создано значительное количество методов химического анализа почв.

Основные работы:

Химический анализ почвы. 4-е изд., стереотип. — М - Л: Ленсельхозгиз, 1935. Избранные сочинения. В 3-х тт. Под общ. ред. Н. П. Ремезова. Т. 1. Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. — М: Сельхозгиз, 1955. Т. 2. Химический анализ почвы. — М: Сельхозгиз, 1955. Т. 3. Применение удобрений, мелиорация почв и вегетационные опыты. — М: Сельхозгиз, 1955. Избранные научные труды. — М: Наука, 1975.

Василий Робертович Вильямс (1863 - 1939)

Известный русский и советский почвовед-агроном, академик АН СССР (1931), АН БССР (1929), ВАСХНИЛ (1935). Один из основоположников агрономического почвоведения. Выпускник Петровской сельскохозяйственной академии. Учёный-педагог: профессор и заведующий кафедрой общего земледелия и почвоведения Московской

сельскохозяйственной академии им. Тимирязева, её директор с 1907 года, ректор в 1922—1925 гг. Основатель и первый заведующий кафедрой «Основы земледелия и растениеводства» Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства. Автор около 450 научных работ.

Обосновал ведущую роль биологических факторов в почвообразовании, создал учение о малом биологическом круговороте веществ как основе развития почв, высказал идею о единстве развития неорганической и органической природы, разработал и обосновал травопольную систему земледелия. Вильямс считал, что свойством плодородия обладает лишь мелкоструктурная комковатая почва и что структура почвы — это главное условие получения хороших урожаев.

Основные труды: Собрание сочинений. Т. 1-12. М: 1948-1953.

Леонид Иванович Прасолов (1875 - 1954)

Советский географ, геолог и почвовед, профессор, академик АН СССР. Директор Почвенного института имени В. В. Докучаева (1937—1948), член Русского географического общества (с 1915 года). Лауреат Сталинской премии II степени.

После окончания учёбы в гимназии учился в Петербургском университете на естественном отделении физико-математического факультета. Специализировался по почвоведению у профессоров Василия Васильевича Докучаева и Петра Андреевича Земятченского.

С 1906 года Леонид Иванович проводил почвенные исследования в Ставропольской губернии, в 1908 году возглавил почвенно-географические работы в экспедициях в пределах Средней Азии, восточной части Казахстана, Сибири, Забайкалья и в других регионах. В результате были получены ценные материалы, характеризующие земельные фонды новых районов сельскохозяйственного освоения. Опубликованы данные исследования были в 1926 году.

С 1922 года — руководитель почвенных исследований в поймах реки Волхов и озера Ильмень при Отделе изысканий Волховстроя.

С 1926 года непрерывно работал в Почвенном институте АН СССР им. В.В. Докучаева. С 1928 года по 1932 год — ученый специалист Ленинградского отделения Института земледелия и агропочвоведения ВАСХНИЛ.

31 января 1931 года был избран членом-корреспондентом, а 1 июня 1935 года — действительным членом (академиком) Академии наук СССР по Отделению математических и естественных наук (геология и почвоведение). В 1937 году возглавил Почвенный институт.

В 1945 году возглавил Всесоюзное общество почвоведов. С 1946 года по 1949 год занимал должность академика-секретаря Отделения геолого-географических наук Академии наук СССР.

Активно занимался составлением почвенных карт, учетом и оценкой земельных фондов и почвенному районированию территории СССР в целях землеустройства. Его работы были посвящены генезису, географии, картографии и классификации почв.

Л.И. Прасолову удалось разработать учение о почвенных провинциях, предложил основные принципы почвенно-географического районирования, изучил вопросы происхождения и географии особого типа бурых лесных почв на Кавказе и в Крыму, им впервые были проведены подсчёты почвенных ресурсов мира и отдельных стран.

Прасолов и его сотрудники составили множество почвенных карт СССР, а также почвенную карту мира.

Никодим Антонович Качинский (1894-1976)

Известный русский советский учёный-лесовод, почвовед и агрохимик. Окончил Петровскую сельскохозяйственную академию (1922). Доктор геолого-минералогических наук (1935). Профессор (1930). Заведующий кафедрой физики и мелиорации почв факультета почвоведения (1973–1976). Заведующий кафедрой физики и мелиорации почв биологического/биолого-почвенного факультета (1953–1973). Профессор кафедры почвоведения (1938–1943), заведующий кафедрой мелиорации почв/физики и мелиорации почв (1943–1949) геолого-почвенного факультета. Профессор кафедры почвоведения почвенно-географического факультета (1933–1938). Работал в МГУ с 1923 г.

Основные работы:

Материалы к выяснению вопроса о структуре почвы (1933). Методы механического и микроагрегатного анализа почвы (1943). Происхождение и жизнь почвы (1945). Опыт агрофизической характеристики почв на примере Центрального Урала (соавт. 1950). Почва, её свойства и жизнь (1951). Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения (1958). Структура почвы. Итоги и перспективы изучения вопроса (1963). Учебник «Физика почвы» (Ч. 1 – 1965, Ч. 2 – 1970). Агрономия и почвоведение в Московском университете за 200 лет. 1755–1955. Краткая история (1957). Агрономия и почвоведение в Московском университете за 200 лет. 1770–1970 (1970). Сконструировал 14 приборов и предложил ряд методов для изучения физических и физико-механических свойств почвы.

Мария Альфредовна Глазовская (1912)

Российский, советский почвовед, геохимик-ландшафтовед. Заслуженный профессор МГУ, почётный член Русского географического общества и Докучаевского общества почвоведов, почётный профессор Варшавского университета и почетный доктор Софийского университета. Занимала посты вице-президента Всесоюзного общества почвоведов, члена-корреспондента Международной комиссии по использованию земель, члена консультативного комитета ФАО-ЮНЕСКО.

Родилась в семье петербургского врача. В 1929 г. окончила среднюю школу в г. Колпино под Ленинградом и поступила в Ленинградский сельскохозяйственный институт, откуда через год перевелась на геолого-почвенно-географический факультет Ленинградского государственного университета.

Окончила университет в 1934 г. по специальности «Почвоведение» и была оставлена в аспирантуре Географо-экономического научно-исследовательского института при ЛГУ. В 1937 г. защитила диссертацию на соискание учёной степени кандидата географических наук. После защиты работала ассистентом на кафедре географии почв Географического факультета ЛГУ и активно участвовала в экспедициях Почвенного института им. В. В. Докучаева АН СССР.

С 1939 по 1952 г. жила в Алма-Ате, заведовала сектором генезиса почв Института почвоведения АН Казахстана, преподавала почвоведение и географию почв в Казахском педагогическом институте. В 1952 г. переехала в Москву, где в том же году защитила докторскую диссертацию на тему «Внутренний Тянь-Шань как горная страна Центральной Азии». С 1952 года — доцент, с 1954 г. — профессор, в 1956–1959 г. —

заведующая кафедрой физической географии СССР, в 1959—1987 — заведующая, а с 1987 г. и до настоящего времени профессор-консультант кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ.

В Московском университете на географическом факультете ею созданы и в течение многих лет читались лекционные курсы: «Основы почвоведения и география почв», «Почвы мира», «Геохимия ландшафтов СССР», «Геохимические функции микроорганизмов», «Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР».

Основные работы:

Основы почвоведения и география почв. М: Географгиз, 1960 (в соавт. с И.П. Герасимовым). Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М: 1964. Почвы мира. М: т.1 1972; т.2, 1973. Общее почвоведение и география почв. М: 1983. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М: 1988. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М: 1997. География почв с основами почвоведения. М: 1995; 2005 (в соавт. с А.Н. Геннадиевым). Педолитогенез и континентальные циклы углерода. М: 2009.

Всеволод Всеволодович Добровольский (1924)

Советский и российский ученый, доктор географических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заложивший научное направление на стыке геохимии, почвоведения и географии и создавший научную школу биогеохимии рассеянных элементов.

После окончания школы В.В. Добровольский учился на геолого-почвенном факультете МГУ (1942-1943), а затем на геологоразведочном факультете Московского нефтяного института (1943-1945). Будучи студентом ознакомился с трудами В.И. Вернадского, которые произвели на него огромное впечатление и определили его дальнейший путь в науке. Одновременно с учебой В.В. Добровольский работал в качестве лаборанта в институте геологических наук Академии наук СССР. В 1945 году он по политическим мотивам был репрессирован и затем прошел весь трудный путь по «архипелагу Гулаг» вплоть до Колымы. После суровых испытаний как специалист он был направлен в только что организованный в Магадане научно-исследовательский институт золота и редких металлов (ВНИИ-1 МВД), где уже работала группа заключенных ученых-геологов, и несколько лет изучал особенности геохимии и минералогии зоны гипергенеза рудных месторождений Колымо - Индигирского края.

После освобождения В.В. Добровольский несколько лет работал на инженерно-геологических изысканиях в Воронежском филиале проектного института «РОСГИПРОСОВХОЗСТРОЙ», попутно изучая геохимию и минералогию почв и четвертичных отложений степной зоны России.

В 1956 году В.В. Добровольский был реабилитирован и получил возможность вернуться в Москву; в 1957 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Минералогия и геохимия новообразований из четвертичных отложений Центрально-Русской лесостепи», и был приглашен в группу по разработке геохимических методов поисков месторождений руд редких металлов (Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья (ВИМС)). Активно включившись в эту работу, В.В. Добровольский обосновал необходимость изучения геохимии ореолов рассеяния месторождений с учетом ландшафтно-геохимических условий их нахождения. На полученных данных он показал важное значение сравнительно-географического подхода,

дающего возможность из множества геохимических показателей, обнаруживаемых при исследованиях, выделить зональные, связанные с биоклиматическими факторами; региональные, обусловленные составом местных горных пород, и ландшафтно-геохимические, отражающие характер процессов геохимического сопряжения.

В 1959 году В.В. Добровольский переходит на педагогическую работу и избирается на должность доцента кафедры физической географии Московского педагогического института. Здесь им создана научно-исследовательская лаборатория геохимии ландшафта. Огромный материал, полученный в результате многолетних исследований в разных природных зонах Европейской части СССР, Западной Сибири, Казахстана и Средней Азии, был положен в основу докторской диссертации В.В. Добровольского на тему "Гипергенез четвертичного периода и его географические аспекты", успешно защищенной в 1964 году в МГУ.

В 1966 году В.В. Добровольский был утвержден в ученое звание профессора, а в 1968 году на географическом факультете МГПИ на базе лаборатории геохимии ландшафта и кафедры геологии была организована кафедра геологии и геохимии ландшафта, которую он возглавил. В.В. Добровольский - один из пионеров изучения микроморфологии почв в нашей стране. Он провел очень большую работу по сравнительному изучению минеральной части почв и состава покровных четвертичных отложений, проанализировал многие сотни образцов пород, на которых сформированы почвы и которые служат литогенной основой современных ландшафтов. В процессе указанных исследований он обнаружил ранее неизвестное явление гипергенного метасоматоза.

В.В. Добровольский одним из первых среди почвоведов и геохимиков обратил внимание на важное значение азральной миграции рассеянных элементов и особенно тяжелых металлов для их распределения в системе почва - растения. На основании полученных данных он разработал представления о циклическом массообмене тяжелых металлов в биосфере и положил начало изучению механизма регулирования почвой масс металлов, поступающих в миграционные циклы. Эти теоретические разработки нашли отражение в его монографии «Biogeochemistry of the World's Land» (1994), опубликованной в США. За исследования в области биогеохимии рассеянных элементов В.В. Добровольский был в 1998 году удостоен Российской Академии наук золотой медали им. В.И. Вернадского.

Научная работа В.В. Добровольского неразрывно связана с его педагогической деятельностью. Он более 40 лет заведовал кафедрой геологии и геохимии ландшафта на географическом факультете Московского педагогического государственного университета, где он читал лекции по географии почв, минералогии и петрографии. Одновременно он вел спецкурс «Кора выветривания» на географическом факультета МГУ, читал избранные лекции в университетах Польши, Болгарии, Венгрии, Кубы. Его учебник «География почв с основами почвоведения», по которому занимались многие поколения студентов, выдержал 5 изданий, учебник «Основы биогеохимии» - 2 издания, последнее в 2003 г. В 2003 году его комплект учебников отмечен премией правительства Российской Федерации в области образования.

География исследований В.В. Добровольского обширна - это страны юго-восточной Европы, Закавказье, Причерноморье, североευропейская территория СССР, прибрежные районы Баренцева моря, районы Средней Азии, Восточная Африка, Шпицберген, пустыня Гоби и др., а научная школа В.В. Добровольского пользуется авторитетом и признанием в нашей стране и за ее границами.

Огромный материал всех упомянутых выше исследований обобщен им в монографии «География микроэлементов. Глобальное рассеяние» (1983 г.). За этот труд В.В. Добровольскому была присуждена золотая медаль Русского географического общества. Результаты изучения тропических почв и кор выветривания были опубликованы в коллективных монографиях: «Геохимия тропических и субтропических

почв и ландшафтов» (1973 г.) и «Восточно-Африканская рифтовая система» (1974 г.), а исследования продолжены на Кубе в 1977 г. и на Сейшельских островах в 1984 г.

Библиографический список (упорядоченный и дополненный 5.04)

1. Ананьев В. П., Потапов А. Д. Инженерная геология. М: Высшая школа, 2007. – 575 с.
2. Аплонов С. В. Геодинамика. СПб: изд-во СПб ГУ, 2001. – 360 с.
3. Белобров В.П., Замотаев И.В., Овечкин С.В. География почв с основами почвоведения. Учеб. пособие для вузов. М: Издательский центр «Академия», 2004. - 350 с.
4. Болт Б. А., Хорн У. Л., Макдоналд Г. А., Скотт Р. Ф. Геологические стихии. Под ред. Н. В. Шебалина. Пер. Б. А. Борисова. М: Изд-во Мир, 1978. - 440 с.
5. Вальков А. Ф. Почвоведение. Учебник для вузов/А.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. М.: ИКЦ МарТ, 2004.
6. Гаврилов В. П. Геотектоника. М: изд-во Нефть и газ, 2005. – 368 с.
7. Гришин В. А. Динамика берегозащитных сооружений. // Сб. научных трудов. Вестник Одесского национального морского университета. № 29, 2009.
8. ГОСТ 25100-95 (2011). Грунты. Классификация. М: 1995 (2011).
9. Грунтоведение. / Трофимов В. Т., Королёв В. А., Вознесенский Е. А. и др. Под ред. Трофимова В. Т. 6-е изд., переработ. и доп. М: Изд-во Наука, 2005. - 1024с.
10. Дашко Р. Э. Микробиота в геологической среде: её роль и последствия. //Сергеевские чтения. Мат-лы годичной сессии науч. Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23-24 марта 2000 г.). М: ГЕОС, 2000. с. 72-77.
11. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. Учебник для вузов. М.: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 1999. – 383 с.
12. Добровольский В.В. Практикум по географии почв с основами почвоведения: Учеб. пособие для вузов. – М: Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2001. - 143 с.
13. Емельянова Т. Я. Инженерная геодинамика. Томск. Изд-во ТПИ, 2009. - 134 с.
14. Захаров М.С. Инженерно-геологическое районирование СССР. Учебное пособие. СПб: изд. ЛГИ, 1991. – 63 с.
15. Захаров М. С., Неизвестнов Я. В. Инженерная геология горно-складчатого обрамления Восточно-Европейской платформы. Урало-Пайхойско-Новоземельский пояс. Текст лекций. Л: изд. ЛГИ, 1987. – 66 с.
16. Иванов И. П., Тржицинский Ю. Б. Инженерная геодинамика. СПб: Изд-во Наука, 2001. – 416 с.
17. Инженерная геология СССР в 8-ми томах. М: изд. МГУ, 1978.
- 17а – т. 1. Русская платформа; 17б – т. 2. Западно-Сибирская низменность; 17в – т. 3. Восточная Сибирь; 17г - т. 4. Дальний Восток; 17д – т. 5. Алтай, Урал; 17ж – т. 8. Кавказ, Крым, Карпаты.
18. Инженерная геология СССР. Алтае-Саянский и Забайкальский регионы. М: Недра, 1990. – 375 с.

19. Инженерная геология России. Том.1. Грунты России. / Под ред. В. Т. Трофимова, Е. А. Вознесенского, В. А. Королёва. М: КДУ, 2011. – 672 с.
20. Качинский Н.А. Почва, ее свойства и жизнь. – М.: Наука, 1975. – 290 с.
21. Кирюхин В. А. Общая гидрогеология. СПб: Изд-во СПб ГГИ им. Г.В.Плеханова, 2008. - 439с.
22. Короновский Н. В. Общая геология. М: КДУ, 2006. – 528 с.
23. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л: Недра, 1977. - 479 с.
24. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л.: Недра. 1984. - 527с.
25. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной геологии. Научные редакторы Н. Г. Чочиа, А. И. Коротков. СПб: Изд-во СПб ГГИ им. Г. В. Плеханова, 1999. - 360 с.
26. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. 2-е изд, перераб. и доп. М: Недра, 1980. –272 с.
27. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. М: Госстройиздат, 1962. – 283 с.
28. Мироненко В.А., Динамика подземных вод. М: Из-во МГУ, 2001. - 519с.
29. Мироненко В. А., Норватов Ю.А. и др. Руководство по дренированию карьерных полей. Л.: Изд-во ВНИМИ, 1968-1970. - 556с.
30. Морская геоморфология. Терминологический справочник. М: Мысль, 1980. - 280 с.
31. ОСР-97. Комплект карт общего сейсмического районирования России. М: 1998.
32. Передельский Л.В., Приходченко О.Е. Инженерная геология. Ростов – на – Дону. Изд-во Феникс, 2006. – 448 с.
33. Петров Н.С. Водоснабжение и инженерная мелиорация. СПб: Из-во СПб ГГИ им. Г. В. Плеханова, 2005. – 60 с.
34. Почвоведение / И.С. Кауричев, Л.Н. Александрова, И.П. Гречин и др.; Под ред. И.С. Кауричева. М: Колос, 1982.
35. Почвоведение Ч. 1,2. / Под ред. В.А. Ковды и Б.Г. Розанова. М: Высшая школа, 1988.
36. Приклонский В. А. Грунтоведение. Часть 1. 3-е изд. М: Госгеолтехиздат, 1955. 430 с.
37. Проектирование фундаментов зданий и наземных сооружений: Учеб. пособие // Под ред. Долматова Б. И. 3-е изд. М: СПб: Изд-во АСВ СПб ГАСУ, 2006. – 428 с.
38. Пушаровский Ю. М., Пушаровский Д. Ю. Геосферы мантии Земли. Ж. Геотектоника, 1999, №1. с. 3-14.
39. Роде А.А. Почвоведение: Учебник для вузов / А.А. Роде, В.Н. Смирнов. М: Высшая школа, 1972.
40. Розанов Б.Г. Морфология почв: Учебник для высшей школы. – М: Изд. Академический Проспект, 2004. - 430 с.

41. Соколов В. Н. Проблема лёссов. / Соровский образовательный журнал, №9, 1996.
42. Солодухин М. А., Архангельский И. В. Справочник техника-геолога по инженерно-геологическим и гидрогеологическим работам. М: Недра, 1982. – 283 с.
43. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. М: Госстрой, 1996.
44. СНиП 2.02.04-88 (актуализация 10.01.2008). Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М: Госстрой СССР, 1990.
45. СНиП II-7-81 (актуализированная редакция СП 14.13330.2011). Строительство в сейсмических районах. М: Стройиздат, 1982.
46. СНиП 11-02-96 (актуализированная редакция СП 47.13330.2012). Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М: Госстрой, 2012.
47. СП 11-105-97 (в 6-и частях). Инженерно-геологические изыскания. М: Госстрой, 1998.
48. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02-1-83*). М: Госстрой, 2011.
49. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Электронный фонд правовой и научно-технической информации ([www. docs.cntd.ru](http://www.docs.cntd.ru)).
50. Трофимов В.Т. Инженерная геология массивов лёссовых пород. М: изд. Кн. Дом МГУ, 2007. – 398 с.
51. Усенков М.С. Прибрежно-морской морфоседиментогенез. СПб: Изд-во СПбГУ, 2005. - 120 с.
52. Фадеев А. Б. Инженерная геология и гидрогеология. Уч. Пособие. СПб: Изд. СПб ГАСУ, 2004. – 144 с.
53. Фролов А.Ф., Коротких И. В. Инженерная геология. М: Недра, 1990. – 412 с.
54. Черноусов С. И. Инженерная геология для транспортных строителей. Новосибирск. Изд-во Сиб. ГУПС, 2012. - 290 с.
55. Эйби Дж. А. Землетрясения. М: Недра, 1982. – 264 с.

Краткий словарь терминов по общей геологии, инженерной геологии и гидрогеологии

Артезианские (напорные) воды - межпластовые воды крупных платформенных структур, обладающие избыточным давлением, благодаря которому пьезометрическая поверхность уровней подземных вод поднимается выше кровли водоносного горизонта

Астеносфера (астенос, греч. - слабый) – предполагаемый слой мантии, подстилающий литосферу, способный к вязкому или пластическому течению под действием малых напряжений, позволяющий путём медленных движений создавать условия гидростатического равновесия

Базис денудации – условный уровень поверхности рельефа, где происходит смена процессов смыва и переноса рыхлых продуктов выветривания горных пород на процессы аккумуляции материала, сносимого с вышележащих элементов рельефа

Базис эрозии – уровень бассейна, в который впадает водный поток, где он теряет живую силу и где практически прекращается эрозионный процесс – размыв дна. Б. Э. может быть местным (для данного потока), региональным (для водосборного бассейна) и общим (для бассейнов суши – уровень Мирового океана)

Биотоп – область (территория) с однотипными экологическими условиями существования определённых организмов или их сообществ

Бурение – процесс сооружения скважин. Распространённый вид разведочных работ при инженерно-геологических изысканиях

Бескабельная система зондирования – вид статического зондирования, когда электрические сигналы от датчиков зонда трансформируются в акустические и передаются по штангам зонда на микрофон, расположенный на оголовке зонда, где они преобразуются в аналоговые сигналы сопротивлений (лобовые, трения, порового давления и др.)

Вечномерзлый грунт – порода с отрицательной температурой, содержащая лёд

Водонепроницаемые (водоупорные) породы – породы, обладающие свойством не пропускать через себя воду при существующих напорах в рассматриваемых условиях

Водоносный горизонт (элементарная гидрогеологическая структура) – слой или несколько слоёв водопроницаемых горных пород, сравнительно выдержанных по простиранию, пустоты, поры и трещины которых полностью заполнены свободной (гравитационной) водой

Водоотдача - способность горной породы изменять содержание влаги, частично отдавая свободную или связанную воду под влиянием внешних физических факторов

Водоносный комплекс – гидрогеологическая структура, объединяющая несколько водоносных слоёв с различными величинами напоров, как в плане, так и в разрезе

Воксел – элемент объёмного изображения в трёхмерном пространстве

Гамма-квант - единица измерения гамма-излучения, фотон с высокой энергией, испускаемый ядром атома

Геоид – геометрически сложная поверхность равных значений потенциала силы тяжести, совпадающая с невозмущённой поверхностью Мирового океана и продолженная под континентами

Геологическая среда – верхняя часть литосферы, находящаяся в тесном взаимодействии с внешними и внутренними сферами планеты и используемая человеком в своей хозяйственной деятельности

Геологическое тело – часть статического геологического пространства, ограниченная границей внутри которой остаются непрерывными те свойства, которые были использованы для проведения границы

Геотоп – в расширительном толковании часть природной среды, объединяющая литосферу, атмосферу и гидросферу. В узком смысле – это географические достопримечательности.

Геофизические исследования – методы исследования, основанные на использовании физических свойств пород (электрических, магнитных, упругих, радиоактивных, тепловых и др.)

Геофильтрационный профиль – геологический разрез с нанесёнными на него характеристиками фильтрационных свойств пород (например, удельного водопоглощения)

Геохронология (абсолютная) – раздел современной геохимии, охватывающий вопросы измерения геологического времени

Гидрограф – график изменения расходов и уровня воды за год или часть года

Гидростатический напор - определяется как сумма возможной высоты подъема воды над заданной точкой при оборудовании в ней наблюдательной скважины и высоты расположения этой точки над условной горизонтальной плоскостью, которая, обычно, соответствует положению уровня Мирового океана (см. гл. 3, рис.3.2)

Гипоцентр землетрясения – центральная область в теле Земли, называемая очагом землетрясения, где внезапно освобождается значительное ($10^3 - 10^{18}$ Дж) количество энергии, вызывающей короткопериодные колебания земной поверхности

Главный инженер проекта – специалист, отвечающий за разработку проекта. Старший технический специалист в проектировании (Chief Project Engineer)

Градиент геотермический – прирост температуры горных пород в °С на каждые 100 м углубления от зоны постоянных температур, находящейся вблизи поверхности Земли. В среднем составляет 3 °С (см. ступень геотермическая)

Градостроительный кодекс РФ – законодательный и нормативный документ (ФЗ № 190 от 29.12.2004), определяющий строительную деятельность во всех аспектах нового строительства, реконструкции, капитального ремонта с соблюдением Технического регламента по безопасности капитального строительства, требований охраны окружающей среды и экологической безопасности.

Грунтовая карта – разновидность инженерно-геологических карт, связанная с выбором фундаментов, инженерной подготовкой территории и производством земельных работ (см. гл. 5, рис.5.3)

Грунтовые воды - залегают на ближайшем к земной поверхности водоупорном слое горных пород и формируют самый верхний постоянно существующий водоносный горизонт

Грунтонос – техническое устройство в виде цилиндрической гильзы, позволяющее отбирать пробы и монолиты пород/грунтов из горных выработок (см. гл.5, рис. 5.6)

Демпфирование (нем., глушить) – гашение нежелательных колебаний в механических, электрических и других системах

Деформационная характеристика породы/грунта – параметр породы/грунта, устанавливающий соотношение напряжённого состояния породы/грунта и её деформации

Дешифрирование – процесс распознавания: объектов, их свойств и взаимосвязей по их изображениям на снимках (см. гл.5, рис.5.2)

Дилатометрия (дилатометр) – испытательный прибор, фиксирующий зависимость давления контакта породы/грунта и перемещения (деформацию) стенки скважины (см. гл.5, рис. 5.22)

Динамика (греч., относящийся к силе, сильный) – раздел механики, изучающий движение тел в зависимости от действующих на них сил

Динамическое зондирование – процесс ручной или механической забивки зонда, снабжённого конусным наконечником. Рекомендуется для исследования плотности сложения обломочных пород/грунтов (см. гл.5, рис. 5.32)

Динамометрический ключ – измерительный торсионный прибор для замера крутящих моментов ($H \cdot m$) при крыльчатом зондировании пород/грунтов (см. гл.5, рис.5.25)

Дислокации дизъюнктивные - общее название многих видов тектонических нарушений, сопровождаемых перемещением разорванных частей геологических тел относительно друг друга

Дислокации пликативные – деформации, приводящие к возникновению изгибов горных пород разного масштаба и формы

Домкрат – гидравлическое или механическое устройства для поднятия различных грузов и приложения нагрузок при испытаниях пород/грунтов

Друмлины (ирл. drumlin- холм) – холмы продолговато- овального очертания, сложенные моренным материалом. Встречаются группами перед внутренним краем гряд конечных морен в краевой части области активного оледенения (см. гл.4, рис. 4.13)

Залог ударов (при динамическом зондировании) – нормативное количество ударов (обычно 10), устанавливаемое при производстве динамического зондирования, соответствующее фиксируемой глубине погружения зонда

Зандры (дат. sandur – песок) – пологоволнистая равнина, расположенная перед внешним краем конечных морен. Сложены слоистыми осадками ледниковых вод: галечниками, гравием, песками, являющимися продуктами перемыва морены (см. гл.4, рис. 4.13)

Земная кора – в настоящее время подразумевается сиалическая оболочка Земли, располагающаяся выше раздела Мохо

Зона аэрации – приповерхностная зона горных пород выше уровня грунтовых вод, распространяющаяся от поверхности земли до уровня капиллярного насыщения или увлажнения, непосредственно связанная с атмосферой

Зона сезонного промерзания – приповерхностная зона горных пород зимнего промерзания и летнего оттаивания.

Зонд (от голландского слова “zond” – «посланный») – измерительное устройство или его элемент, иногда в значении *датчик*. В инженерно-геологических изысканиях устройство, внедряемое в породы/грунты для изучения их состояния и свойств

Ил – современный осадок, образовавшийся в результате накопления мелко- и тонкозернистого материала на дне современных озёр, морей, лагун, водохранилищ или на поймах рек

Инженерные изыскания – научно-производственный процесс получения, обработки и передачи геопространственной информации, необходимой для проектирования и строительства различных сооружений и производства инженерных работ

Инвестиционно-строительный цикл – процесс создания строительных объектов от замысла до момента начала эксплуатации

Инженер- геолог – специалист в области инженерной геологии (ИГ – наука о формировании и изменении инженерно-геологических условий территорий, о геологических условиях строительства и эксплуатации сооружений, о рациональном использовании геологической среды и её охране, В. Д. Ломтадзе, 1999)

Инженерно-геологическая карта – тематическое изображение на плане местности выходов различных комплексов пород/грунтов или отображение пространственного распределения различных характеристик инженерно-геологических условий

Инженерно-геологическая модель – искусственно созданный образец, макет, специальное устройство, вещественная конструкция, схема, карта, блок-диаграмма, математическое уравнение, воспроизводящее объекты или явления, изучаемые в инженерной геологии. (см. гл.5, моделирование как метод познания...)

Инженерно-геологическая разведка – комплекс работ и исследований, выполняемых для обоснования проекта и разработки рабочей документации

Инженерно-геологическая структура – модель строения массива пород/грунтов, в которой элементами являются геологические тела, выделенные и прослеженные в пространстве по общности характеристик состава состояния и свойств

Инженерно-геологическая съёмка – метод площадного изучения инженерно-геологических условий, сопровождаемый составлением инженерно-геологических карт различных масштабов (см. учебное пособие по инженерно-геологическим изысканиям)

Инженерно-геологический разрез – отображение на вертикальной плоскости пространственных взаимоотношений инженерно-геологических комплексов пород

Камы (нем. *Kamm* – гребень) – ледниковые холмы, беспорядочно разбросанные у внутреннего края материковых ледников. Сложены отсортированным гравием, песками и супесями с горизонтальной и диагональной слоистостью озёрного типа (см. гл.4, рис. 4.13)

Карры – проявления поверхностного карста в виде мелких гребневидных форм рельефа

Каптаж (подземных вод) – сооружения для захвата подземных вод – вертикальные и горизонтальные скважины, лотки галереи и др.

Карст – воронки, провалы и другие формы на поверхности земли и разнообразные пустоты, каналы, пещеры и др. в толщах растворимых пород (карбонаты, сульфаты, соли), образовавшиеся в результате выщелачивания поверхностными и подземными водами.

Керн – цилиндрический столбик породы, получаемый при колонковом способе бурения скважин

Кинематика (греч., движение) – раздел механики, в котором движение тел рассматривается только с геометрической стороны. Без участия их массы и физических причин, вызывающих это движение

Кольматация – естественное или искусственное вымывание глинистых или тонкопесчаных частиц в поры и трещины породы током воды. К. изменяет водопроницаемость породы и выводит из строя фильтры и дренажи.

Комплексирование (лат. *complexus* - связь, сочетание) – процесс объединения группы предметов, явлений, свойств, работ при создании единого целого для получения наиболее эффективного результата

Конвергенция – в общем смысле образование продуктов сходного ряда из различных источников и различными путями. В геотектонике – столкновение и соединение литосферных плит в подвижных зонах

Консалтингово – инжиниринговая фирма (КИФ) (англ. *consulting* - консультирование) – в инженерных изысканиях организация, представляющая заказчику консультационные и аналитические услуги по созданию и осуществлению строительных проектов

Консистенция – форма состояния глинистых пород/грунтов при определённой влажности, проявляющаяся в подвижности под воздействием внешних усилий. Основные формы консистенции - твёрдая, пластичная, текучая

Конус (от др.-греч. *Κώνος* «шишка») – тело, полученное вращением прямоугольного треугольника вокруг одного из его катетов. В статическом или динамическом зондировании наконечник зонда, внедряемого в породы/грунты задавливанием или забивкой (см. гл.5)

Кориолисова ускорение – ускорение, возникающее в любом теле, в том числе водном потоке, движущемся горизонтально у поверхности Земли, независимо от направления движения, в следствие вращения Земли с запада на восток. В результате в северном

полушарии происходит отклонение массы воды вправо (соответственно подмываются правые берега), а в южном влево (подмываются левые берега)

Коэффициент переуплотнения (КПУ, англ. OCR) – отношение максимальных эффективных напряжений σ'_p , испытанных породой/грунтом в геологическом прошлом, к существующим эффективным напряжениям σ'_{v0} , определяемым нагрузкой от перекрывающих слоёв, и природным поровым давлением u_0 . По результатам статического зондирования вычисляется по формуле: $KПУ(OCR) = k \times \frac{q_t - \sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}}$, где q_t – приведённое значение лобового сопротивления

Коэффициент фильтрации – показатель водопроницаемости породы (м/сутки), равный скорости движения подземного потока при градиенте напора, равном единице (см. гл. 3. табл.3.7)

Лабораторные исследования – комплекс исследований, выполняемый в полевых и стационарных условиях, включающий в себя определения петрографических характеристик и показателей физико-механических свойств пород /грунтов (см. гл.5)

Ламинарное движение воды – характер движения вода при малых скоростях параллельными струями

Ландшафт – генетически единая территория с однотипным рельефом, геологическим строением, климатом, общим характером залегания распространения поверхностных и подземных вод, закономерным сочетанием почв, растительности и животных сообществ

Литосфера – верхняя твёрдая оболочка Земли, имеющая большую прочность и переходящая без резкой границы в нижележащую астеносферу, прочность вещества которой относительно мала

Лопастной прибор (крыльчатка) – прибор, используемый для определения величины сопротивления сдвигу глинистых или органических грунтов (илы, сапропели, торфы, текучие и пластичные глины)

Мантия земли - включает весь вещественный комплекс, залегающий между границей Мохоровичича (30 – 50 км) и границей Вихерта – Гутенберга (2900 км) – наружной границей ядра Земли

Машина (прибор) прямого среза - лабораторное устройство, позволяющая исследовать зависимость сопротивления пород/грунтов сдвигу по заданной поверхности в зависимости от приложенной вертикальной нагрузки. Позволяет определять основные прочностные параметры – угол внутреннего трения ϕ и удельное сцепление C (МПа, кПа)

Меридиан (магнитный) – линия на поверхности Земли, являющаяся проекцией силовой линии осреднённого земного магнитного поля, проходящей через данную точку. Угол между направлением на географический север и горизонтальной компонентой напряжённости геомагнитного поля называется склонением.

Модуль общей деформации – коэффициент пропорциональности между общими относительными деформациями (упругими и остаточными) и вызывающими их напряжениями: $E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_z}$, где σ – *напряжение (МПа)*

Мониторинг – система специальных наблюдений, оценок, прогнозирования при решении задач управления и контроля за состоянием геологической (природной) среды

Монолит – образец породы/грунта естественного сложения и влажности. Отбирается из естественных обнажений, скважин и горных выработок с использованием пробоотборников и грунтоносов

Муфта трения – часть измерительного зонда при статическом зондировании, содержащая датчик бокового трения и расположенная непосредственно за конусным наконечником

Неотектоника (тектоника новейшая) – раздел геотектоники, рассматривающий новейшие тектонические процессы, которыми создан современный рельеф

Обобщённые (нормативные) показатели свойств пород/грунтов или параметров водоносных горизонтов – средние значения, получаемые по данным соответствующих испытаний, число которых достаточно для статистического обобщения. Используются для любых предварительных расчётов

Обсадка скважины – крепление ствола скважины обсадными трубами для защиты его от осыпания и обвалов из стенок скважины, для перекрытия и изоляции водоносных горизонтов, обеспечения сохранности скважин для выполнения опытных работ и режимных наблюдений

Обследование технического состояния здания и грунтов их основания – вид нормативных инженерных изысканий, производимых с целью установления технического состояния и степени износа строительных конструкций и состояния грунтов основания при проектировании реконструкции или капитального ремонта здания, или сооружения

Овраг – эрозионная форма рельефа, образующаяся на склоне или водоразделе, представляющая собой относительно глубокий, вытянутый в длину, извилистый или ветвящийся размыв, образующий V-образную долину временных водотоков, возникающих в паводок, или небольших ручейков, пересыхающих в засушливое время года.

Одометр - лабораторный прибор для исследования сжимаемости пород/грунтов в условиях невозможности бокового расширения

Озы (швед. asar) - гряды в виде узких извилистых валов с волнистой линией гребня длиной до 30 – 40 км (реже до сотен км). Сложены флювиогляциальными галечниками и песками с валунами

Оптимизация (инженерных изысканий) – система научно обоснованных мер, направленных на повышение точности и достоверности изысканий при одновременном уменьшении объёмов и сроков выполнения работ

Опытные нагнетания – вид опытных работ, направленный на изучение степени водопроницаемости, трещиноватости и закарстованности преимущественно скальных и полускальных пород/грунтов

Парагенез (греч. происхождение) - совместное нахождение, возникающее в результате одновременного или последовательного образования

Первое предельное состояние (напряжённое состояние) – определяется несущей способностью, прочностью и устойчивостью горных пород, т. е. такой предельной нагрузкой, при которой порода находится в состоянии, непосредственно предшествующем её разрушению

Платформа – основной элемент структуры континентов и океанов, характеризующийся относительно спокойным тектоническим режимом. В пределах П. выделяют щиты и плиты и в составе последних более мелкие структуры

Плита литосферная – обширные жёсткие блоки, слагающие литосферу Земли

Показатели зондирования - параметры процесса зондирования, количество которых зависит от конструкции зонда и числа каналов связи. Так, четырёхканальный зонд может определять: удельное сопротивление грунта под конусом (лобовое сопротивление внедрению конуса), удельное сопротивление по муфте трения (боковое сопротивление внедрению зонда), суммарное поровое давление (сумма наведённого порового давления, вызванного внедрением зонда, и природного порового давления, угол наклона скважины (инклинометрия). Многоканальные зонды позволяют производить замеры температуры, электропроводности пород/грунтов, фиксировать скорость движения зонда, суммарное давление в гидравлической системе подачи зонда. Сейсмозонды определяют скорости продольных и поперечных сейсмических волн. Частота фиксации сигналов от измерительных датчиком достигает 50-100 на 1 пог. м разреза

Прессиометрия (прессиометр) – исследование сжимаемости пород/грунтов обжатием их в скважинах под воздействием возрастающей нагрузки на стенки скважины в пределах участка ограниченной длины с помощью передачи давления на лопасти или боковую поверхность резиновой камеры

Пробоотборник (грунтонос) – прибор для отбора проб горных пород/грунтов естественного сложения из горных выработок и естественных обнажений

Прогноз (греч., предвидение) - предсказание, основанное на специальном исследовании о предстоящем развитии или исходе чего-нибудь, например, прогноз землетрясений по силе, месту и времени

Проекция аксонометрическая – графический способ изображения трёхмерного пространства на плоскости для представления инженерно-геологической структуры строительной площадки

Прочностная характеристика породы/грунта – свойство пород/грунтов сопротивляться разрушению. Принято выражать и оценивать временным сопротивлением сжатию, разрыву, скалыванию, кручению и т. п. (для скальных и полускальных пород/грунтов) или сопротивлением сдвигу песчано – глинистых пород/грунтов

Разведочные работы – геологические (инженерно-геологические) работы, выполняемые с помощью различных технических средств для решения инженерно-геологических задач (см. гл.5)

Раздел Мохо – планетарная поверхность раздела, которая принята за нижнюю границу земной коры

Сейсмическая жёсткость – один из главных показателей сейсмоустойчивости горных пород, характеризующих сопротивление пород распространению возникающих в них деформаций

Сейсмические волны – упругие волны, возникающие в результате землетрясений, взрывов, ударов, распространяющиеся в виде затухающих колебаний в Земле и на её поверхности (см. гл. 4, с. с. 5-6, рис. 4.1)

Сейсмическое ускорение – ускорение, которое приобретают частицы горных пород на поверхности земли под воздействием сейсмических волн. Используется для оценки силы землетрясения

Сейсмограф (сейсмоприёмник) – электромеханический прибор для преобразования воспринимаемых им механических колебаний почвы в электрические (см. гл.4, рис. 4.3)

Сейсморазведка – геофизический метод исследований, основанный на измерении скоростей прохождения упругих волн (продольных и поперечных) в горных породах/грунтах

Сеть наблюдений – система размещения точек наблюдения и различных горных выработок на изучаемой площади, позволяющая получить полную, достоверную и точную информацию об инженерно-геологических условиях строительства

Совершенная скважина (колодец) – скважина (колодец), пройденная через всю толщу водоносных пород до водоупорного слоя

Спайность – свойство кристаллов раскалываться по кристаллографическим плоскостям, положение которых определяется особенностями внутреннего строения кристаллов

Стабилометр и стабилометрические испытания пород/грунтов – прибор для испытания пород/грунтов на трёхосное (всестороннее) сжатие для получения прочностных и деформационных характеристик и моделирования реальных условий работы породы/грунта в массиве

Стадии проектирования – законодательно установленная последовательность проектирования при освоении территорий, строительстве зданий и сооружений

Стратификация – положение отдельных частей геологических образований в вертикальном разрезе. Может устанавливаться на основе возрастных, литологических, петрографических, химических, морфологических и др. особенностей геологических образований, слагающих геологический разрез

Стратиграфия (stratum – слой) – раздел исторической геологии, охватывающий вопросы исторической последовательности образования горных пород и их географического распределения

Степень геотермическая – расстояние в м, отсчитываемая от уровня постоянных температур, на котором с углублением в недра Земли температура повышается на 1 °С

Субдукция – процесс взаимодействия континентальных и океанических литосферных плит в тектонически активных зонах (зоны Беньофа)

Суффозия – процесс выноса мелких частиц из породы/грунта током воды. Развитие суффозии характеризует фильтрационную неустойчивость пород/грунтов

Тектогенез – совокупность тектонических движений и процессов, под воздействием которых формируется тектоническая структура земной коры

Текстура (горных пород) – совокупность признаков строения горных пород, обусловленных ориентировкой и относительным расположением, и распределением составных частей

Температуропроводность – одно из тепловых свойств горных пород и почв, которое характеризует скорость распространения тепловой волны. Показателем является коэффициент температуропроводности

Теория фильтрационной консолидации – научная логика, описывающая зависимость осадки зданий и сооружений, возведённых на водонасыщенных глинистых породах/грунтах, от процесса отжатия воды и рассеивания порового давления

Теплоёмкость – количество теплоты, необходимое для нагревания на 1°С 1 г породы или почвы (удельная теплоёмкость) или 1 см³ породы или почвы (объёмная теплоёмкость)

Теплопроводность - способность породы или почвы проводить тепло. Тепло может передаваться различными путями: при контакте частиц между собой; излучением от частицы к частице; конвекционной передачей тепла через газ или жидкость

Территориальные строительные нормы – законодательно установленные нормы проектирования и инженерных изысканий с учётом региональных природных особенностей

Технология ODEX – способ проходки скважин в неустойчивых обводнённых породах с непрерывной обсадкой

Технология трёхмерного картирования подземного пространства – методика непрерывного развития проектно-изыскательского процесса (ПИР) на основе создания динамической пространственной модели инженерно-геологических и гидрогеологических условий

Техносфера – приповерхностная зона земной коры, в пределах которой сосредоточены инженерные, строительные и хозяйственные объекты, в целом инфраструктура технологической цивилизации

Типовая модель грунта – термин, применяемый в статическом зондировании по методике СРТ и означающий классификационную модель поведения породы/грунта (Soil Behavior Type) при внедрении в них зонда

Типологический индекс грунта - параметр, вычисляемый при статическом зондировании по соотношению лобовых и боковых сопротивлений

Удельное водопоглощение – мера водопроницаемости и соответственно степени трещиноватости и закарстованности пород/грунтов при опытных нагнетаниях

Уровень ответственности здания или сооружения – законодательно установленное деление всех сооружений на классы по их ответственности, капитальности, долговечности, жёсткости, допустимыми пределами осадок и деформаций и т.д.

Условное динамическое сопротивление - показатель сопротивления забивке зонда в породы /грунты, определяемый через число ударов молота N, необходимых для погружения зонда на 10 см или по величине погружения зонда от залога в 10 ударов

Физико-механические свойства пород/грунтов – свойства, определяющие их физическое состояние, отношение к воде и закономерности изменения прочности и деформируемости. Соответственно различают физические, водные и механические свойства

Фильтр – устройство, конструкция, сооружение, которые отделяют от воды механические взвеси или снижают её гидродинамическое давление. Фильтры различаются по назначению, способу применения, конструкции, размерам и т.д.

Флюид – газообразный или жидкий раствор. Обычно применяется, когда агрегатное состояние раствора не известно

Фундамент – подземная часть здания или сооружения, воспринимающая нагрузку от конструкций и передающая её на породы/грунты, которые являются их основанием

Целики пород/грунтов – массивы пород/грунтов прямоугольного или круглого сечения, подготавливаемые в горных выработках или отбираемые из них для производства опытных нагрузок и срезов

Четвертичный период – последний период в истории Земли длительностью около 1,8 млн. лет. Отличался неоднократной сменой климатов Земли

Чувствительность грунта – склонность породы/грунта к возможным изменениям прочности и консистенции при нарушении естественного сложения и структурных связей. Измеряется по соотношению прочности на одноосное сжатие или сопротивление сдвигу, или пластической прочности при естественном сложении к прочности той же породы/грунта при той же влажности, но нарушенного сложения

Шельф (англ., shelf, полка, мель) - в геологии: совокупность мелководных равнин, окаймляющих сушу; в океанологии: область, затопленная морем, затопленная окраина материка

Шпатель – металлическая прямоугольная пластинка со скошенным краем, используемая для заполнения лабораторных колец, бюксов и выравнивания поверхности испытываемых образцов

Штамп – металлическая жёсткая конструкция круглой или прямоугольной формы, используемая при производстве опытных нагрузок в шурфах или скважинах для передачи давления на породу/грунт

Эксплозивный вулкан – вулканический аппарат, извержение которого сопровождается выбросами большого количества пирокластического материала и газов

Электроразведка – способ исследования пород/грунтов на основе наблюдений за особенностями распространения естественных или искусственных электромагнитных полей

Этапы инженерных изысканий – последовательность выполнения исследований и работ для обоснования проектов различных зданий и сооружений

Эффективные напряжения (напряжения в скелете грунта σ' – *effective stress*) – разность между полным напряжением и поровым давлением $\sigma' = \sigma - u$ (см. рис. 37)

Ядерные методы – базируются на изучении связей радиоактивных свойств пород/грунтов с их плотностью, влажностью и глинистостью (см. раздел 5.4.3)

Подробно с терминологией, применяемой в области инженерной геологии и инженерно-геологических изысканий, следует ознакомиться в учебном пособии «Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания» и в «Словаре по инженерной геологии» /В. Д. Ломтадзе, СПб: изд-во СПб ГИ, 1999. – 366 с.

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ ПОЧВЕННО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

Автоморфные почвы - почвы, не подвергающиеся переувлажнению за счет притока грунтовых или поверхностных вод и залегающие в условиях рельефа, обеспечивающего сток и дренаж

Автотрофные организмы - организмы, питающиеся за счет неорганического углерода в виде CO_2

Агрегат почвенный (педология, структурная отдельность) - естественное образование различных форм в виде скопления элементарных почвенных частиц в результате их слипания и склеивания под влиянием физических, физико-химических и биологических процессов

Агрегированная почва (структурная почва) - почва, имеющая агрегаты, четко выраженные в профиле и отдельных горизонтах; при этом плотность их не превышает $1,2 \text{ г/см}^3$

Адсорбция - концентрирование вещества на поверхности раздела двух раз под влиянием молекулярных сил поверхности адсорбента

Анаэробные условия почвообразования - среда, лишенная свободных молекул кислорода. А. У. П. создают предпосылки для развития глеевых процессов

Ацидоид - отрицательно заряженная коллоидная частица, содержащая анионы в потенциалоопределяющем слое и катионы – в диффузном

Аэрация почвы - процесс замещения почвенного воздуха атмосферным с целью восстановления содержания кислорода в почве, потерянного в результате микробиологической активности в период роста культурных растений, при котором возрастает содержание CO_2

Аэробные условия почвообразования - среда, в которой для существования микроорганизмов необходим кислород; в его присутствии происходит разложение углеводов до CO_2 и H_2O

Базоид – положительно заряженная коллоидная частица с катионами в потенциалоопределяющем слое и анионами в диффузном

Баланс водный почвы - совокупность всех видов поступления влаги в почву и ее расхода из почвы за какой-либо промежуток времени (обычно год), рассчитанный для определенного слоя почвы

Биомасса - количество вещества (масса) живого организма или совокупность живых организмов. К Б. относят все живые, а иногда и мертвые части организмов; они прекращают быть биомассой, становясь лесной подстилкой, гумусом, торфом

Большой геологический круговорот веществ - геологические процессы превращения и перемещения массы горной породы, совершающиеся на протяжении геологических эпох

Буферность почвы - способность жидкой и твердой фаз почвы противостоять изменению реакции среды (рН) при прибавлении сильной кислоты или щелочи. Буферная способность почвы зависит от свойств ППК: глинистые почвы по сравнению с песчаными обладают большей буферностью

Влага (вода) гигроскопическая - влага, поглощенная твердой фазой почвы из воздуха с относительной влажностью не выше 98 % (см. гигроскопичность почв)

Влага гравитационная - влага свободная, передвигающаяся или способная к передвижению в почве под влиянием силы тяжести

Влага, доступная для растений - часть почвенной влаги, которая может быть поглощена растениями как в процессе их нормальной жизнедеятельности, так и в процессе их увядания.

Влага капиллярная - свободная почвенная влага, удерживаемая в почве и передвигающаяся в ней под влиянием капиллярных сил

Влага, не доступная для растений - часть почвенной влаги, которая не может быть поглощена растениями, в том числе и в процессе их увядания

Влага свободная - часть почвенной влаги, которая не находится под влиянием сорбционных сил

Влагоемкость почвы - величина, количественно характеризующая водоудерживающую способность почвы

Влагоемкость почвы капиллярная - равновесное содержание в слое почвы влаги при условии его расположения в пределах капиллярной каймы

Влагоемкость почвы наименьшая - наибольшее возможное содержание подвешенной влаги в слое почвы в ее естественном сложении, при отсутствии слоистости и подпирющего действия грунтовых вод, оставшееся после стекания всей гравитационной влаги

Влагоемкость почвы полная - содержание влаги в почве при условии полного заполнения всех пор водой

Влажность завядания растений - влажность почвы, при которой проявляются первые признаки увядания растений, не исчезающие при помещении растений в атмосферу, насыщенную водяными парами

Водный баланс почв - количественная характеристика прихода и расхода воды в почве

Водный режим почв - совокупность всех поступлений влаги в почву, ее передвижения, изменений физического состояния и расхода из почвы

Водопроницаемость почвы - свойство почвы как пористого тела пропускать через себя воду.

Водопрочность агрегатов - способность агрегатов почвы противостоять разрушающему действию воды

Воздухообмен - обмен воздухом между почвой и атмосферой в результате изменений температуры и влажности почвы, изменений атмосферного давления, перемещений воды, а также под действием ветра и путем диффузии

Возраст почвы абсолютный - по В.Р. Вильямсу - время, прошедшее с начала почвообразования до настоящего времени

Возраст почвы относительный - характеризует скорость процесса почвообразования, скорость смены стадий развития и зависит от сочетания условий почвообразования и свойств почв

Выпотной водный режим - тип водного режима, когда испаряемость значительно превышает количество выпадающих осадков. При этом почвы снабжаются влагой из близко залегающих грунтовых вод

Газовая фаза почвы - см. Почвенный воздух

Гель - дисперсная студнеобразная или твердая система с жидкой или газообразной дисперсионной средой и пространственной структурой, образуемой частицами дисперсной фазы. Г. образуются из зелей при их коагуляции и обладают пластичностью, некоторой эластичностью и тиксотропными свойствами

Генезис почв - происхождение, образование и развитие почв, включая строение, состав, свойства и современные режимы

Генетические горизонты почвы - относительно однородные слои почвы, обособившиеся в процессе почвообразования, расположенные более или менее параллельно поверхности почвы. Отличаются один от другого и от материнской породы по окраске, структуре, сложению, составу, характеру новообразований и другим признакам. Их совокупность образует профиль почвы

Гигроскопичность почв - способность почвы в силу присущей ей энергии сорбировать на поверхности частиц пары воды, содержащиеся в воздухе

Гидратация - образование оболочки из ориентированных молекул воды вокруг ионов, молекул и коллоидных частиц почвы, находящихся в растворе, а также вокруг твердых частиц почвы при соприкосновении их с влагой

Гидроморфные почвы - почвы, формирующиеся в условиях временного или постоянного перенасыщения водой. Содержат в профиле оглеенные или глеевые горизонты

Гранулометрический состав почвы - содержание в почве элементарных частиц различного размера, объединяемых во фракции гранулометрических элементов. Выражается в процентах от массы сухой почвы

Гумин - негидролизуемый остаток органического вещества в почве, не растворимый в щелочах

Гуминовые кислоты - смесь органических темноокрашенных веществ, экстрагируемых из почвы

Гумификация - процесс образования специфических гумусовых веществ (гуминовые кислоты, фульвокислоты, гумин) в результате трансформации органических остатков в почве

Гумус - совокупность специфических и неспецифических органических веществ почвы за исключением живых организмов и их остатков, не утративших тканевое строение

Гумусообразование - процесс превращения исходных материалов растительного и животного происхождения, сопровождающийся образованием новых гумусовых веществ специфической природы

Дисперсная фаза - в почвах роль ее играют твердые частицы (гумусовые вещества, гидраты оксидов железа, алюминия и т.п.)

Диффузия - 1. Процесс выравнивания концентрации веществ. В почве протекает в твердой и жидкой фазах, но максимально - в газообразной. 2. Перемещение молекул газов, входящих в состав воздуха, вызванное тепловым движением этих молекул под влиянием градиентов концентрации и температуры

Ёмкость поглощения - см. Ёмкость катионного обмена

Ёмкость катионного обмена - максимальное количество катионов (анионов) в мг-экв на 100 г почвы, которое может быть удержано почвой в обменном состоянии при заданных условиях

Живая фаза почвы - все живые растения и организмы, находящиеся в почве

Жидкая фаза почвы - см. Почвенный раствор

Золь - коллоидный раствор, двухфазная гетерогенная система с предельно высокой дисперсностью. Частицы 3. свободно участвуют в интенсивном броуновском движении. Размеры частиц 3. от 10^{-5} до 10^{-7} см. В природных условиях встречаются аэрозоли (атмосфера) и гидрозоль (природные воды, почвенные растворы)

Зольные элементы - химические элементы (калий, кальций, фосфор, кремний, железо, алюминий и др.), входящие в состав живого вещества и остающиеся в золе после сжигания растений и животных

Ил (илистая фракция) - совокупность элементарных почвенных частиц размером меньше 0,001 мм (не путать с понятием «ил» в инженерной геологии)

Испаряемость - количество жидкой влаги, испаряющейся с открытой водной поверхности. Может сильно отличаться от фактического испарения с поверхности почвы и растений, особенно в пустыне

Каменистость почвы - содержание в почвенном профиле различных по величине и форме камней (обломков горных пород размером более 3 мм)

Катионы обменные - катионы, удерживаемые твердой фазой почвы; могут обмениваться на катионы другого рода из растворов солей

Кислотность почв - способность почв нейтрализовать растворы со щелочной реакцией и подкислять воду и растворы нейтральных солей. Различают К. п. актуальную и потенциальную

Кислотность почв актуальная - кислотность, обусловленная свободными ионами H^+ почвенного раствора, находящимися в равновесии с другими ионами среды

Кислотность почв потенциальная - кислотность, проявляющаяся при взаимодействии почвы с нейтральными или гидролитически щелочными солями; включает кислотность обменную и гидролитическую

Коагуляция - укрупнение частиц в дисперсных системах, приводящее к выпадению из коллоидного раствора хлопьевидного осадка

Коллоиды почвы - совокупность высокодисперсных почвенных частиц с большой удельной поверхностью и размером менее 0,1 мкм. К. п. представлены в почве гелями и золями. Различают минеральные, органические и органоминеральные К. п.

Коэффициент увлажнения - отношение годового количества осадков к годовой величине испаряемости. Показатель К. у. (термин Г. Н. Высоцкого) характеризует различные типы водного режима почв

Круговорот веществ - многократно повторяющиеся процессы превращения и перемещения веществ в природе, имеющие более или менее циклический характер. Различают большой геологический круговорот веществ и малый биологический круговорот веществ

Макроагрегаты почв - почвенные агрегаты крупнее 0,25 мм

Малый биологический круговорот веществ - поступление простых веществ из почвы и атмосферы в живые организмы, в которых эти вещества преобразуются в сложные органические соединения, возвращение их в почву и атмосферу в процессе жизнедеятельности организмов и с отмершими остатками и повторное поступление этих веществ в живые организмы после процессов деструкции и минерализации микроорганизмами

Материнская порода - см. Почвообразующая порода

Механический анализ почв - см. Гранулометрический анализ почв

Микроагрегаты почв - почвенные агрегаты менее 0,25 мм

Минералы вторичные - минералы, образовавшиеся в процессе почвообразования и выветривания в результате изменения минералов почвообразующих пород путем растворения, трансформации и синтеза

Мощность почвы - общая мощность почвенного профиля от поверхности до почвообразующей породы. Может колебаться в широких пределах от нескольких сантиметров до 2-3 м в зависимости от зрелости почвы, условий почвообразования, типа почв

Непромывной водный режим - тип водного режима, при котором количество поступающих осадков меньше, чем потенциальная возможность их испарения. Просачивающиеся сквозь почву осадки не достигают УГВ, так как расходуются на испарение и транспирацию

Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) - обозначает разность окислительно-восстановительных потенциалов между изучаемой системой и водородным электродом. Показатель связан со степенью увлажнения, рН, содержанием органического вещества и другими свойствами почв

Органическое вещество почв - гумус и растительные остатки, не утратившие анатомического строения (живые организмы и живые корни)

Органоминеральные соединения - преимущественно соединения гумусовых веществ с минеральными компонентами почв; включают простые и основные соли, комплексные и минералоорганические соединения

Основания обменные (поглощенные основания) - катионы, адсорбированные поверхностью почвенных коллоидных частиц и способные обмениваться, т. е. замещаться катионами почвенного раствора

Пептизация почвенных коллоидов - превращение геля в золь в жидкости, где золь представлен мицеллами - крупными молекулами, полимолекулами, которые в отличие от ионов не могут проникать сквозь клеточные мембраны и фильтры

Плодородие почвы - способность почвы к постоянному воспроизводству продукции в конкретных природных условиях, которая определяется урожайностью культур

Поглотительная способность почвы обменная - способность почвы поглощать из растворов различные катионы и анионы, выделяя при этом в раствор эквивалентные количества других катионов или анионов

Показатель рН (реакция раствора) - отрицательный десятичный логарифм активности ионов H^+ в растворе. При значениях рН ниже 7 раствор считают кислым, приблизительно равным 7 - нейтральным, а выше - щелочным

Полугидроморфные почвы - группа почв, формирующихся в условиях периодического переувлажнения поверхностными или почвенно-грунтовыми водами. Характеризуются признаками оглеения в почвенном профиле

Полуторные окислы (оксиды) - совокупность оксидов и гидроксидов Fe, Al Mn и Ti, составляющих основную часть твердой фазы почв. Обозначаются как R_2O_3 .

Пористость почвы (порозность, скважность) - суммарный объем всех пор, выраженный в процентах от общего объема почвы

Почва - биокосное естественноисторическое тело природы, имеющее вертикальное строение профиля и обладающее плодородием. Почва - многофункциональная поликомпонентная и

открытая многофазная система, являющаяся функцией климата, пород, рельефа, биологических факторов и времени

Почва легкая - почва с большим содержанием фракций песка и пыли

Почва тяжелая (глинистая) - почва с повышенным содержанием глинистых частиц

Почвенно-поглощающий комплекс (ППК) - совокупность органических, минеральных и органоминеральных компонентов твердой фазы почвы, способных к обмену ионами. ППК обуславливает поглотительную (обменную) способность почв и характеризуется емкостью поглощения или емкостью катионного обмена, определяемую как сумму всех обменных катионов, которые можно вытеснить из данной почвы

Почвенный воздух (газовая фаза почвы) - газы, находящиеся в почве

Почвенный профиль - совокупность генетически связанных и закономерно сменяющихся с глубиной горизонтов почвы, на которые расчленяется материнская порода в процессе почвообразования

Почвенный раствор (жидкая фаза почвы) - вода, находящаяся в почве в жидком состоянии вместе с растворенными органическими и минеральными веществами и газами

Почвообразование (почвообразовательный процесс, педогенез) - процесс образования почвы в поверхностной части литосферы при совокупном воздействии факторов почвообразования: климата, пород, рельефа, живых организмов и времени, а также антропогенного влияния

Почвообразующая порода (материнская порода) - любые генетические типы плотных и/или рыхлых пород, которые служат основой для формирования почв

Промывной тип водного режима – режим, при котором количество атмосферных осадков значительно превышает испарение с образованием нисходящего до грунтовых вод тока влаги

Пыль - гранулометрическая фракция, состоящая из элементарных почвенных частиц размером 0,001-0,05 мм (по А.Н. Качинскому). Подразделяется на пыль мелкую (0,001-0,005 мм), среднюю (0,005-0,01 мм) и крупную (0,01-0,05 мм)

Раствор почвенный - вода, находящаяся в почве и содержащая в растворенном состоянии органические и минеральные вещества и газы

Реакция почвенного раствора - степень кислотности или щелочности почвы, которая обычно выражается величиной рН

Сквашность почвы - см. **Пористость почвы**

Скелет почвы - совокупность механических элементов почвы (элементарных почвенных частиц) размером более 1 мм

Структура почвы - форма и размер структурных отдельностей (агрегатов), на которые распадается почва

Структурная отдельность - см. **Агрегат почвенный (педология)**

Структурная почва - см. Агрегированная почва

Сумма обменных катионов - общее количество катионов (в мг-экв/ 100 г почвы), которое может быть вытеснено из незасоленной и бескарбонатной почвы нейтральным соевым раствором

Твердая фаза почв - минеральная или органоминеральная часть почвы, образующаяся из почвообразующей породы

Температурный (тепловой) режим почв - суточная или сезонная динамика температуры почвы на ее поверхности или какой-либо глубине

Транспирация - испарение растениями влаги в процессе их жизнедеятельности

Фазы почвы - выделяют 4 фазы (твердая, жидкая, живая и газовая), составляющие почву, во взаимодействии которых она существует и функционирует как единое физическое тело

Факторы почвообразования - элементы природной среды, под совокупным воздействием которых образуется почва. В.В. Докучаев выделил 5 Ф.П.: почвообразующие породы, живые организмы, климат, рельеф и возраст. В настоящее время существенное влияние на формирование почв оказывает антропогенный фактор почвообразования

«Физическая» глина - совокупность элементарных почвенных частиц размером менее 0,01 мм

«Физический» песок - сумма элементарных почвенных частиц почвы размером крупнее 0,01 мм

Фульвокислоты - разновидность высокомолекулярных органических кислот, входящих в состав гумуса. Относительно растворимы, обогащены азотом, светлоокрашены относительно гуминовых кислот

Щелочность почв - суммарное содержание в водной вытяжке карбонатных ионов CO_3 и HCO_3