

26.329я73
Т 65

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

**«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»**

✓ Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ
ГЕОЛОГИЯ
БЕЛАРУСИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН**

**Гомель
УО «ГГУ им. Ф. Скорины»
2011**

26.329a73
Т 65

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Е. Ю. ТРАЦЕВСКАЯ

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ
ГЕОЛОГИЯ
БЕЛАРУСИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН**

**ТЕКСТЫ ЛЕКЦИЙ
по спецкурсу**

для студентов специальности 1-51 01 01

«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»
специализации 1-51 01 01 03

«Инженерная геология и гидрогеология»

УК 86980001

Установа адукацый
"Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт
імя Францыска Скарыны"
БІБЛІЯТЭКА

Гомель
УО «ГГУ им. Ф. Скорины»
2011

УДК 624.131.1(476+100)(075.8)
ББК 26.329(4Бел)я73+26.329(3)я73
Т 65

Рецензенты:

В. В. Коцур, ведущий научный сотрудник лаборатории нефтепромысловой гидрогеологии БелНИПИнефть РУП «ПО «Белоруснефть»;

А. П. Гусев, декан геолого-географического факультета, кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Рекомендованы к изданию научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

Трацевская, Е. Ю.

Т 65 Региональная инженерная геология Беларуси и зарубежных стран : тексты лекций по спецкурсу для студентов специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» специализации 1-51 01 01 03 «Инженерная геология и гидрогеология» / Е. Ю. Трацевская ; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. – 136 с.

ISBN 978–985–439–515–9

В текстах лекций раскрываются основные вопросы региональной инженерной геологии. Спецкурс можно разделить на две части. Первая часть посвящена теоретическим основам региональной инженерной геологии, вторая – инженерной геологии Беларуси. Основное содержание текстов лекций излагается в соответствии с текстовым использованием имеющейся учебной и научной литературы, сведения о которой приведены в конце текстов.

Адресуются студентам специальности 1 – 51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», специализации 1 – 51 01 01 03 «Инженерная геология и гидрогеология», а также будет полезным специалистам в области инженерной геологии.

УДК 624.131.1(476+100)(075.8)
ББК 26.329(4Бел)я73+26.329(3)я73

ISBN 978–985–439–515–9

© Трацевская Е. Ю., 2011

© УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины», 2011

Содержание

Введение	4
Тема 1 Региональная инженерная геология как фундаментальный раздел инженерной геологии	5
Тема 2 Факторы инженерно-геологических условий и закономерности их формирования	10
Тема 3 Структурно-вещественные комплексы в региональной инженерной геологии	23
Тема 4 Теоретические и методологические основы инженерно-геологического районирования	29
Тема 5 Физико-географические условия Беларуси	52
Тема 6 Основные закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Беларуси	59
Тема 7 Влияние геологического строения территории Беларуси на формирование геологических опасностей	91
Тема 8 Оценка дифференцированного экономического риска (на примере процесса подтопления)	124
Литература	134

Введение

На протяжении многих веков города Беларуси являлись крупными политическими, торговыми и культурными центрами. Концентрация людей, товаров и услуг, особенно возросшая в последние десятилетия, разнообразная инфраструктура создают территориально сосредоточенное воздействие на геологическую среду, вызывая в ней необратимые изменения. В настоящее время, с одной стороны, территория Беларуси, как всякая промышленно развитая территория, испытывает существенные техногенные нагрузки от многочисленных локальных источников загрязнения: промышленных, сельскохозяйственных, транспортных, жилищно-коммунальных и т. п. С другой стороны, территория республики находится в зоне активного проявления эндогенных и экзогенных процессов. Естественные и техногенные факторы находятся под взаимным влиянием, что негативно сказывается на инженерно-геологических условиях территории и, как следствие этого, отражается на состоянии инженерных сооружений.

Региональная инженерная геология исследует строение и свойства геологической среды различных структурных зон земной коры, закономерности формирования их инженерно-геологических условий и пространственно-временные изменения в связи с осуществляемой или планируемой инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Это определяет актуальность спецкурса.

Тексты лекций можно разделить на две части. Первая часть посвящена теоретическим основам региональной инженерной геологии, вторая – инженерной геологии Беларуси. Особый акцент в лекциях сделан на оценку уязвимости и риска отдельных объектов, что позволяет своевременно оценить вероятный ущерб и принимать необходимые комплексы предупредительных мероприятий.

Целью текстов лекций по спецкурсу «Региональная инженерная геология Беларуси и зарубежных стран» является оказание помощи студентам специализации «Инженерная геология и гидрогеология» в изучении закономерностей формирования инженерно-геологических условий различных структурно-формационных зон земной коры; овладении методами прогноза пространственно-временных изменений инженерно-геологических условий в процессе инженерной и хозяйственной деятельности человека, общепринятыми принципами и признаками районирования в соответствии с целевыми задачами.

Спецкурс «Региональная инженерная геология Беларуси и зарубежных стран» изучается студентами 5 курса специальности 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», специализации 1-51 01 01 03 «Инженерная геология и гидрогеология».

Тема 1

Региональная инженерная геология как фундаментальный раздел инженерной геологии

1.1 Определение основных понятий в региональной инженерной геологии (РИГ)

1.2 Объект и задачи РИГ

1.3 Этапы развития РИГ

1.4 Особенности современного этапа развития РИГ

1.1 Определение основных понятий в региональной инженерной геологии (РИГ)

Региональная инженерная геология – это наиболее молодое научное направление инженерной геологии (ИГ). Основоположником его является И. В. Попов. По И. В. Попову: региональная инженерная геология – это раздел инженерной геологии, изучающий инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений в земной коре и на ее поверхности. РИГ изучает:

1) закономерности проявления на Земле факторов инженерно-геологических условий, обусловленных природной обстановкой, в первую очередь – геологическим строением и геологической жизнью местности;

2) комплексы факторов природных условий, определяющих геологические условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений на данной территории;

3) инженерно-геологические процессы и явления на основе опыта строительства на данной территории.

Существенное расширение содержания этого понятия было сделано Е. М. Сергеевым: региональная инженерная геология – раздел инженерной геологии, изучающий закономерности пространственно-временной изменчивости инженерно-геологических условий в зависимости от истории развития земной коры и современных физико-географических условий.

По Г. К. Бондарiku: региональная инженерная геология есть научное направление инженерной (физической) геологии, исследующее структуру и свойства геологической среды – компоненты инженерно-геологических условий, закономерности их формирования и пространственной изменчивости в связи с осуществляемой или планируемой деятельностью человека.

Е. М. Сергеев, В. Т. Трофимов: региональная инженерная геология представляет собой (третье) научное направление инженерной геологии, исследующее строение и свойства геологической среды различных структурных зон земной коры, закономерности формирования их инженерно-геологических условий и пространственно-временные изменения в связи с осуществляемой или планируемой инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

1.2 Объект и задачи РИГ

Объектом изучения региональной инженерной геологии в практическом плане является определенный объем геологической среды, охватывающий различные по размеру структурные элементы земной коры или их части. Следовательно, проводится комплекс исследований инженерно-геологических условий территории; т. е. совокупность ее геологических условий, учитываемых при проектировании и определяющих условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Инженерно-геологические условия определяют:

- характер горных пород;
- условия их залегания, состояние и свойства;
- рельеф;
- мерзлотные условия;
- гидрогеологические особенности;
- современные физико-геологические и инженерно-геологические процессы и явления.

Основная задача региональной инженерной геологии – установление обоснованных границ, в пределах которых справедливы факты, выявляемые приемами геологических и специальных инженерно-геологических работ.

Равнозначными в инженерно-геологическом отношении могут быть участки земной коры, пережившие одинаковый ход геологического развития. Следовательно, теоретической основой региональной инженерной геологии является анализ историко-геологического и генетического путей развития и становления тех геологических черт местности, которые определяют инженерно-геологические условия.

Важнейшие задачи региональной инженерной геологии:

- 1) изучение закономерностей формирования инженерно-геологических условий различных структурных зон земной коры;

2) установление закономерностей пространственного распределения территорий, характеризующихся определенными инженерно-геологическими обстановками;

3) изучение морфологических особенностей и пространственной изменчивости инженерно-геологических условий в пределах крупных структурных элементов земной коры;

4) разработка теории и методов изучения территорий, в частности, методов количественной оценки сложности инженерно-геологических условий и способов их типизации;

5) прогноз пространственно-временных изменений инженерно-геологических условий в процессе инженерно-хозяйственной деятельности человека;

6) составление инженерно-геологических описаний крупных регионов с целью разработки научно обоснованных рекомендаций по рациональному освоению территорий и разработки геологических основ рационального использования природных ресурсов.

1.3 Этапы развития РИГ

В истории развития региональной инженерной геологии выделяют три этапа.

Первый этап – до 1950 г. В 1950 г. Н. И. Николаевым в книге «Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства» впервые были рассмотрены региональные особенности инженерно-геологических исследований на территории СССР.

Наиболее полно теоретические и методические вопросы региональной инженерной геологии этого этапа обсуждались в работах Д. С. Солодова (1947 г.), Л. Д. Белого (1950 г.), Н. И. Николаева (1950 г.), И. В. Попова (1950 г.).

Второй этап – 1951-1978 гг. Он завершается выходом в свет 8- томной монографии «Инженерная геология СССР». На этом этапе главным является завершение формирования региональной инженерной геологии как самостоятельного научного направления инженерной геологии, становление ее в один ряд с грунтоведением и инженерной геодинамикой. В итоге замкнулся ряд объектов исследований: грунты – грунтоведение; геологические процессы – инженерная геодинамика; территория или определенный объем геологической среды – региональная инженерная геология.

В этот период широко известны работы Л. Д. Белого, Г. К. Бондарика, Г. А. Голодковской, И. С. Комарова, Е. М. Сергеева, И. В. Попова,

В. Т. Трофимова и др. Выходит в свет «Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200000» (1978 г.) и инженерно-геологическая карта СССР (1970).

Третий этап – с 1979 г. по настоящее время – современный период региональной инженерной геологии. На этом этапе перед региональной инженерной геологией стоят две основные проблемы: 1) проблема глобального изучения инженерно-геологической обстановки; 2) проблема разработки вопросов рационального использования и охраны геологической среды.

1.4 Особенности современного этапа развития РИГ

В наши дни жесткий прессинг на природную среду, оказываемый деятельностью человека, создал новые проблемы – экологические, в том числе геоэкологические. В связи с чем, на современном уровне производится оценка риска опасных экзогенных геологических процессов. К опасным относятся такие геологические процессы, которые оказывают или имеют потенциальную возможность оказывать поражающее воздействие на людей, объекты экономики и окружающей природной среды. Режим опасных экзогенных геологических процессов определяется относительно статичными характеристиками литосферы (вещественно-морфологическими признаками инженерно-геологических условий) и динамическими показателями внешних воздействий на нее. Техногенное воздействие на геологическую среду нарушает ее равновесное состояние, что приводит к возникновению инженерно-геологических процессов, в том числе и опасных. Характерным примером такой опасности может служить техногенное подтопление территории. В зависимости от степени опасности техноприродного процесса в той или иной мере изменяется геологическое состояние среды.

Осуществляя строительство и дальнейшую эксплуатацию сооружений в районах, подверженных различным техноприродным процессам, человек сам создает для себя опасность. Вторгаясь на эти территории, он идет на определенный (в том числе и экономический) риск. Под природным риском понимают вероятностную меру природной опасности, установленную для определенного объекта в виде возможных потерь за заданное время. Риск характеризует вероятность реализации прогнозируемого ущерба, например, при строительстве и эксплуатации сооружений в пределах потенциально подтопляемых территорий или при отсутствии соответствующей превентивной

системы защиты. Главной целью оценки и управления техноприродным риском является обеспечение максимально возможной при заданных условиях степени защищенности или устойчивости социальных, экономических, экологических и других систем от опасных природных и техноприродных воздействий. В СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства» введены требования об оценке и составлении карт геологических и других природных рисков в составе обоснований инвестиций и проектов строительства на территории России. Геологическая оценка урбанизированных территорий по степени природного и техногенного рисков позволяет получить площадное распределение риска в регионе и на его основе наметить пути региональной организации хозяйства и создания среды, безопасной для проживания населения, благоприятной для его здоровья.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какой смысл вкладывают в понятие «региональная инженерная геология» различные авторы (И. В. Попов, Е. М. Сергеев, Г. К. Бондарик, В. Т. Трофимов и др.)?
- 2 Что изучает региональная инженерная геология? Кто является ее основоположником?
- 3 Что является объектом изучения РИГ?
- 4 Какие факторы определяют инженерно-геологические условия территории? Приведите примеры.
- 5 Что является основной задачей РИГ?
- 6 Что и почему является теоретической основой РИГ?
- 7 Перечислите важнейшие задачи РИГ.
- 8 Сколько выделяют этапов в развитии РИГ?
- 9 Охарактеризуйте первый этап развития РИГ.
- 10 Дайте характеристику второго этапа развития РИГ.
- 11 Чем характеризуется третий этап развития РИГ?
- 12 Какова главная особенность развития РИГ в настоящее время?
- 13 Что такое техноприродные процессы? Приведите примеры.
- 14 Какой смысл вкладывают в понятие «природный риск»?
- 15 Что является главной целью оценки и управления техноприродным риском?

Тема 2

Факторы инженерно-геологических условий и закономерности их формирования

2.1 Региональные геологические и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий

2.2 Роль геолого-структурных и неотектоно-геоморфологических факторов в формировании инженерно-геологических условий

2.3 Гидрогеологические условия и мерзлотная обстановка как факторы формирования инженерно-геологического облика территории

2.4 Современные геологические процессы и явления как фактор формирования инженерно-геологических условий

2.1 Региональные геологические и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий

Факторы формирования современных инженерно-геологических условий И. В. Попов подразделяет на две группы.

1 Региональные геологические факторы зависят и управляются ходом тектонического развития земной коры и ее современной тектонической жизнью. Они определяют структурно-геологические условия, особенности геологического развития территории, а, следовательно, состав, строение и степень литификации или метаморфизма пород, условия их залегания и распространения, гидрогеологическую структуру территории, ее рельеф, а также во многом и характер современных геологических процессов и явлений.

2 Зональные или зонально-геологические, которые определяются современными климатическими особенностями территории. В соответствии с широтным изменением баланса тепла и влаги происходит изменение всей природной обстановки. Инженерно-геологические условия тесно связаны с ландшафтным обликом местности. Инженерно-геологические условия также изменяются зонально в соответствии с закономерностями распределения тепла и влаги. Именно различный приток тепла и влаги, их различное соотношение между собой являются главной причиной, которая обуславливает формирование различных инженерно-геологических условий на различных широтах (высотах в орогенных областях) в пределах одинаковых в структурно-геологическом отношении территорий.

Следовательно, инженерно-геологические условия следует рассматривать как сложную, многофакторную, изменяющуюся во времени систему, современное состояние которой определяется как геолого-структурными, так и современными климатическими условиями территории.

Формирование инженерно-геологических условий на всех этапах развития происходило под влиянием как региональных, так и зональных факторов. Результаты действия этих факторов в геологическом прошлом отражаются в геологическом строении и характере пород и в следах действия геологических процессов (карст, тектоническая нарушенность пород). Чем более удалено в геологическое прошлое время формирования определенного элемента геологической среды, тем менее сохранилось влияние на него зональных факторов. Влияние зональных факторов больше сказывается на современном этапе. При региональной инженерно-геологической оценке территории и классификации геологических тел, а также при районировании влияние региональных факторов занимает более высокое, управляющее положение.

При инженерно-геологической оценке территории необходимо учитывать и антропогенный фактор, в первую очередь, путем анализа инженерно-геологических процессов и явлений.

2.2 Роль геолого-структурных и неотектоно-геоморфологических факторов в формировании инженерно-геологических условий

Геолого-структурные факторы формирования инженерно-геологических условий определяют: состав и возраст горных пород, условия их залегания, пространственное положение и строение тектонических элементов, морфологию геологических структур, историю геологического развития региона.

Для каждого из главнейших тектонических элементов земной коры характерны типичный набор геологических формаций и формациобразующих пород; специфика постгенетических изменений этих пород; геологическая структура, определяющая условия залегания, характер и степень нарушенности горных пород; определенные гидрогеологические особенности; современные геологические процессы и явления. Рассматривают инженерно-геологические условия:

- щитов;
- структур чехла древних платформ и молодых плит;

- межгорных прогибов;
- впадин;
- складчатых структур.

Фундамент, срединные массивы складчатых областей и щиты.

Структуры фундамента (а также часто срединных массивов складчатых областей) представлены магматическими и метаморфическими формациями. Следовательно, прочность пород превышает нагрузку от любого типа инженерных сооружений. Главными причинами снижения прочности массивов этих пород являются тектоническая раздробленность, трещиноватость и выветрелость.

Эти же факторы определяют неоднородность, анизотропность и обуславливают блочное строение скальных массивов щитов.

Зоны тектонических нарушений оказывают и косвенное влияние, ухудшаются прочностные и деформационные свойства пород:

1) они (тектонические нарушения) являются путями наиболее глубокого проникновения в них агентов выветривания. Линейные зоны выветривания, формирующиеся по тектоническим нарушениям, могут иметь мощность > 100 м;

2) они являются основными путями движения подземных вод; как правило, они аномально обводнены по сравнению с сохранными блоками;

3) к зонам разломов приурочены наиболее мощные осыпи, оползни и обвалы;

4) в областях развития многолетней мерзлоты мощность последней в зонах разломов значительно сокращена и нередко мерзлые породы вообще отсутствуют;

5) они (разломы) являются главным фактором формирования внутренней структуры поля напряжений в массивах.

Отмеченные инженерно-геологические черты щитов характерны для тектонических структур этого класса во всем мире – Балтийского, Украинского, Алданского, Анабарского, Аравийского, Канадского, щита Северо-Американской докембрийской платформы и т. д., т. е. являются для них типологическими.

Древние платформы. В их чехле можно встретить все литологические типы осадочных формаций в различной степени литифицированные. Особенности древних платформ:

1) в геологическом строении верхних горизонтов положительных структур преобладают палеозойские отложения – плотные аргиллитоподобные глины, алевролиты, песчаники, т. е. упрочненные разности пород. Отрицательные структуры сложены менее прочными, умеренно литифицированными песчано-глинистыми отложениями верхних

структурных этажей. И те, и другие можно рассматривать как удовлетворительное основание для большинства наземных инженерных сооружений;

2) чередование в разрезе песчаных и глинистых пород, водопроницаемых и водоупорных пород способствуют возникновению оползней. Они часто встречаются в пермских, юрских, меловых и палеогеновых отложениях Русской платформы; в каменноугольных, юрских и меловых образованиях бассейнов Енисея, Ангары, Лены и других рек Сибирской платформы;

3) в геологическом разрезе чехла древних платформ широко распространены карбонатные формации и развит карбонатный карст (Приенисейский, Прибайкальский регионы; погруженные склоны Алданского и Анабарского щитов на Сибирской платформе). Карбонатные разрезы характерны также для отложений ордовикской, силурийской, девонской, каменноугольной, пермской и верхнего отдела меловой системы Русской платформы;

4) многие геологические структуры чехла развивались в кайнозое, с ними связаны особенности современного рельефа (расположение переуглубленных долин, выполненных аллювиальными осадками большой мощности; закономерности развития четвертичного карста, оползней, оврагов и других экзогенных процессов);

5) многослойное строение осадочного чехла определяет особенности гидрогеологической структуры: сложно построенные водоносные комплексы и горизонты, часто взаимосвязанные. Разгрузка этих вод в строительные и горные выработки приводит к прорывам пьезометров, карстово-суффозионным провалам, деформациям откосов.

Эпипалеозойские плиты (Западно-Сибирская, Туранская, Скифская). Верхнюю часть геологического разреза составляют терригенные кайнозойские отложения большой мощности (> 100 м). Велика мощность и континентальных четвертичных слаболитифицированных отложений (десятки метров). По существу все наземные сооружения возводятся на песчано-глинистых отложениях этого возраста. Пески обладают высокой пористостью; глины пластичные, сжимаемые и сильно сжимаемые, набухающие, что ограничивает допустимые на них нагрузки. Наиболее характерные инженерно-геологические процессы – выпор пород в основания строительных котлованов и карьеров в результате набухания и разгрузки глин, суффозия, оплывание и оползни в бортах, неравномерные осадки основания.

Крайевые зоны платформ. В строении большинства передовых прогибов (Предуральского, Предкарпатского, Приенисейского и др.) велика роль пород гипсово-доломитовых и каустобнолитовых формаций,

интенсивно закарстованных. Следовательно, требуются специальные исследования при освоении этих районов.

Складчатые системы, межгорные прогибы и впадины в горно-складчатых областях (Забайкалье, Алтай-Саянская область, горные сооружения Средней Азии). Для складчатых сооружений типично:

1) широкое распространение всех трех генетических групп формаций: осадочных, магматических и метаморфических;

2) сложная дислоцированность как пликативного, так и дизъюнктивного типа;

3) весьма большая изменчивость разрезов, в т. ч. существенно различное строение разновозрастных отложений в разных структурно-фациальных зонах;

4) высокая степень литогенетических преобразований.

Региональные закономерности изменения степени метаморфизма и дислоцированности пород определяются геологической историей каждой складчатой области. В сложно построенных синклинорных и антиклинорных сооружениях осадочные породы принадлежат геосинклинальным формациям, в разной степени метаморфизованным. Вместе с тем, в пределах этих сооружений можно выделить несколько структурных этажей, каждый из которых сложен определенным набором формаций, претерпевших различный метаморфизм и складчатость: характеризующихся различной региональной трещиноватостью и другими геологическими особенностями.

Ядра антиклинорий, срединные массивы часто сложены наиболее сильно метаморфизованными породами (гнейсы, кристаллические сланцы) и по своим инженерно-геологическим свойствам близки к массивам платформенных щитов. Синклинии выполнены породами верхних структурных этажей, менее метаморфизованными (филлиты, метаморфизованные песчаники, известняки). Однако все породы имеют высокую прочность и ничтожную деформируемость. Показатели физико-механических свойств пород определенного состава и возраста (песчаники, глины, алевролиты) в складчатых областях значительно выше, чем пород того же литологического типа и возраста на платформах.

В складчатых областях и на новейшем этапе сохраняется мобильность структур, определяющая высокую энергию горного рельефа, интенсивное развитие склоновых процессов, повышенную сейсмичность.

Каждая горно-складчатая область имеет и индивидуальные инженерно-геологические характеристики. Например, в геологических разрезах Забайкалья роль карбонатных отложений ничтожна. А в пределах мегантиклинория Большого Кавказа такие породы являются определяющими.

Даже в пределах одной горно-складчатой системы инженерно-геологические условия могут существенно отличаться. Так, например, в Саяно-Алтайской области в пределах мегантиклинорий Восточного Саяна и Кузнецкого Алатау широко развиты карбонатные формации и нысока закарстованность. А в Западных Саянах в геологическом строении преобладают терригенные метаморфизованные породы.

Наложённые межгорные впадины и прогибы (особый тип инженерно-геологических регионов). Межгорные прогибы и впадины отличаются от сопряженных складчатых сооружений строением разреза, условиями залегания пород, закономерностями обводненности, изменчивости состава, строения и свойств пород. Как правило, они (межгорные прогибы и впадины):

1) выполнены породами самых молодых для данного тектонического региона структурных этажей;

2) в них преобладают терригенные формации, реже -- терригенно-карбонатные; известны впадины, выполненные вулканогенными толщами;

3) породы не метаморфизованы, но могут находиться на различных стадиях литогенеза и в зависимости от этого могут быть представлены как прочно сцементированными разностями (песчаники, алевроиты мезозойских впадин Забайкалья, Минусинского прогиба), так и слабоуплотненными, даже лессовыми грунтами (пески, галечники и лессы кайнозойских впадин горно-складчатых сооружений средней Азии).

Общие черты межгорных впадин обусловлены их геологической структурой и особенностями осадконакопления:

1) присутствие в разрезе молассовых* или молассоподобных формаций;

2) осадконакопление происходило в замкнутых или полужамкнутых бассейнах, поэтому даже в тех случаях, когда соленосные толщи не образовывались, породы характеризовались загипсованностью, повышенной засоленностью;

3) замкнутый характер водоемов, часто близкая к изометричной форма обусловили дифференциацию отложений: от периферии впадин к центральным частям увеличивается дисперсность обломочных пород, континентальные и прибрежные фации сменяются более

* Молассовая формация характерна для краевых прогибов. Представлена сероцветными или красноцветными конгломератами, песчаниками, глинами и мергелями. Характерны крупная ритмичность, неправильное наложение, косая слоистость. Вблизи горных систем -- мощные конгломераты, замещающиеся по мере удаления от гор песчаниками, затем -- мергелями и глинами с пачками песчаников и конгломератов. Мощность -- более нескольких километров.

глубоководными. Закономерно в тех же направлениях изменяются водопроницаемость, химический состав подземных вод, их гидравлические градиенты.

Характер сопряжения межгорных впадин и горных сооружений. Очень часто межгорные впадины представляют собой грабен-синклинали и ограничены разрывными нарушениями, живущими в новейшее время. В этих случаях активные разломы играют роль экранов, контрастно разделяющих инженерно-геологические условия впадин и горных сооружений по всем компонентам: рельефу, гидрогеологическим и мерзлотным условиям, современным процессам.

В других случаях древние тектонические впадины (палеозойские, мезозойские) оказались вовлеченными в новейшее горообразование, что привело к более постепенной смене орографических, гидрогеологических, экзодинамических характеристик горных сооружений на характеристики впадин.

Но, во всех случаях периферийные части впадин сложены более грубыми породами, представляют собой области транзита и разгрузки подземных вод, т. е. более обводнены. На участках развития многолетнемерзлых пород области транзита и разгрузки характеризуются аномально низкими мощностями.

Платформенные структуры на неотектоническом этапе развития. Важной особенностью является блоковое строение, связанное с движением по разломам. Активные новейшие разрывные нарушения обычно не смещают слои осадочного чехла в верхней части, а выражаются в ландшафте. В результате над ними в чехле образуются узкие зоны повышенной трещиноватости и флексуробразных перегибов, с которыми связаны зоны ослабления пород, разрядки напряжений, увеличение проницаемости пород, глубинный газо- и водообмен, активная взаимосвязь поверхностных и подземных вод. К ним приурочены долины рек, спрямленные берега озер и границы болот, развитие карстовых процессов, аномальные источники подземных вод.

Новейшие движения определяют:

- 1) важнейшие черты геоморфологических условий;
- 2) развитие и строение новейших континентальных отложений;
- 3) особенности режима и глубины залегания грунтовых и верхних горизонтов подземных вод;
- 4) распространение и интенсивность развития многих геологических процессов;
- 5) существенно сказываются на геологическом строении территории, они обуславливают:

- а) выход на поверхность пород более древних структурно-тектонических этажей и степень их обводненности;
- б) степень сейсмичности территории;
- в) особенности напряженного состояния земной коры и отдельных массивов пород.

Повейшие тектонические движения оказывают существенное влияние на развитие геологических процессов:

- карст обычно приурочен к сводовым частям поднятий с небольшой мощностью рыхлых покровных отложений или к зонам с повышенной трещиноватостью пород и активным водообменном;
- оползневые процессы более активны в пределах поднятий с более высокими и крутыми склонами;
- оврагообразование усиливается на поднятиях с расчлененным рельефом. Особенно возрастает на инверсионных четвертичных поднятиях, сложенных молодыми нелигифицированными породами.

Орогенные пояса представляют собой широкие планетарные зоны дробления, живущие в неотектонический этап, к которым приурочены сложные в ИГ отношении территории. Эпигеосинклинальные орогены (Карпаты, Кавказ, Копетдаг, Южный Крым) характеризуются:

- 1) незавершенностью интенсивных горо- и складкообразовательных процессов;
- 2) большим размахом, контрастностью новейших деформаций;
- 3) линейностью сводовых и сводово-блоковых форм, а в краевых и межгорных прогибах – новейших складчатых форм;
- 4) значительной ролью продольных и поперечных глубинных разломов;
- 5) наличием надвиговых и сдвиговых перемещений;
- 6) высокой сейсмичностью;
- 7) большой степенью унаследованности новейших структур наряду с инверсионными.

Интенсивное воздымание складчатых сооружений сопровождается углублением сопряженных прогибов. Глубинная эрозия растущих гор поставляла материал, заполнявший впадины. Следовательно, сложность инженерно-геологических условий эпигеосинклинальных орогенов целиком определяется неотектоникой:

- тектоническая раздробленность;
- разнообразие литологического состава пород;
- современная тектоническая активность;
- сейсмичность;
- вулканизм;
- многообразие геоморфологических форм;

- режим подземных вод;
- широкое развитие и активность современных геологических процессов.

2.3 Гидрогеологические условия и мерзлотная обстановка как факторы формирования инженерно-геологического облика территории

При оценке гидрогеологического фактора формирования инженерно-геологических условий учитывают:

- основные закономерности формирования подземных вод в регионе;
- динамику подземных вод;
- их режим;
- химический состав.

Все это определяется методами гидрогеологии. Но в прикладной гидрогеологии есть целая группа задач, связанных с изучением, оценкой и прогнозом изменения гидрогеологических условий в процессе строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений:

- разработка методов оценки водопритоков в горные выработки;
- вопросы мелиоративной гидрогеологии;
- изучение изменения режима подземных вод на застроенных территориях, в зонах влияния водохранилищ и др.

Эти гидрогеологические задачи тесно связаны с региональной инженерной геологией. В инженерной геологии существует целый ряд проблем, при решении которых необходимы знания гидрогеологических параметров и закономерностей:

- изучение изменений состояния и свойств горных пород, происходящих при взаимодействии их с водой (набухание, растворение, суффозия и т. д.);
- прогноз взвешивающего и фильтрационного давления и др.

В региональной инженерной геологии особо учитывают гидрогеологическое строение и гидродинамический режим региона:

- фильтрационное строение массива (количество и характер водоносных горизонтов и комплексов, их взаимосвязь, проницаемость);
- стратиграфическое и геоморфологическое положение этих горизонтов и комплексов, а также области их питания и разгрузки;
- влияние на гидрогеологические условия физической широтной зональности и высотной поясности;
- химический состав подземных вод.

В инженерно-геологических расчетах и прогнозах используются некоторые гидрогеологические характеристики – глубина залегания грунтовых вод и их режим; гидростатические напоры; фильтрационные параметры; агрессивность подземных вод по отношению к строительным конструкциям и материалам.

При инженерно-геологической оценке местности грунтовые воды играют очень важную роль. Как правило, они заключены в дисперсных отложениях четвертичного возраста, реже – в более древних образованиях неотектонического структурного этажа. Осадочные породы этого этажа литифицированы слабо, следовательно, их свойства особенно чутко реагируют на изменение влажности.

Грунтовые воды – один из наиболее ярко выраженных зональных факторов формирования инженерно-геологических условий. Их глубина залегания, минерализация и химический состав различны в разных географических зонах и подчинены общим зональным закономерностям. Например, на Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнинах по мере продвижения с севера на юг увеличивается глубина залегания грунтовых вод, растет их минерализация, изменяется тип агрессивности.

Но в изменении гидрогеологической обстановки не менее важное значение имеют и региональные (геологические) условия территории, и первую очередь, – строение четвертичных отложений и рельеф местности. Например, с севера-северо-запада на юг-юго-восток Русской платформы и с севера на юг Западно-Сибирской плиты разновозрастные отложения и ледниковые формы рельефа сменяются перигляциальными, лессовыми, затем – внеледниковыми или морскими. Т. е. в данном случае гидрогеологические условия самым тесным образом связаны с особенностями рельефа и образующих его отложений.

Воды более глубоких горизонтов также имеют большое инженерно-геологическое значение. Особенно для инженерной геологии важна их роль при формировании карста, суффозии, оползней, наледей и др. явлений.

В настоящее время техногенное влияние на геологическую среду приводит к ее изменению в региональных масштабах. Причинами изменений гидрогеологических условий, в частности, являются:

- сельскохозяйственная мелиорация земель;
- отбор подземных вод для водоснабжения;
- поддержание давления в нефтеносных пластах;
- откачки с целью осушения горных выработок;
- создание водохранилищ;
- подпор грунтовых вод на застроенных территориях.

Техногенное изменение гидрогеологических условий приводит к возникновению следующих инженерно-геологических процессов:

- оседанию поверхности земли;
- иссушению грунтов или заболачиванию;
- вторичному засолению;
- активизации природных экзогенных явлений;
- изменению сейсмичности;
- ухудшению показателей физико-механических свойств грунтов.

Таким образом, происходят изменения ИГ условий территории, не характерные для ее естественного состояния.

Мерзлотная обстановка является важнейшим фактором формирования инженерно-геологических условий:

1) многолетнемерзлые породы – это специфический класс грунтов, свойства которых существенно зависят от количества льда в них и их температуры и резко изменяются с изменением последней, особенно при ее значениях, близких к 0 °С. Эти породы занимают более 25 % суши земного шара; мощность их достигает 1 000 м и более;

2) в пределах криолитозоны активно протекает обширный комплекс мерзлотных процессов, из которых одни (криогенные) обуславливают прогрессивное развитие и новообразование многолетнемерзлых толщ и криогенных форм рельефа. Другие (посткриогенные) – приводят к деградации многолетнемерзлых пород и формированию характерных форм рельефа;

3) наличие многолетнемерзлых пород коренным образом изменяет гидрогеологическую структуру территории, чем и определяется ее роль в формировании инженерно-геологических условий;

4) многие параметры мерзлотной обстановки являются очень чувствительными к изменению внешних и внутренних условий, это обуславливает повышенную чувствительность инженерно-геологических условий в целом.

Мерзлотные условия в течение очень небольшого по продолжительности отрезка четвертичного периода – голоцена (12 тысяч лет) – претерпели чрезвычайно сложную историю развития. Это сыграло существенную роль на заключительном этапе формирования современных инженерно-геологических условий криолитозоны: изменились ход выветривания горных пород, ход и скорость аккумуляции отложений, т. е. весь процесс литогенеза в целом. При мерзлотном районировании выделяют обычно три принципиально различные геокриологические зоны.

1 Северная зона – зона практически сплошного распространения (95–100 % площади) многолетнемерзлых низкотемпературных пород, как правило, большой мощности.

2 Центральная зона – зона совместного распространения многолетнемерзлых и сезонномерзлых пород. В ней выделяют подзоны:

- а) массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород (площадь, занятая этими породами, составляет 60–95 % общей площади);
- б) островного (30–40 %);
- в) редкоостровного (менее 30 %, чаще – 5–10 % площади подзоны).

3 Южная – зона развития сезонномерзлых грунтов. Выделяют подзоны:

- а) северную – систематического сезонного промерзания пород;
- б) южную – подзону кратковременного и несистематического промерзания горных пород.

Таким образом, наличие многолетнемерзлых пород приводит к формированию специфической инженерно-геологической обстановки. Условия строительства в ее пределах очень сложные.

2.4 Современные геологические процессы и явления как фактор формирования инженерно-геологических условий

Современные инженерно-геологические процессы представляют собой наиболее быстро развивающийся компонент, во многом обуславливающий динамичность всей инженерно-геологической обстановки. Изучение процессов и явлений служит основой обоснования инженерных мероприятий, направленных на защиту инженерных сооружений или территорий.

Характерными особенностями инженерно-геологических процессов и явлений, как фактора формирования инженерно-геологических условий является то, что:

- 1) они (процессы и явления) наиболее молодые и развивающиеся в настоящее время;
- 2) нередко они протекают геологически мгновенно, исторически – критковременно;
- 3) являются наиболее активным фактором формирования инженерно-геологических условий;
- 4) являются фактором, изменяющим инженерно-геологические условия как очень крупных по площади территорий, так и локальных участков.

Природные современные процессы развиваются под влиянием региональных геологических факторов (например, синклинальные области → расчлененный рельеф → оползни, сели, осыпи, обвалы и др.), так

и под влиянием зональных факторов (например, дожди + снеготаяние → оползни, сели; направление и сила ветра → интенсивность абразии).

Вопросы для самоконтроля

1 Какие две группы факторов формирования современных инженерно-геологических условий выделил И. В. Попов?

2 Охарактеризуйте региональные факторы формирования ИГ условий. Приведите примеры.

3 Дайте характеристику зональным факторам ИГ условий. Приведите примеры.

4 Что определяет геолого-структурные факторы формирования инженерно-геологических условий?

5 Инженерно-геологические условия фундамента, срединных массивов складчатых областей и щитов.

6 Дайте инженерно-геологическую характеристику древних платформ.

7 Что собой представляют с инженерно-геологической точки зрения эпипалеозойские плиты (Западно-Сибирская, Туранская, Скифская) и краевые зоны платформ?

8 Инженерно-геологические условия складчатых систем; межгорных прогибов и впадин в горно-складчатых областях (Забайкалье, Алтае-Саянская область, горные сооружения Средней Азии); наложенных межгорных впадин и прогибов. Характер сопряжения межгорных впадин и горных сооружений.

9 Инженерно-геологическая характеристика платформенных структур на новейшем этапе развития. Орогенные пояса.

10 Задачи, связанные с изучением, оценкой и прогнозом изменения гидрогеологических условий в процессе строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений.

11 Грунтовые воды как один из зональных факторов формирования инженерно-геологических условий.

12 К каким последствиям приводит техногенное изменение гидрогеологических условий?

13 Каким образом мерзлотная обстановка влияет на формирование инженерно-геологических условий?

14 Дайте характеристику основным геокриологическим зонам.

15 Охарактеризуйте особенности инженерно-геологических процессов и явлений, как фактора формирования инженерно-геологических условий.

Тема 3

Структурно-вещественные комплексы в региональной инженерной геологии

3.1 Классификация геологических тел в региональной инженерной геологии

3.2 Характеристики при описании геологических тел

3.3 Учение о формациях для региональной инженерной геологии

3.4 Номенклатура формации

3.1 Классификация геологических тел в региональной инженерной геологии

Первая классификация горных пород при региональных инженерно-геологических исследованиях была предложена И. В. Поповым в 1947 году и уточнена и дополнена перед изданием монографии «Инженерная геология СССР» в 1973 г.

Классификация И. В. Попова основана на последовательном вычленении в геологическом пространстве тел, характеризующихся по мере членения все большей инженерно-геологической однородностью. В настоящее время в классификационной схеме выделяют: формации → геолого-генетические комплексы → фации → литолого-петрографические комплексы → петрографические типы пород → инженерно-геологические виды и разновидности.

Формация (в инженерной геологии) – геологическое тело, сформировавшееся в определенной тектонической и физико-географической обстановке, пережившее в дальнейшем определенную геологическую историю и представляющее собой комплекс парагенетически* связанных пород, слоев, пачек и т. д., взаимное расположение которых определяет структуру формации.

Генетический комплекс отложений – часть формации – единое в генетическом отношении тело, сформировавшееся в одинаковой физико-географической (физико-химической для магматических и метаморфических образований) обстановке и сложенное определенным набором фаций, формирующих его внутреннюю структуру.

* Парагенезис – совместное нахождение в результате одновременного или последовательного образования.

Фация (в инженерной геологии) – геологическое тело более или низкого ранга, чем генетические типы отложений. Это – часть генетического комплекса – геологические тела одного генетического типа и возраста, образованные в одинаковых физико-географических (физико-химических) условиях и отличающиеся от других фаций того же генетического типа динамикой среды породообразования. Например, русловая, пойменная, старичная и др. фации аллювия; амфиболитовая, гиперстеновая и др. фации метаморфических толщ и т. д.

Инженерно-геологический анализ должен проводиться последовательно, на всех иерархических уровнях. Только тогда может быть получена информация, необходимая для установления закономерностей распределения* в земной коре геологических тел с одинаковыми инженерно-геологическими свойствами.

3.2 Характеристики при описании геологических тел

При региональном описании территорий и их инженерно-геологическом картировании важна стандартизация характеристик геологических тел.

Обязательными характеристиками при описании являются следующие:

- формаций – тектонический класс, возраст, принадлежность к определенным структурам земной коры, объем (размеры), характер границ с соседними формациями, литологический тип, дислоцированность, внутренняя структура, степень и характер постгенетических изменений, общие закономерности изменчивости состава и строения;

- генетических комплексов – принадлежность к определенной формации со всеми характеристиками последней, положение комплекса в структуре формации, его объем, внутренняя структура, фациальная изменчивость. Для континентальных четвертичных отложений – приуроченность к определенным типам и формам рельефа и климатическим зонам;

- фаций – положение в структуре генетического комплекса, морфологическая характеристика, внутренняя однородность по составу, условиям залегания, важнейшим ИГ свойствам пород, слагающих фацию. Фации при региональных исследованиях можно использовать как ИГ элемент, в границах которого допустим статистический анализ состава, структуры и свойств грунтов, слагающих его.

3.3 Учение о формациях для региональной инженерной геологии

Формационный анализ позволяет:

1) установить закономерности образования геологических тел, обладающих определенной инженерно-геологической структурой и свойствами;

2) выяснить закономерности распространения геологических тел в земной коре;

3) выявить зависимости между формированием инженерно-геологических свойств горных пород и геологической историей региона;

4) установить особенности залегания и тектонической нарушенности пород того или иного формационного комплекса.

В геологии существует множество определений формаций. Например:

— по Н. С. Шатскому (1945 г.) – формации – такие естественно выделенные комплексы, сообщества или ассоциации горных пород, отдельные части которых (породы, слои) тесно, парагенетически связаны друг с другом, как в возрастном, так и в пространственном отношении;

— по Н. М. Страхову – сохранение на достаточно большом участке земной коры в течение длительного времени одного и того же тектонического режима при одинаковых климатических и гидрогеологических условиях (или при закономерно повторяющейся смене их) приводит к формированию единого в структурно-вещественном отношении сообщества горных пород – формации;

— по Г. Ф. Крашенинникову – формация – геологическое тело, представленное комплексом генетических типов отложений, парагенетически тесно связанных друг с другом и образовавшихся в единой климатической и тектонической обстановке.

Таким образом, формация – крупное по физическим и по стратиграфическим объемам геологическое тело, занимающее наиболее высокий уровень в иерархической схеме: горная порода → фация → генетический комплекс → геологическая формация. Признаки формации:

1) состоит из определенного набора горных пород;

2) имеет определенную, присущую только ей внутреннюю структуру, т. е. характеризуется определенным сочетанием слагающих ее пород;

3) занимает совершенно определенное место в современной структуре земной коры.

С точки зрения инженерной геологии, формации должны обладать одинаковыми или близкими свойствами в целях выбора места для строительства и выполнения ИГ изысканий.

3.4 Номенклатура формации

За основу общей классификации геологических формаций В. Е. Хаин (1973 г.) принял тектонический фактор. Он (фактор) определяет объем и тип осадков, направленность процессов литогенеза, интенсивность и характер вулканизма, энергию рельефа, а, следовательно, скорость размыва, переноса и накопления осадков.

В. Е. Хаин отмечал также важную роль климатических факторов и стадийность развития структурных элементов земной коры. Сочетание этих факторов определяет облик конкретной формации.

Таким образом, общий характер формации устанавливается следующими постоянными факторами:

- 1) тектоническим режимом областей размыва и накопления;
- 2) положением обеих областей в определенной климатической зоне;
- 3) составом пород в области размыва.

Переменными факторами, изменяющимися во время накопления данной формации, являются:

- 1) соотношение скорости поднятия области размыва и скорости погружения в области накопления;
- 2) положение области накопления относительно уровня океана или замкнутого водоема (эвстатические колебания);
- 3) размер привноса вулканогенного материала.

Эти факторы определяют переслаивание пород в составе формаций. Это – общегеологический подход к учению о формациях. Инженерно-геологическое изучение формаций опирается на общегеологические разработки, но имеет свои особенности, определяемые закономерностей главной задачей региональной инженерной геологии – выявления распространения формаций со схожими инженерно-геологическими особенностями.

Тектонический фактор определяет:

- 1) генезис формации (осадочный, магматический, метаморфический);
- 2) ее строение (набор генетических или фациальных комплексов);
- 3) современное состояние (стадии литогенеза, дислоцированность и т. д.);
- 4) характер изменчивости строения формации, состава и свойств пород.

Например, в общем случае, для плагформенных формаций типично закономерное изменение их свойств по глубине (уменьшение пористости, влажности, нарастание плотности) и от прибрежных зон осадконакопления к глубоководным (радиальный, сходящийся тип изменчивости). В геосинклинальных толщах не отмечается резких

различий по глубине, а наибольшая изменчивость наблюдается вкост простирания тектонических структур. Поэтому при инженерно-геологической классификации формаций наиболее их крупные таксономические единицы – классы – выделяются по тектоническому признаку.

Влияние климатогенных факторов на формирование инженерно-геологических особенностей формаций менее универсально. Более всего их действие сказывается на минеральном составе пород осадочных формаций. Например, породы орогенного класса, сформировавшиеся в гумидных условиях, – угленосные; в аридных – гипсово-доломитовые, красноцветные эвапоритовые*.

На основании физико-географических условий среды выделяют подклассы формаций. Подклассы учитывают не только физико-географическую обстановку (морская или континентальная), но и физико-химические особенности среды (окислительно-восстановительный потенциал, pH, состав флюидов и т. д.), от которых зависит состав формирующихся пород.

Совместное действие эндо- и экзогенных факторов на различных стадиях развития тектонических элементов определяет тип конкретной формации: песчано-глинистые, карбонатные, флишевые**, спилит-кератофировые***, гранитоидные, гипербазитовые, гранитогнейсовые, глинисто-сланцевые и др.

Зависимость литологических типов формаций и их свойств от времени отражает подтип формаций: нижнекембрийские, мезозойские, девонские и т. д.

Вид осадочных формаций отражает степень литификации слагающих их пород:

- 1) слаболитифицированные – несцементированные неуплотненные песчано-глинистые породы современных морских отложений, большинство континентальных четвертичных отложений, например, лессы и т. п.;
- 2) умереннолитифицированные – плотные глины, слабые песчаники;

* Эвапоритовые – осадки из пересыщенных растворов.

** Флишевая – геосинклинальная терригенная (карбонатная) формация, отлагающаяся в глубоководном прогибе. Характерна для среднего этапа развития геосинклиналей, предшествующего общей инверсии и началу накопления моласс. Характерна четко выраженная ритмическая и градационная слоистость.

*** Спилит-кератофировая формация – естественная ассоциация лав, их пирокластолитов и субвулканических интрузивных пород основного и кислого состава, специфичная для ранних стадий формирования первичных геосинклинальных прогибов.

3) сильнолитифицированные: крепкие песчаники, алевролиты, аргиллиты.

Литологические изменения в разных породах одной и той же формации проявляются различно. Например, глины чутко реагируют на изменение обстановки в процессе литогенеза; а известняки уже на ранних стадиях катагенеза приобретают устойчивые кристаллизационные связи. Главное – породы данной формации претерпели одинаковый литогенез и находятся на одной и той же его стадии.

Таким образом, в инженерной геологии выделяют следующие иерархические уровни формаций: вид → подтип → тип → подкласс → класс.

Вопросы для самоконтроля

1 Что собой представляет в настоящее время классификационная схема геологических тел?

2 Дайте определение понятия «формация».

3 Дайте определение понятия «генетический комплекс отложений».

4 Дайте определение понятия «фация».

5 Какие характеристики являются обязательными при описании геологических формаций?

6 Какие характеристики являются обязательными при описании генетических комплексов отложений?

7 Какие характеристики являются обязательными при описании фаций?

8 Что позволяет выявить или установить формационный анализ?

9 Перечислите признаки формаций.

10 Какое прикладное значение имеет выделение формаций в инженерной геологии? Приведите примеры.

11 Что такое постоянные факторы, устанавливающие общий характер формации?

12 Что такое переменные факторы, устанавливающие общий характер формации?

13 Какие инженерно-геологические характеристики формации определяют тектонический фактор?

14 Влияние климатогенных факторов на формирование инженерно-геологических особенностей формаций.

15 Иерархические уровни формаций в инженерной геологии.

Тема 4

Теоретические и методологические основы инженерно-геологического районирования

- 4.1 Районирование в инженерной геологии
- 4.2 Варианты районирования в инженерной геологии
- 4.3 Принципы и признаки инженерно-геологического районирования
- 4.4 Системы и таксономические единицы районирования

4.1 Районирование в инженерной геологии

Инженерно-геологическое районирование – специальный вид геологического районирования. Оно рассматривается как один из методов систематизации знаний об инженерно-геологических условиях территории, оценки их неоднородности и сложности. Инженерно-геологическое районирование широко используется на разных стадиях инженерно-геологических исследований. Особенно велика его роль при средне- и мелкомасштабных работах, что позволяет рассматривать районирование в качестве важнейшего метода региональных исследований. И. В. Попов в 1961 г. отмечал, что инженерно-геологическое описание, «...чтобы быть систематичным и удобным для практического использования, всегда требует районирования территории». В данном случае для систематической региональной инженерно-геологической характеристики территории ее необходимо разделить на однородные по инженерно-геологическому «характеру» части и описать их, указывая сходство и различие, закономерности и обусловленность характерных инженерно-геологических черт».

Различные исследователи в понятие «инженерно-геологическое районирование» вкладывали различный смысл.

А. А. Маккавеев в 1971 г. приводит такое определение: инженерно-геологическое районирование – разделение исследуемой территории на соподчиненные таксономические элементы, характеризующиеся внутренней общностью и внешними различиями инженерно-геологических условий.

И. С. Комаров указывал, что инженерно-геологическое районирование – это последовательное деление изучаемой территории на отдельные части (территориальные единицы), которые характеризуются все большей однородностью по инженерно-геологическим условиям.

Г. А. Голодковская под районированием понимает выделение и описание отдельных территорий, объединенных общностью определенных показателей.

Все эти определения, по мнению В. Т. Трофимова, не отражают сущность инженерно-геологического районирования в полной мере. Это обусловлено тем, что под районированием понимается не только разделение и описание, а, прежде всего, выявление, а затем уже выделение (ограничение) в сложной и многосторонней геологической системе территориальных инженерно-геологических элементов разного порядка, отличающихся друг от друга по современным морфологическим особенностям вследствие различной истории их формирования; систематизация выявленных территориальных элементов в определенную таксономическую систему, картографическое их отображение, а также их последовательная качественная и количественная характеристика и оценка. Отсюда следует, что инженерно-геологическое районирование – выявление в сложной и многосторонней геологической среде на основе совокупности теоретических положений и методических приемов системы территориальных элементов, обладающих какими-либо общими инженерно-геологическими признаками, ограничение их от территорий, не обладающих этими признаками, систематика, картографирование и описание.

4.2 Варианты районирования в инженерной геологии

В практике инженерно-геологических исследований применяются различные варианты районирования. Они подразделены В. Т. Трофимовым на 2 типа, 5 видов и 10 разновидностей (рисунок 1).



Рисунок 1 – Систематика типов инженерно-геологического районирования (по В. Т. Трофимову)

Генетико-морфологическое или естественно-историческое районирование, при котором на основе определенных принципов и классификационных признаков выявляют, обособливают, классифицируют территориальные единицы разного порядка.

В практике инженерно-геологических исследований используются три вида генетико-морфологического районирования: региональный (индивидуальный), типологический и смешанный.

При региональном виде районирования, разработанном в основном Н. И. Николаевым и И. В. Поповым, изученная местность подразделяется на территориальные единицы разного порядка (ранга), причем, каждая последующая единица выделяется из предыдущей (более крупной) делением ее на отдельные части на основе выбранных классификационных признаков. При этом любая территориальная единица обособляется как целостный, непрерывный в пространстве элемент, разобщенный (окруженный) другими территориальными единицами. Каждая такая единица характеризуется ясно выраженной индивидуальностью, получает персональную характеристику и, как правило, собственное название. Например, на рисунке 2 и в таблице 1 приведены карта естественной дренированности территории г. Гомеля и легенда к ней.

Региональный вид генетико-морфологического инженерно-геологического районирования, обладая определенными достоинствами (в первую очередь, тем, что каждый контур, выделенный на карте, получает собственную характеристику), имеет ряд недостатков. И. С. Комаров показал, что основной недостаток такого районирования заключается в трудности экстраполяции данных, полученных при изучении одной территориальной единицы (при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений), на другие территориальные единицы одного с ней ранга. Остается неизвестным:

1) где располагаются территориальные единицы, обладающие сходством по инженерно-геологическим условиям с изучаемой;

2) в чем заключается сходство и какова степень сходства и различия между сопоставляемыми единицами.

Типологический вид генетико-морфологического районирования предусматривает выявление и выделение определенных типов территориальных единиц того или иного порядка на основе учета наиболее общих и существенных признаков, свойственных им, и отказа от учета многих частных особенностей этих единиц. При этом характеристика дается не каждому конкретному контуру, выделенному на карте (как при региональном виде районирования), а группе контуров данного типа. Обособленные типологические территориальные единицы, в отличие от региональных, могут существовать в виде разрозненных

участков, расположенных в различных частях изучаемой территории, на любом расстоянии друг от друга. Они могут перемежаться с торпильными единицами других типов (рисунок 3).



Рисунок 2 – Карта естественной дренированности территории г. Гомеля (составили Павловский А. И., Трапезская Е. Ю.)
 Легенда к карте – в таблице 1

Таблица 1 – Легенда к карте естественной дренированности территории г. Гомеля

Район	Подрайон	Характеристика района, подрайона
I Моренная равнина	Ia	<i>Территория очень хорошо дренируется.</i> Густота дренажной сети составляет здесь 1,5–2,5 км/км ² , плотность форм линейной эрозии 3–5 ед./км ² , глубина вреза эрозионных форм 10–20 м, длина линий поверхностного стока между тальвегами и водоразделами изменяется от 20 до 150 м, расстояние между ближайшими тальвеговыми линиями составляет 150–500 м.
	Ib	<i>Территория слабо дренируется.</i> Густота дренажной сети изменяется от 0,0 до 0,3 км/км ² , плотность до 1 ед./км ² , глубина вреза эрозионных форм 0,5–1,5 м, длина линий поверхностного стока 500–1500 м, расстояние между ближайшими тальвеговыми линиями изменяется от 800 до 1500 м.
II Зандровая равнина	IIa	<i>Территория слабо дренируется.</i> Густота дренажной сети – 0–0,5 км/км ² , плотность дренажных форм до 1 ед./км ² , глубина вреза эрозионных форм равна 1,0–1,5 м, длина линий поверхностного стока между тальвегами и водоразделами изменяется от 800 до 1200 м.
	IIb	<i>Территория хорошо дренируется.</i> Густота дренажной сети составляет 1–2 км/км ² , плотность 1–3 ед./км ² , глубина вреза эрозионных форм 0,5–1,5 м, длина линий поверхностного стока колеблется от 500 до 1000 м.
III Долина р. Сож	–	<i>Территория хорошо дренируется.</i> Густота дренажной сети составляет 1,0–3,5 км/км ² , глубина вреза эрозионных форм 0,5–3,5 м, плотность дренажных форм 1–7 ед./км ² , длина линий поверхностного стока изменяется от 1,5 до 2 км.

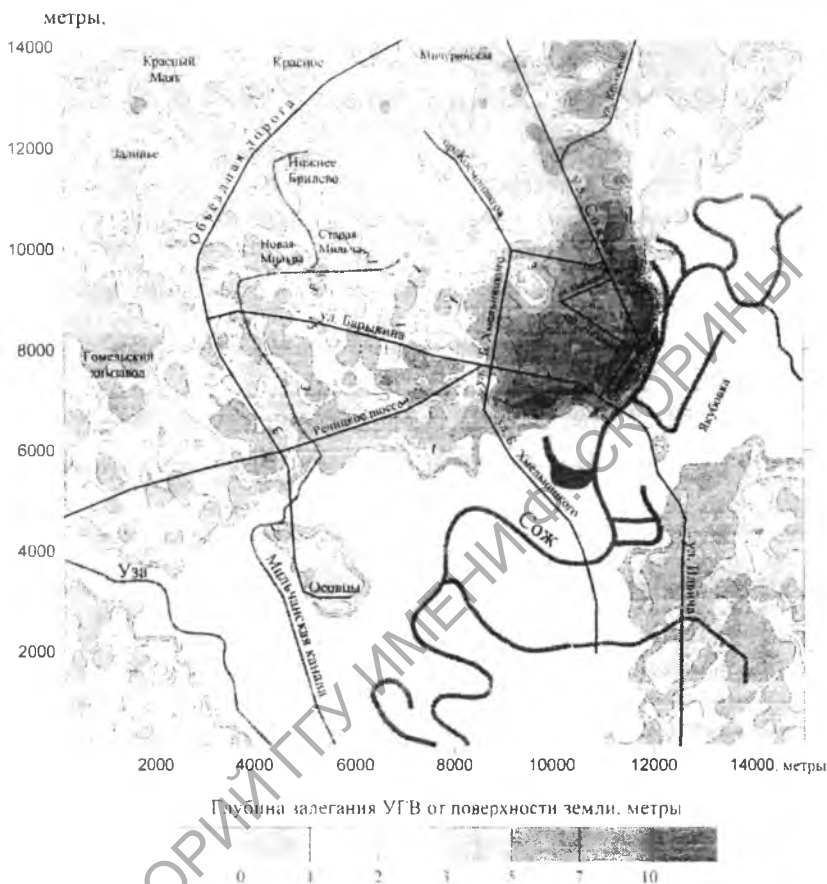


Рисунок 3 – Карта средне-минимальных за многолетие глубин залегания уровней грунтовых вод на территории г. Гомеля

В практической работе типологический вид районирования очень часто используют после осуществления регионального. При его выполнении проводят типизацию ранее выделенных региональных территориальных единиц, причем она может проводиться на любом уровне – на уровне регионов, провинций, зон, областей, районов и т. д. Однако, на каждом этапе типизации оно проводится применительно к какому-либо одному таксономическому уровню. Использование результатов типологического вида районирования (карт, схем) позволило И. С. Комарову:

1) экстраполировать данные инженерно-геологического изучения одной территориальной единицы на другие территориальные единицы в соответствии с установленной степенью сходства;

2) обобщать на этой основе результаты инженерно-геологических изысканий, опыт проектирования и строительства сооружений;

3) разрабатывать рекомендации по различным вопросам изысканий, проектирования и строительства сооружений.

Однако, типологическое районирование имеет и недостатки. Выявление и выделение типов территориальных единиц любого порядка проводится на основе учета наиболее общих и существенных признаков. Специфические индивидуальные черты отдельных территориальных единиц данного порядка (ранга) при этом не учитываются. Частичное уменьшение этого недостатка возможно при увеличении числа типов территориальных единиц данного ранга, выделяемых в процессе районирования. Полностью этот недостаток исключается лишь в том случае, когда число типов единиц данного ранга равно числу индивидуальных единиц, т. е. когда типологическое районирование превращается в индивидуальное. Однако здесь мы вновь приобретаем ряд недостатков и, главное, теряем достоинства типологического районирования.

Смешанное районирование. В процессе практической работы на определенных ее этапах часто бывает целесообразно переходить от одного вида генетико-морфологического районирования к другому, а затем, на следующем этапе, нередко совершать обратный переход. Такой вид районирования назван смешанным. В практике инженерно-геологического районирования он очень широко распространен. Обычно наиболее крупные территориальные единицы обособляются как региональные (индивидуальные), а более мелкие – как типологические единицы. Так, например, на рисунке 4 приведена карта инженерно-геологического районирования территории г. Гомеля, а в таблице 2 – легенда к ней.

Каждый вид генетико-морфологического инженерно-геологического районирования подразделяется по содержанию на две разновидности. В первой из них – общем районировании на обзорных, мелко- и среднемасштабных картах выявляются и обособляются территории, близкие по всем главным параметрам, определяющим их инженерно-геологический облик. Такие карты по существу многоцелевые. Они в первую очередь предназначены для решения вопросов, связанных с планированием и проектированием массовых видов строительства. При крупномасштабных, а нередко и среднемасштабных работах обычно переходят к специальной разновидности районирования, в процессе выполнения которого на картах территориальные элементы выявляются и обособляются с учетом специфики определенного вида строительства.

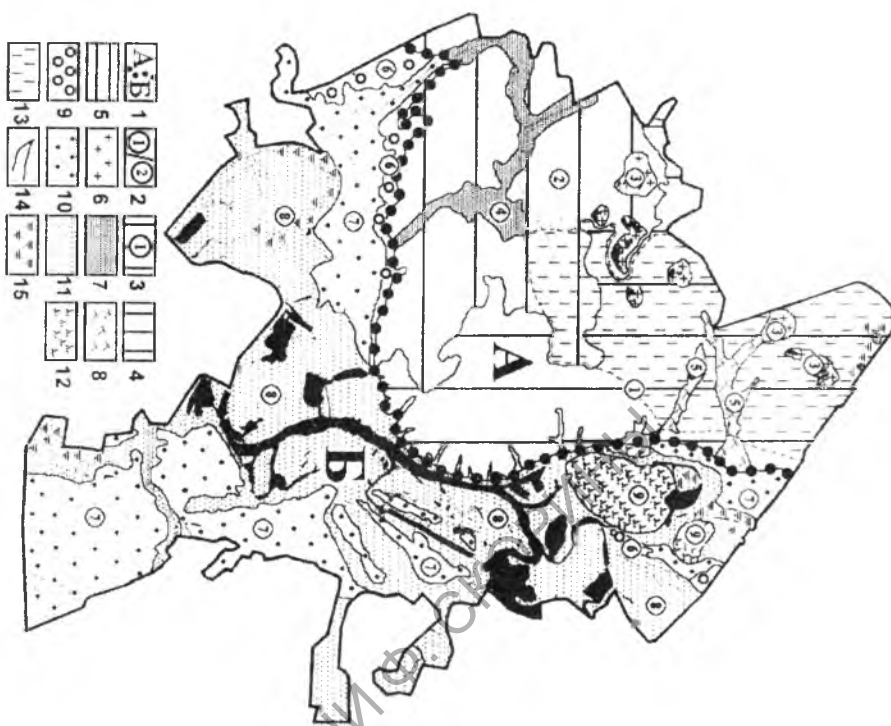
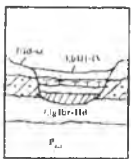
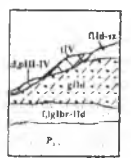
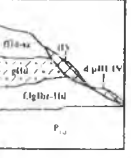


Рисунок 4 – Схематическая карта инженерно-геологического районирования территории г. Гомеля. Легенда – в таблице 2

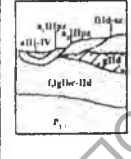
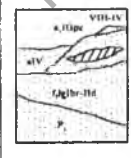
Таблица 2 – Легенда к карте инженерно-геологического районирования территории г. Гомеля

Инженерно-геологическая область	Номер инженерно-геологического района	Типовые геологические разрезы	Геоморфологическая характеристика	Инженерно-геологические особенности разреза	Инженерно-геологические процессы
1	2	3	4	5	6
А	1		Среднечетвертичная моренная равнина, поверхность пологоувалистая, осложнена суффозионными и термокарстовыми западинами, абсолютные отметки составляют 138,0–142,0 м	Моренные супеси и суглинки валунные с линзами, гнездами и карманами разнозернистых песков или уплотненного песчано-гравийного материала. С поверхности отложения изменены гипергенными процессами. Максимальная вскрытая мощность 12,6 м. Характерно развитие верховодки на глубинах 0,5–3 м. Толща обводнена спорадически по прослоям и линзам песков	Суффозия, эрозивно-денудационные явления, морозное пучение, появление верховодки, подтопление
	2		Среднечетвертичная флювиогляциальная равнина, поверхность ровная, местами пологоволнистая, осложнена суффозионными и термокарстовыми западинами, абсолютные отметки составляют 132,0–138,0 м	Флювиогляциальные пески разнозернистые, чаще мелкозернистые, с гнездами, линзами и прослоями тонких супесей, суглинков и глин (мощностью 3–10 м), песчано-гравийного и гравийно-галечного материала. С поверхности отложения изменены гипергенными процессами. Максимальная вскрытая мощность 11,1 м. Глубина залегания грунтовых вод 2–5 м	Суффозия, эрозивно-денудационные явления, появление верховодки, подтопление, загрязнение грунтовых вод

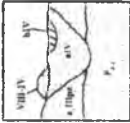
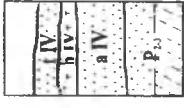
Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
А	3		Верхнечетвертичные – современные озерно-болотные понижения, развитые на моренной и флювиогляциальной равнинах: поверхность плоская, иногда слабоогнутая, часто заболоченная, абсолютные отметки составляют 129–137 м	Озерно-болотные суглинки с прослоями песка с гравием и галькой, супеси с прослоями и линзами песка мелкозернистого (мощность прослоев до 0,9 м) иногда заторфованного, пески пылеватые, слаборазложившийся торф. Мощность – 2–4 м. Грунтовые воды залегают на глубине 0,5–3,0 м	Неравномерная осадка грунтов в основании сооружений, увеличение агрессивности грунтовых вод, заболачивание
	4		Верхнечетвертичный долинный заандр, поверхность плоская, плоско-волнистая, местами слабо-наклонная, абсолютные отметки составляют 132–134 м	Аллювиальные пески разнородные, с линзами песчано-гравийного материала, маломощными прослоями супесей и суглинков. Максимальная вскрытая мощность 2,8 м. Глубина залегания грунтовых вод 2–5 м	Эрозия, появление верховодки, суффозия
	5		Верхнечетвертичные – современные ложбины стока талых ледниковых вод, поверхность плоская, плоско-волнистая, абсолютные отметки составляют 128,0–134,0 м	Делювиально-пролювиальные и техногенные пески различного гранулометрического состава, неотсортированные, лессовидные отложения, нередко с примесью грубообломочного материала. Мощность 2–3 м. Толща обводнена спорадически по прослоям и линзам песков, приуроченных к тальвегам овражно-балочных понижений	Активизация и возникновение ополывин, оврагов

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Б	6		Верхнечетвертичная вторая надпойменная терраса, поверхность плоская, иногда пологоволнистая, осложненная золовыми массивами, абсолютные отметки составляют 126,0–130,0 м	Аллювиальные пески разнородные с линзами песчано-гравийного материала, старичных супесей, гиттий и торфа. Мощность до 7–8 м. Глубина залегания грунтовых вод 1–3 м	Подтопление, заболачивание, загрязнение грунтовых вод, увеличение их агрессивности, суффозия
	7		Верхнечетвертичная первая надпойменная терраса, поверхность преимущественно плоская, местами слабо-волнистая за счет наличия золовых и прирусловых форм микрорельефа, абсолютные отметки составляют 102,0–126,0 м	Аллювиальные пески разнородные с линзами песчано-гравийного материала, старичных супесей, гиттий и торфа. Мощность до 10–15 м. Глубина залегания грунтовых вод 0,5–3,0 м	Подтопление, заболачивание, загрязнение грунтовых вод, увеличение их агрессивности, суффозия

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6
Б	8		Современная пойменная терраса, поверхность плоско-бугристая, сегментно-гребневая, параллельно-гребневая, орографическая, сложенная из массивов, бугров, затерфованных и заболоченных понижениями, абсолютные отметки составляют 116,0–126,0 м	Аллювиальные разнородные пески – пылеватые, мелко-, среднезернистые, изредка с прослоями супесей или песчано-гравийного материала (руслевая фаза); супеси затерфованные, суглинки с растительными остатками, затерфованные с маломощными прослоями песка, торфом, иногда с прослоями песка, глинистыми мергелями затерфованными с прослоями песка (пойменная и старичная фазы). Вскрытая мощность 16 м. Глубина залегания грунтовых вод 0,7–5,3 м (преимущественно от 1,5 до 2,5 м)	Загрязнение грунтовых вод, затопление, подтопление, заболачивание, увеличение агрессивности грунтовых вод
	9		Современные техногенные образования на участках долинной ком-плекса р. Сож, поверхность плоская, абсолютные отметки составляют 120,0–122,0 м	Техногенные, пески различной крупности, супесь, глина с прослоями песка затерфованного. Мощность отложений до 7,2 м. Глубина залегания грунтовых вод 1,5–2,0 м	Подтопление, загрязнение грунтовых вод, увеличение агрессивности грунтовых вод, уплотнение и намыливание подстилающих их сильносжимаемых грунтов

Оценочное районирование предусматривает оценку сложности инженерно-геологических условий различных территориальных комплексов на основе использования различных качественных и количественных показателей, в том числе экономических.

Оценочное инженерно-геологическое районирования подразделяется на два вида – сравнительное (качественное и количественное) и геолого-экономическое (количественное).

Оценочное районирование целесообразнее проводить на основе результатов генетико-морфологического районирования. При такой последовательности оно должно заключаться в оценке сложности инженерно-геологических условий выделенных территориальных единиц. Например, одинаковые по сложности инженерно-геологические условия в одном случае могут быть обусловлены развитием сильнольдистых многолетнемерзлых пород, в другом – исключительно сильной заболоченностью, в третьем – развитием мощных толщ сильнопросадочных лессовых пород, в четвертом – высокой сейсмичностью территории, в пятом – сложным, сильно расчлененным рельефом и т. д. На рисунке 5 приведена карта оценочного районирования – природных геологических опасностей; в таблице 3 помещена легенда к ней.

4.3 Принципы и признаки инженерно-геологического районирования

Инженерно-геологическое районирование выполняется по определенным принципам на основе выбранных классификационных признаков. Принципы и признаки районирования – понятия различные, смешивать их нельзя.

Принципы – те логические правила, важнейшие методические положения, которые должны соблюдаться при проведении любого типа, вида и разновидности районирования.

Основные принципы инженерно-геологического районирования.

1 Районирование должно проводиться по вещественно-морфологическим глубоко инженерно-геологическим признакам, отражающим важнейшие закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий, обусловленных взаимодействием региональных и зональных геологических факторов.

2 Сумма выделенных при районировании территориальных единиц должна быть равна объему (площади) делимой территории при

региональном виде районирования или объему классифицируемого (делимого) понятия в случае типологического и оценочного районирования.



Рисунок 5 – Карта природных геологических опасностей г. Гомеля при городском строительстве.
Легенда к карте – в таблице 3

Таблица 3 – Легенда к карте природных геологических опасностей г. Гомеля при городском строительстве

Описание и оценка условий развития опасных процессов						
Основные геологические условия	I	II		III		
	Неблагоприятные	Средние		Благоприятные		
	Оценка в баллах					
	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов	6 баллов
1	2	3	4	5	6	7
Геоморфологические	Средне-четвертичная моренная равнина	Среднечетвертичная флювиогляциальная равнина, верхнечетвертичные долинный зандр, первая и вторая надпойменные террасы	Верхнечетвертичные – современные ложбины стока талых ледниковых вод	Современные техногенные образования на участках долинного комплекса р. Сож	Верхнечетвертичные – современные озерно-болотные понижения, развитые на моренной и флювиогляциальной равнинах; современная пойменная терраса	Красная часть среднечетвертичной моренной равнины, приуроченная к правому борту долины р. Сож
Тип грунтовой толщи	Моренные супеси и суглинки валунные с линзами, гнездами и карманами разнотернистых песков. Максимальная вскрытая мощность 12,6 м	Флювиогляциальные и аллювиальные пески разнотернистые, чаще мелкозернистые с гнездами, линзами и прослоями тонких супесей, суглинков и глин, песчано-гравийного и гравийно-галечного материала старичных супесей, гиттий и торфа. Мощность до 15 м	Делювиально-пролювиальные и техногенные пески различного гранулометрического состава, неотсортированные, лесовидные отложения, нередко с примесью грубообломочного материала. Мощность 2–3 м	Техногенные пески различной крупности, супесь, глина с прослоями песка заторфованного. Мощность отложений до 7,2 м	Аллювиальные и озерно-болотные пески разнотернистые, суглинки с прослоями песка с гравием и галькой, супеси с прослоями и линзами песка мелкозернистого иногда заторфованного, пески пылеватые, слабо разложившийся торф. Мощность до 16 м	Делювиально-пролювиальные и техногенные пески различного гранулометрического состава, неотсортированные, лесовидные отложения, нередко с примесью грубообломочного материала. Мощность 2–3 м

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7
Глубина залегания грунтовых вод, м	Толща обводнена спорадически по прослоям и линзам песков. Характерно развитие верховодки на глубинах 0,5–3 м.	2,0–5,0	Толща обводнена спорадически по прослоям и линзам песков, приуроченных к тальвегам овражно-балочных понижений	1,5–2,0	0,5–3,0	Толща обводнена спорадически по прослоям и линзам песков, приуроченных к тальвегам овражно-балочных понижений
Средние уклоны поверхности, град	от 0,5–1,5 до 6,0–8,0	1,5–8,0	2,0–4,0	0,5	0,5 до 4,0–8,0	10–20 до 60

Типы опасностей

	Морозное пучение, плывуны, суффозия, ухуждение показателей механических свойств грунтов при увеличении влажности	Подтопление грунтовыми водами во время паводков, загрязнение грунтовых вод во время спада паводков, суффозия, плывуны, заболачивание	Плоскостная эрозия, суффозия, появление верховодки	Подтопление во время паводков, загрязнение подземных вод во время спада паводков, уполнение намыленного грунта и подстилающих его сильносжимаемых пород	Затопление и подтопление во время паводков. Загрязнение грунтовых вод во время спада паводков (грунтовые воды характеризуются агрессивностью), заболачивание. Грунты сильно и неоднородно сжимаемы, имеют малое сопротивление сдвигу, характерна анизотропия свойств	Оползни, оплывины, крипы, плоскостная и линейная эрозия, суффозия
--	--	--	--	---	--	---

3 При районировании должно соблюдаться требование соразмерности – территориальные комплексы, выделяемые на определенной ступени районирования, должны относиться к одному порядку (рангу). Несоблюдение этого положения, выделение элементов, принадлежащих к разным порядкам и последующее сопоставление их друг с другом (например, при оценке сложностей условий) может, как указывал Ю. А. Косыгин, «...привести к смешению понятий и путанице в раскрытии закономерностей».

4 Признаки, по которым проводится деление территории (или классифицируются территориальные единицы), должны выбираться так, чтобы каждая точка (территориальная единица) попадала только в одну из выделяемых категорий.

5 В пределах одной (любой) таксономической единицы все границы единиц следующего более высокого ранга должны проводиться по признакам одного порядка. Классификационный признак может изменяться от одной ступени районирования к другой.

6 Каждая группа между выделяемыми таксономическими единицами должна проводиться по вполне определенному (в идеале – одному) классификационному признаку.

Под **классификационными признаками районирования** понимают те выбранные и обоснованные признаки, на основе которых происходит деление территории при региональном (индивидуальном) районировании, классификация (типизация) территориальных единиц определенного ранга при типологическом районировании или оценке сложности инженерно-геологических условий при оценочном районировании. Выбор и систематизация классификационных признаков представляют собой первый этап районирования.

Инженерно-геологические условия – очень сложная, многофакторная система, обладающая большим числом существенных и второстепенных признаков. Из этого многообразия необходимо выбрать те главные признаки, которые в наибольшей степени важны для инженерно-геологической оценки территории. К их числу относятся параметры, характеризующие горные породы, слагающие местность; рельеф, подземные воды, современные геологические процессы и явления. Главнейшими из них являются признаки, характеризующие распространение комплексов горных пород, которым свойственны однотипное строение, состав, состояние и инженерно-геологические свойства.

При установлении значимости и очередности признаков в случае использования многоступенчатых схем районирования на первых

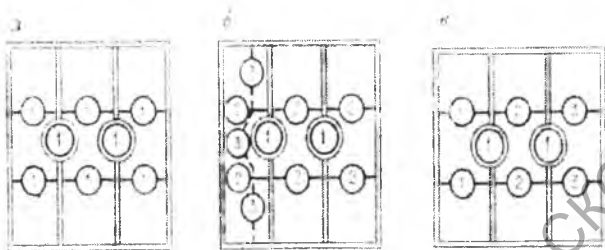
ступенях предпочтение всегда следует отдавать тем признакам, которые коррелируют с наибольшим числом отдельных компонентов инженерно-геологических условий, изменение которых особенно резко сказывается на всей обстановке. В дальнейшем, при все более дробном делении, последовательно используются все менее и менее существенные признаки. Такой подход — от важнейших черт к менее существенным — позволит выполнить основную задачу — разделить изучаемую территорию уже на ранних стадиях районирования на части, в пределах которых инженерно-геологические условия действительно относительно однородны по своим коренным особенностям; задачи инженерных изысканий, методы их осуществления и методы возведения сооружений достаточно однотипны.

На каждой ступени районирования важно выбрать один ведущий признак и по нему проводить границы между территориальными единицами. Сделать это часто очень трудно, поскольку при наличии взаимосвязей изменение любого фактора, определяющего инженерно-геологические условия, обычно влечет за собой изменение многих других. «Поэтому может показаться, — писала Д. Л. Арманд, — что проведение границ по нескольким взаимосвязанным признакам возможно. Это так и было бы, если бы в природе существовали функциональные связи, т. е. определенному значению независимого переменного соответствовало бы также определенное значение зависимого. Однако в природе каждый фактор зависит от многих других, и поэтому все связи здесь корреляционные, статистические. Каждому значению аргумента соответствует известный ряд (диапазон) значений функций. Поэтому нельзя брать за классификационный признак одновременно аргумент и функцию».

С вопросом о классификационных признаках тесно связан вопрос о логических вариантах районирования. При инженерно-геологическом районировании, как и при любом природном районировании, используются три логических варианта районирования (рисунок 6).

В практике работ чаще всего применяют логические варианты *а* и *б*. Вариант *а* предусматривает введение все более жестких качественных или количественных ограничений классификационных признаков в процессе районирования. При общем генетико-морфологическом инженерно-геологическом районировании этот строгий логический вариант использовать трудно, поскольку инженерно-геологические условия представляют собой сложную многокомпонентную систему. Однако он может широко использоваться при выполнении специального генетико-морфологического районирования

и так называемом аналитическом варианте. Например, при районировании инженерно-геологического массива по составу грунтов, состоянию, температуре, сжимаемости или другому параметру. На рисунке 2 приводится пример районирования по естественной дренированности территории г. Гомеля. В общем случае вариант *а* может оказаться приемлемым и при оценочном районировании.



а) – единственным классификационным признаком; б) – с последовательно вводимыми классификационными признаками; в) – с бифуркацией признаков. Цифры в кружках – классификационные признаки, по которым выделяются таксономические единицы; чем ниже ранг ступени районирования, тем крупнее кружок

Рисунок 6 – Логические варианты районирования (по Д. Л. Арманд)

Вариант *б* предусматривает выявление и обособление территориальных единиц сначала по одному признаку, потом вводится второй признак, третий и т. д. Именно такой вариант используется наиболее широко в практике ИГ работ. В качестве примера можно рассмотреть карту инженерно-геологического районирования территории г. Гомеля, приведенную на рисунке 4.

Признаки, которые используются при инженерно-геологическом районировании. Регионы выделяются по структурно-тектоническому, области – по геоморфологическому, районы – по литолого-генетическому признакам. Подрайоны выделяются по гидрогеологическому признаку, или по особенностям состава и состояния пород, или по особенностям геологических процессов и др. Обоснование инженерно-геологического значения и содержания этих признаков в наиболее полной форме проведено И. В. Поповым и Г. А. Голодковской.

Недостатки признаков:

1) схемы районирования, составленные на их основе, не учитывают многие важные закономерности пространственной изменчивости

инженерно-геологических условий, в частности, широтный характер их изменения в пределах платформенных и горно-складчатых структур и высотное (поясное) изменение в пределах последних;

2) недостаточное внимание обращено на учет особенностей пространственной изменчивости состава и состояния (а, следовательно, и свойств) грунтов.

Особенно резко эти недостатки проступают при районировании крупных геолого-структурных элементов земной коры, континентов и Земли в целом. Но они считаются главнейшими при районировании.

Для ведения оценочного инженерно-геологического районирования в качестве классификационных признаков чаще всего используются степень «пригодности», степень «благоприятности» или необходимость и характер инженерной подготовки территории. На основе первого из них выделяются пригодные, ограниченно пригодные и непригодные участки (районы, подрайоны); второго – благоприятные, условно благоприятные и неблагоприятные участки; третьего признака – участки, не требующие специальной инженерной подготовки; участки, требующие специальной инженерной подготовки и т. д.

При оценке сложности инженерно-геологических условий на основе материалов съемки при оценочном районировании можно использовать метод баллов. Для этого разрабатываются частные алгебраические шкалы оценки сложности каждой группы факторов, определяющих инженерно условия, – состав и свойства пород, рельеф, гидрогеологическую обстановку и современные геологические процессы и явления. Интегральная оценка сложности, позволяющая перейти к осуществлению сравнительного оценочного инженерно-геологического районирования, получается в результате простого суммирования оценок баллов всех составляющих их компонентов.

4.4 Системы и таксономические единицы районирования

Степень дифференциации территории при районировании связана с характером ее изученности, сложностью структуры инженерно-геологических условий и масштабом исследований. При мелко- и среднemasштабных (1:100000 и мельче) исследованиях с целью использования рассматриваемой системы районирования выделяют все таксономические единицы до инженерно-геологического района включительно. На схемах районирования масштаба 1:50000–1:25000 обычно удается

обособить области, районы и подрайоны. На крупномасштабных схемах (1:10000 и крупнее) – районы, подрайоны и главное – участки.

Рассмотрим содержание и типы таксономических единиц разного ранга, которые выделяются при районировании с использованием системы однорядного районирования.

Наиболее обширной из них по площади является инженерно-геологический регион, под которым понимают своеобразную и в инженерно-геологическом плане крупную геолого-структурную единицу земной коры. Г. А. Голодковская предложила при выделении региона в качестве классификационного признака использовать возраст складчатости, т. е. время превращения геосинклинальной области в платформенную. Исходя из этого, она выделила семь типов инженерно-геологических районов: платформы – древние и молодые (эпипалеозойские плиты); регионы складчатостей – байкальской, раннепалеозойской (каледонской), позднепалеозойской (герцинской), мезозойской, альпийской.

Для выделения типов регионов можно также воспользоваться новейшей тектонической структурой, которая позволяет учесть многие важнейшие инженерно-геологические особенности территории, в том числе характер современного рельефа, сформировавшегося на новейшем этапе развития Земли.

Второе место в иерархии таксономических единиц (предложенной В. Т. Трофимовым) занимает инженерно-геологическая провинция – крупная часть региона, в пределах которой развиты породы определенного инженерно-геологического класса или определенного по стратиграфическому сочетанию пород разных классов и отличающаяся, поэтому от смежных частей всем комплексом инженерно-геологических условий. Среди них выделяются два типа:

1) провинция распространения пород с жесткими и без жестких связей в пределах континентальной (наземной) части региона;

2) провинция распространения пород и осадков без жестких связей в пределах морской (подводной) части региона).

Первый тип включает три вида провинций: 1) преимущественного распространения пород с жесткими связями, локально перекрытых мощным чехлом дисперсных грунтов; 2) распространения пород с жесткими связями, перекрытых породами без жестких связей; 3) преимущественного распространения пород без жестких связей.

Второй тип провинций подразделяется на два вида: 1) преимущественного распространения осадков (без жестких связей) и 2) распространения пород с жесткими и без жестких связей, перекрытых чехлом молодых осадков.

Типы инженерно-геологических провинций в процессе районирования целесообразно выделять в ранге провинций, а виды – в ранге подпровинций.

Инженерно-геологическая зона – крупная часть провинции, в пределах которой современное состояние пород в разрезе грунтовой толщи, обусловленное главным образом особенностями фазового состояния воды в них, является достаточно однотипным с инженерно-геологических позиций и регионально выдержанным. В. Т. Трофимов предложил выделять три типа зон, каждый из которых объединяет два вида. Основными типами являются: 1) зона практически сплошного распространения многолетнемерзлых пород; 2) зона совместного распространения многолетнемерзлых и талых пород; 3) зона распространения талых и немерзлых пород.

Инженерно-геологическая область – крупная часть подзоны (по В. Т. Трофимову) или региона (по И. В. Попову), относительно однородная по характеру рельефа (мезо- и макрорельефу) и генетико-возрастным особенностям четвертичных отложений. Г. А. Голодковская предложила совокупность классификационных признаков для выделения областей 1–4 порядка. Области первого порядка (тип) выделяются по различиям в морфологии и генезисе рельефа, определяемым направленностью и интенсивностью новейших движений; области второго порядка (подтип) отражают различия в морфоструктуре и морфоскульптуре рельефа, обусловленные совместным воздействием древней геологической структуры, новейших движений и экзогенных процессов. Области третьего порядка (вид) обособляются по возрасту (истории развития рельефа), а четвертого (разновидность) – по степени расчлененности и сочетанию форм рельефа.

Инженерно-геологический район рассматривается как часть области, в пределах которой развиты определенные комплексы пород (определенная формация или геолого-генетический комплекс). Класс районов в построении И. С. Комарова объединяет инженерно-геологические районы, сложенные с поверхности отложениями одного генезиса или определенным закономерным сочетанием отложений различного генезиса.

При выделении подкласса районов дополнительно учитывают возраст отложений; типа – состав и строение подстилающих более древних отложений (при глубине залегания менее 15–20 м); группы – направление и интенсивность современных тектонических движений; подгруппы – пространственное строение мерзлых толщ (только в пределах криолитозоны); вида – ландшафтно-климатическая зональность.

(провинциальность), разновидности — особенности гидрогеологических условий или характер современных экзогенных геологических процессов.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое инженерно-геологическое районирование?
- 2 Какой смысл вкладывают в понятие «инженерно-геологическое районирование»?
- 3 Какие варианты инженерно-геологического районирования применяют на практике?
- 4 Как вы понимаете региональный (индивидуальный) вид генетико-морфологического (естественно-исторического) районирования?
- 5 Как вы понимаете типологический вид генетико-морфологического (естественно-исторического) районирования?
- 6 Как вы понимаете смешанный вид генетико-морфологического (естественно-исторического) районирования?
- 7 Как вы понимаете сравнительное (качественное и количественное) оценочное инженерно-геологическое районирование?
- 8 Как вы понимаете геолого-экономическое (количественное) оценочное инженерно-геологическое районирование?
- 9 Что такое принципы инженерно-геологического районирования?
- 10 Что такое признаки инженерно-геологического районирования?
- 11 Перечислите основные принципы инженерно-геологического районирования.
- 12 Охарактеризуйте основные логические варианты ИГ районирования.
- 13 Назовите признаки, которые используются при инженерно-геологическом районировании.
- 14 Каковы основные недостатки признаков, используемых при инженерно-геологическом районировании?
- 15 Иерархия таксономических единиц при инженерно-геологическом районировании.

Тема 5

Физико-географические условия Беларуси

5.1 Климат

5.2 Рельеф

5.3 Гидрографическая сеть

5.4 Почвы, растительный покров и животный мир

5.1 Климат

Республика Беларусь находится в географическом центре Европы и занимает относительно выгодное географическое положение. Площадь территории составляет 207,6 тыс. км². Абсолютные высоты здесь колеблются от 346 м (гора Дзержинская) на Минской возвышенности до 80 м в долине Немана на границе с Литвой, средняя абсолютная высота – 159 м.

Основные черты климата Беларуси определяются географическим положением республики в средних широтах, относительной близостью к Атлантическому океану, преобладающим западным переносом воздушных масс и равнинным рельефом, который не препятствует перемещению воздушных масс в различных направлениях. Основными климатообразующими процессами на территории страны являются теплооборот, влагооборот, общая циркуляция атмосферы.

Территория Беларуси находится в западной области северного умеренного пояса и имеет умеренно-континентальный тип климата. Основным результатом западного переноса является адвекция тепла в зимний период года, что в значительной степени сглаживает среднегодовые амплитуды температур. В целом в годовом ходе температур наблюдается следующая закономерность: среднегодовые температуры повышаются с северо-востока (+4,4 °С) на юго-запад (+7,4 °С). Годовые амплитуды температур повышаются с запада на восток (соответственно 23 °С и 26 °С) и показывают усиление континентальности климата.

Годовой ход абсолютной влажности в целом совпадает с годовым ходом температур: максимум наблюдается летом, а минимум – зимой. Среднегодовое значение относительной влажности составляет около 80 %.

Среднегодовая сумма осадков в центре и на северо-западе страны составляет 600–650 мм, а в отдельных районах повышается до 700 мм. Больше всего осадков получают наветренные склоны Новогрудской возвышенности (более 700 мм в год). На крайнем западе, юго-западе и юге выпадает наименьшее для Беларуси количество осадков – 500–550 мм.

На основании суммы температур выше $+10^{\circ}\text{C}$ и показателя увлажнения территории (соотношение суммы выпадающих осадков и испаряемости) на территории Беларуси выделены следующие климатические области.

Северная область занимает северную часть страны и почти совпадает с Белорусско-Валдайской физико-географической провинцией. В пределах этой области коэффициент увлажнения в теплый период года несколько выше единицы. Температура воздуха в июле составляет $+16,5$ – $+18,0^{\circ}\text{C}$, а в январе – $-6,5$ – $-8,5^{\circ}\text{C}$. Продолжительность весенне-летнего периода составляет 133–145 суток, а продолжительность вегетационного периода – 178–188 суток. В этой области часто бывают весенние и осенние заморозки. По своему температурному режиму область является умеренно теплой. За год в среднем выпадет около 600 мм осадков; на возвышенностях – 650 мм и более.

Центральная область является более теплой и менее влажной, чем северная. Коэффициент увлажнения в теплый период года составляет 0,9. Средние температуры июля изменяются от $+17,6^{\circ}\text{C}$ до $+18,7^{\circ}\text{C}$, а января – от $-4,9^{\circ}\text{C}$ на западе до $-8,2^{\circ}\text{C}$ на востоке. Осадков в пределах этой области выпадает 500–600 мм и только в некоторых местах – до 700 мм.

Южная область лежит в пределах Полесской физико-географической провинции и характеризуется более теплыми условиями, чем северная и центральная области. Коэффициент увлажнения в теплый период года составляет 0,8–0,9. Средние температуры января варьируют от -4°C на западе до -7°C на востоке, а июля – от $+18^{\circ}\text{C}$ на западе до $+19,5^{\circ}\text{C}$ на востоке области. Весна и лето в этой области наступают гораздо раньше, чем в северной и центральной. Вегетационный период составляет 191–209 суток. Осадков выпадает 520–630 мм. В пределах южной области ощущается некоторый дефицит влаги в летний период, и поэтому эту область рассматривают как неустойчиво влажную.

Каждую область по степени континентальности подразделяют на западную (менее континентальную) и восточную (более континентальную) подобласти. При этом степень континентальности определяют по количеству дней с температурами воздуха от $+5$ до $+15^{\circ}\text{C}$.

В западных подобластях таких дней в году бывает более 40 %, а в восточных — менее 40.

В соответствии с широтным изменением баланса тепла и влаги происходит изменение природной обстановки. Формирование геологических процессов в определенной мере зависит от климата. Баланс, режим и соотношение тепла и влаги и, следовательно, гидрогеологические и гидрологические условия территории, развитие и типы кор выветривания, характер растительности и четвертичного покрова связаны с климатом. Климатические условия определяют многовековые, вековые, многолетние, сезонные и суточные изменения температуры, влажности и состояние пород в приповерхностной зоне, обеспечивают термодинамически и геохимически их гипергенные изменения. Круговорот воды в природе энергетически определяет размыв пород и их переотложение, т. е. плиоцен-четвертичное осадконакопление и континентальный литогенез в целом. Эти аспекты важны в инженерной геодинамике, прежде всего в плане выявления типов и парагенетических ассоциаций геологических процессов, тенденций и интенсивности их развития.

5.2 Рельеф

Преобладающими категориями рельефа являются плоские и пологоволнистые равнины и низины ледникового, водно-ледникового, аллювиального и озерно-аллювиального генезиса, нередко заболоченные, грядово-увалисто-холмистые краевые ледниковые образования, речные долины и котловины озер.

Максимальная глубина расчленения (до 100 м) характерна для долин крупных рек. На пониженных междуречьях этот показатель не превышает 5 м, а на возвышенностях он увеличивается до 10–40 м.

Рельеф Беларуси в общих чертах отражает особенности тектонической структуры Восточно-Европейской платформы. Возвышенности центральной части Беларуси приурочены к Белорусской антеклизе и ее склонам; Брестское Полесье соответствует Подляско-Брестской впадине, возвышенность Загородье — Полесской седловине; Припятское Полесье — Припятскому и Днепровско-Донецкому прогибам. Городокская, Витебская и Оршанская возвышенности, а также Оршанско-Могилевская равнина соответствуют различным поднятиям девонского возраста.

5.3 Гидрографическая сеть

Реки Беларуси принадлежат к бассейнам Черного и Балтийского морей. Большая часть территории страны (58 %) дренируется водотоками Черноморского бассейна. Всего насчитывается 20,8 тыс. рек. Их суммарная длина 90,6 тыс. км. Средняя густота речной сети $0,44 \text{ км/км}^2$. Наиболее крупными реками, несущими свои воды в Балтийское море, являются Западная Двина, Неман, Западный Буг, в Черное море – Днепр и его притоки – Березина, Сож, Припять.

Река Западная Двина берет начало из озера Корьякино на Валдайской возвышенности. Ее длина составляет 1020 км, в том числе протяженность на территории Беларуси 328 км. Характерная особенность бассейна – значительное количество озер, на долю которых приходится около 3 % всего водосбора. Площадь водосбора в пределах региона 33 200 км^2 . Густота эрозионной сети $0,45 \text{ км/км}^2$. В строении долины чаще всего выделяются пойма и две надпойменные террасы.

Река Неман начинается (под названием Неманец) вблизи поселка Верхний Неман Узденского района Минской области. Ее длина 937 км, в том числе на территории Беларуси – 459 км. Площадь водосбора белорусского участка реки 35 000 км^2 . Густота эрозионной сети $0,47 \text{ км/км}^2$. Выделяются пойма и три надпойменные террасы.

Река Западный Буг берет начало на западных склонах Подольской возвышенности. Длина 826 км, в Беларуси 169 км. Площадь водосбора на территории региона 10,4 тыс. км^2 . Ширина долины 1–3 км (до 7 км). В долине различаются аккумулятивные пойма и первая надпойменная терраса.

Река Днепр берет начало на Валдайской возвышенности. Длина реки 2201 км (до создания на ней водохранилищ – 2 285 км), в том числе на территории Беларуси 700 км. Площадь водосбора в Беларуси 63,7 тыс. км^2 (без бассейна Припяти). Густота эрозионной сети $0,39 \text{ км/км}^2$. В долине Днепра выделяются пойма и две надпойменные террасы.

Истоки реки Березины располагаются в заболоченном понижении юго-западнее населенного пункта Докшицы. Площадь водосбора 24 500 км^2 . Густота эрозионной сети $0,35 \text{ км/км}^2$. Выделяются пойма и две надпойменные террасы.

Река Сож берет начало в пределах Смоленско-Московской возвышенности вблизи г. Смоленска. На территории Беларуси располагается долина среднего и нижнего Сожа. Длина реки 648 км (в Беларуси – 493 км). Площадь водосбора в республике 21 500 км^2 . Густота

эрозийной сети $0,38 \text{ км/км}^2$. Выделяются пойма и две надпойменные террасы.

На территории Беларуси насчитывается около 10 тысяч озер. В основном это небольшие и мелкие озера. Самое глубокое озеро – Долгое – имеет глубину 53,7 м. Озера весьма неравномерно распределены по территории страны. Наиболее богата озерами северная часть Беларуси, где находятся самые большие по площади белорусские озера: Нарочь ($79,6 \text{ км}^2$), Освейское ($52,8 \text{ км}^2$), Дрисвяты ($44,5 \text{ км}^2$), Лукомльское ($36,0 \text{ км}^2$), Нешарда, Снуды, Свирь и др. Значительно меньше озер в южной части страны, где они имеют низкие заболоченные котловины и часто носят черты деградации. Самыми большими по площади озерами южной Беларуси являются Червонное ($43,6 \text{ км}^2$), Выгоновское (26 км^2) и Черное. Чрезвычайно мало озер имеется в центральной и восточной частях Беларуси.

Котловины озер имеют различное происхождение: ледниковое, речное, карстовое, термокарстовое и др. Генезис котловин отражается в рельефе дна, преобладающих глубинах и особенностях органического мира.

На территории Беларуси имеется более 140 водохранилищ с суммарным объемом задержанных вод более 3 км^3 . Общая площадь водного зеркала водохранилищ составляет около 740 км^2 .

В Беларуси имеется более 1500 прудов, которые аккумулируют около $0,2 \text{ км}^3$ воды. Общая площадь водного зеркала всех прудов составляет около 140 км^2 . Пруды используются для регулирования стока, накопления вод, а также для рыбозаведения.

5.4 Почвы, растительный покров и животный мир

Основными почвообразовательными процессами на территории Беларуси являются подзолистый, дерновый и болотный. На северо-западе республики в районе города Гродно имеет место буроземный почвообразовательный процесс. На осушенных торфяниках Полесья отмечаются признаки солончакового процесса.

По характеру почвенного покрова, рельефу местности, температурному режиму, степени проявления эрозийных процессов, заболоченности на территории Беларуси выделяют следующие почвенно-географические провинции.

Северная (Прибалтийская) провинция занимает северную часть республики к северу от линии Сморгонь–Молодечно–Логойск–

Могилев–Кричев. В пределах провинции почвенный покров довольно разнообразен, однако повсеместно преобладают дерново-подзолистые суглинистые и супесчаные почвы. Характерны значительная заболоченность, завалуненность, малая контурность, широкое развитие плоскостной эрозии, а также небольшие площади осушенных земель.

Центральная (Белорусская) провинция расположена к северу от линии Брест–Ивацевичи–Солигорск–Лоев. В пределах провинции преобладают дерново-подзолистые и дерновые почвы автоморфного и полугидроморфного режимов. Для провинции характерны торфяно-болотные гидроморфные почвы. Местами почвы завалунены и подвержены эрозии плоскостного типа.

Южная (Полесская) провинция приурочена к Полесской низменности. Почвенный покров довольно сложен, что обусловлено контурностью строения почвообразующих пород и изменчивостью условий увлажнения. В пределах провинции формируются подзолистые, дерново-подзолистые и дерново-глеевые почвы автоморфного и полугидроморфного рядов легкого механического состава, а также гидроморфные торфяно-болотные низинные и пойменные. Большие массивы гидроморфных и полугидроморфных почв осушены, местами на них развивается ветровая эрозия.

В современной флоре Беларуси насчитывается около 1 650 видов сосудистых (высших) растений, из которых приблизительно 1 500 видов относится к травам и несколько более 100 – к деревьям, кустарникам, кустарничкам и полукустарничкам. Кроме того, насчитывается более 100 видов высших грибов, около 500 видов водорослей, около 600 видов лишайников и примерно 400 видов мохообразных.

Размещение Беларуси в переходной полосе Евразийской (таежной) и Европейской (широколиственной) геоботанических областях отражает сложный флористический состав территории страны.

Естественный растительный покров Беларуси занимает более 67 % территории страны. При этом под лесами занято около 34,5 %, лугами – 18,2 %, болотами – 12,4 % и кустарниками – 3 % общей площади республики.

Животный мир Беларуси относительно беден, что объясняется односторонностью экологических условий и незначительным периодом его формирования. Современная фауна Беларуси сложилась в основном в позднеледниковый период и в голоцене. Животный мир насчитывает около 430 видов позвоночных животных, в том числе 73 вида млекопитающих (15 видов хищных, 6 парнокопытных, 10 насекомоядных, 15 летучих мышей, 2 зайцеобразных, 24 грызунов), 286 видов

птиц, 58 видов рыб, 19 видов земноводных и пресмыкающихся. Беспозвоночных животных на территории республики зарегистрировано более 30 тыс. видов (простейшие, черви, моллюски, ракообразные, паукообразные, насекомые и др.).

Естественноисторический состав фауны наиболее полно сохранился в заповедниках, заказниках и национальных парках Республики Беларусь.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Охарактеризуйте основные климатообразующие процессы на территории Беларуси.
- 2 Какие климатические области и на основании чего выделены на территории Беларуси?
- 3 Охарактеризуйте северную климатическую область.
- 4 Дайте характеристику центральной климатической области.
- 5 Чем характеризуется южная климатическая область?
- 6 Каким образом с широтным изменением баланса тепла и влаги происходит изменение природной обстановки?
- 7 Какие категории рельефа являются преобладающими на территории Беларуси?
- 8 Дайте общую характеристику гидрографической сети Беларуси.
- 9 Охарактеризуйте наиболее крупные реки Балтийского бассейна (Западную Двину, Неман, Западный Буг).
- 10 Охарактеризуйте наиболее крупные реки Черноморского бассейна (Днепр и его притоки – Березину, Сож, Припять).
- 11 Дайте общую характеристику озерам и прудам, находящимся на территории республики.
- 12 Какие основные почвообразовательные процессы характерны для территории Беларуси?
- 13 Какие почвенно-географические провинции и по каким признакам выделяют на территории Беларуси?
- 14 Дайте краткую характеристику Северной (Прибалтийской), Центральной (Белорусской), Южной (Полесской) провинциям.
- 15 Коротко охарактеризуйте естественный растительный покров и животный мир Беларуси.

Тема 6

Основные закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Беларуси

6.1 Тектоника

6.2 Краткая характеристика отложений верхней части платформенного чехла

6.3 Подземные воды

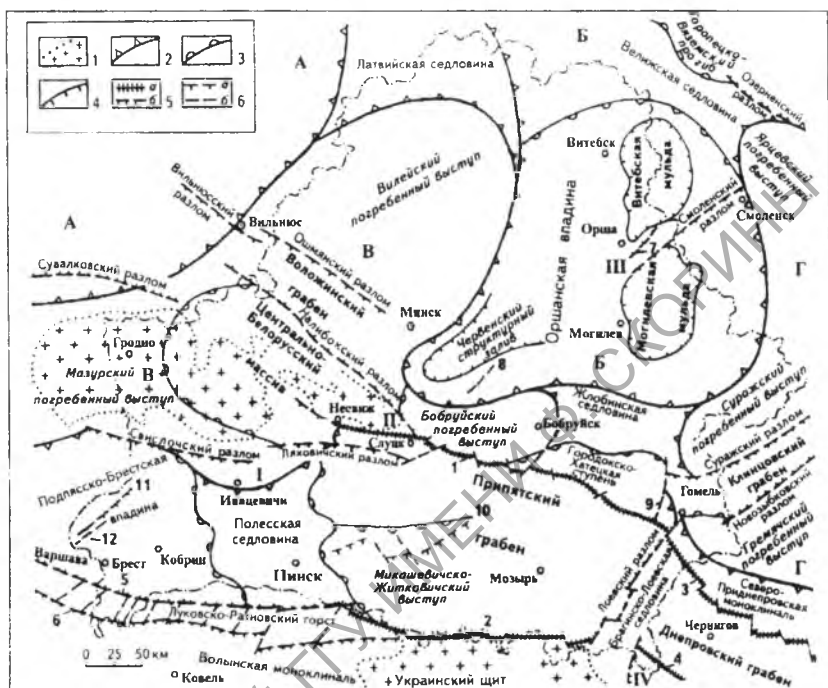
6.4 Геологические процессы и явления

6.1 Тектоника

Территория Беларуси расположена на западе Русской платформы, здесь на кристаллическом фундаменте архейско-раннепротерозойского возраста залегает платформенный чехол различной мощности, в составе которого выделяются отложения от верхнего протерозоя до антропогена. Глубина залегания фундамента колеблется от нескольких десятков до 5000–6000 м. По глубине залегания кристаллического фундамента на территории Беларуси и смежных районов выделяются следующие структуры первого порядка (рисунок 8): Белорусская и Воронежская антеклизы, Украинский щит, Балтийская и Московская синеклизы, Оршанская и Подляско-Брестская впадины, Припятский прогиб, Латвийская, Полесская, Жлобинская и Брагинско-Лоевская седловины.

Белорусская антеклиза расположена в северо-западной части Беларуси и смежных районах Польши, Литвы, Латвии. Абсолютные отметки залегания фундамента на большей части антеклизы не превышают – 0,5 км, а в наиболее высокоприподнятой его части (Бобовнянский выступ Центрально-Белорусского массива) приподнимаются до +103 м. Антеклиза формировалась как остаточная положительная структура в результате разновременного прогибания сопредельных отрицательных структур: Оршанской впадины на востоке в раннебайкальский этап и наложенной на нее западной центриклинали Московской синеклизы в позднебайкальский и герцинский этапы, Балтийской синеклизы на северо-западе и Подляско-Брестской впадины на юго-западе в каледонский этап. Поэтому в своде антеклизы на породах фундамента залегают четвертичные отложения, а на склонах

появляются формации и формационные ряды, отсутствующие в своде антеклизы и выполняющие сопредельные отрицательные структуры.



Границы: 1 – выхода фундамента по подошве юрско-антропогенных отложений; 2 – структур I порядка; 3 – структур II порядка; 4 – структур III порядка; разломы: 5 – суперрегиональные (а) и региональные (б), 6 – субрегиональные (а) и локальные (б); синеклизы: А – Балтийская, Б – Московская; антеклизы: В – Белорусская, Г – Воронежская; погребенные выступы: I – Ивацевичский, II – Бобовнянский, III – Оршанский горст; IV – Южно-Приднепровская моноклираль; разломы: 1 – Северо-Припятский, 2 – Южно-Припятский, 3 – Северо-Днепровский, 4 – Южно-Днепровский, 5 – Северо-Ратновский, 6 – Южно-Ратновский, 7 – Оршанский, 8 – Осиловский, 9 – Гомельский, 10 – Житковичский, 11 – Высоковский, 12 – Прибугский

Рисунок 7 – Тектоническое районирование территории Беларуси по поверхности фундамента

В южной части антеклизы (Центрально-Белорусский массив, Ивацевичский выступ) осадочная толща представлена отложениями

верхнего протерозоя (в основном вендский комплекс), которые перекрыты мезозойскими, а нередко непосредственно кайнозойскими отложениями. На северо-западе Центрально-Белорусского массива развиты кембрийские, ордовикские и силурийские отложения, на юге в вендском комплексе широко представлены вулканические туфы и туффиты, в самой южной части известны маломощные покровы базальтов и сопровождающие их туфы основного состава. В Воложинском грабене в осадочном чехле развиты, в основном, верхнепротерозойские (вендские, на востоке – рифейские), а в его северо-западной части, кроме того, кембрийские, ордовикские и силурийские отложения, на юго-востоке – девонские. На территории Вилейского погребенного выступа сплошным распространением пользуются вендские (в восточной части и рифейские) и среднедевонские отложения, а на северо-западе, кроме того, кембрийские, ордовикские и силурийские. На Бобруйском погребенном выступе известны рифейские, вендские и среднедевонские отложения.

Воронежская антеклиз заходит на территорию Беларуси своей западной частью. В ней выделены Суражский и Гремячский выступы, в которых отметки залегания фундамента к востоку воздымаются до $-0,5$ км и выше, и разделяющий их Клиновский грабен (рисунок 7). Структуры западной периклинали Воронежской антеклизы выделяются по поверхности фундамента, выражены в рифейских, вендских и девонских отложениях и погребены под мезозойскими.

Украинский щит своими северными отрогами заходит в южную часть Беларуси, где породы фундамента в отдельных пунктах обнажены.

Оршанская впадина расположена в северо-восточной части Беларуси. Глубина залегания фундамента достигает до 1 800 м. Она погребена под отложениями нижнее- и верхнебайкальского структурных комплексов (рифей, венд). Образования герцинского структурного комплекса в объеме нижнего, среднего девона и франского яруса верхнего девона наследует структурный план верхнебайкальского комплекса и образует пологую моноклираль, погружающуюся от 0,05 до 0,2 км и более на северо-восток в сторону осевой части Московской синеклизы.

Балтийская синеклиз, расположенная на территории государств Балтии, своей юго-восточной частью заходит в пределы Беларуси. В краевой зоне развития каледонского структурного комплекса распространены кембрийские, ордовикские и силурийские отложения. Они подверглись значительным постседиментационным размывам.

Московская синеклиза — крупнейшая отрицательная структура Русской плиты, которая на территорию Беларуси заходит своим моноклинальным юго-западным склоном. Он сложен отложениями верхнего венда, девона, карбона, мезозоя и кайнозоя, которые перекрывают рифейско-нижневендские породы Оршанской впадины.

Подляско-Брестская впадина расположена в юго-западной части Беларуси и в смежных районах Польши. Глубина залегания фундамента от 500 до 6 000 м. Основным этапом ее формирования является каледонский. На юге Подляско-Брестская впадина ограничена *Луковско-Ратновским горстом*, расположенным на северо-западе Украины. Эта структура отделяет Русскую плиту от Волыно-Азовской. Южнее Луковско-Ратновского горста на территории северо-западной части Украины находится Волинская моноклинали, которая заходит в юго-западные районы Беларуси. В платформенном чехле Подляско-Брестской впадины широко распространены вендские, кембрийские, ордовикские и силурийские отложения. К венду приурочены мощные покровы базальтов и сопровождающие их туфы. Покровы базальтовой лавы небольшой мощности заходят из этой впадины на территорию Полесской седловины, Ивацевичского погребенного выступа и южной части Центрально-Белорусского массива, а их туфы распространены на большей части территории Беларуси. На Луковско-Ратновском горсте и Волинской моноклинали распространены верхнепротерозойские отложения значительной мощности, включая вендские базальтовые вулканиты и сопровождающие их туфы.

Припятский прогиб расположен на юго-востоке Беларуси. Время формирования — герцинский этап. Глубина залегания фундамента от 1 500 до 6 000 м. В юго-западной и центральной частях Припятского прогиба повсеместно распространены верхнепротерозойские отложения (в основном рифейские, частично вендские), в восточной части они отсутствуют и здесь на кристаллическом фундаменте залегают девонские отложения. Сплошным распространением пользуются девонские отложения большой мощности, на значительной площади — каменноугольные и пермо-триасовые. Большую роль в сложении девона северо-востока прогиба играют вулканические толщи щелочно-ультраосновного состава (излившиеся породы и сопровождающие их туфы).

Брагинско-Лоевская седловина разделяет Припятский и Днепровско-Донецкий прогибы. Глубина залегания фундамента равна 500–2000 м. Платформенный чехол сложен девонскими и более молодыми отложениями.

Полесская седловина разделяет Припятский прогиб и Подляско-Брестскую впадину. Глубина залегания фундамента от 300–500 м до 800–1000 м. Платформенный чехол представлен, в основном, рифейскими в краевых частях и вендскими (часто с базальтовыми покровами), а на востоке девонскими и более молодыми отложениями.

Микашевичско-Житковичский выступ в виде структурного носа Полесской седловины заходит далеко в Припятский прогиб. Кристаллический фундамент на выступе залегает близко к поверхности земли и вскрыт Микашевичскими карьерами. В центральной части выступа кристаллический фундамент перекрыт мезо-кайнозойскими отложениями, а в краевых частях – верхнепротерозойскими и девонскими отложениями.

Жлобинская седловина является восточным продолжением Бобруйского погребенного выступа Белорусской антеклизы и вместе с ним разделяет Оршанскую впадину и Припятский прогиб. Глубина залегания фундамента здесь составляет 400–700 м. В ее платформенном чехле выделяются верхнепротерозойские, девонские и более молодые отложения.

Русская плита на новейшем этапе характеризуется незначительным преобладанием поднятий, сопровождающимся денудацией или аккумуляцией и слабым эрозионным расчленением. В тектоническом отношении – это стабильная область, вертикальные тектонические движения отличаются знакопеременностью и минимальными скоростями. Опасные разрывные тектонические смещения здесь мало вероятны.

К неотектоническому этапу геологического развития территории Беларуси большинство специалистов относят интервал времени с позднего олигоцена до наших дней.

Среди наиболее крупных новейших структур Беларуси выделяются Балтийско-Белорусская синеклиза и Воронежско-Тверская антеклиза.

Балтийско-Белорусская синеклиза наследует палеозойскую Балтийскую синеклизу и Подляско-Брестскую впадину, Припятский прогиб, наложена на Латвийскую седловину, Белорусскую антеклизу, западную часть Оршанской впадины, Полесскую седловину. На территории Беларуси представлена Литовско-Эстонской моноклинойю.

Воронежско-Тверская антеклиза представлена Смоленской ступенью с амплитудой новейшего поднятия 100–150 м и более. Граница антеклизы с Литовско-Эстонской моноклинойю на значительном отрезке имеет вид уступа в кровле дочетвертичных пород, представленных известняками франского яруса верхнего девона. Наследует

допозднеолигоценовую Воронежскую антеклизу; наложена на северо-восточную часть Северо-Припятского плеча, Жлобинскую седловину, восточную часть Оршанской впадины (левобережье Днепра).

Тектонические исследования при инженерных изысканиях отличаются некоторыми особенностями. Во-первых, эти исследования локализируются в пределах геологической среды техногенеза. Соответственно исследуются преимущественно приповерхностные структуры и приповерхностные части глубинных структур. Во-вторых, при изучении тектонических движений основное внимание обращается на их прогноз для периода строительства и эксплуатации инженерного сооружения. Подобный период (обычно 100 лет) представляет собой по существу весьма краткий «геологический момент». При таком прогнозировании необходимо не только охарактеризовать наиболее молодые этапы новейших движений и оценить их тенденции, но и учесть особенности проявления тектонических движений, в том числе разрывных смещений в настоящее время.

Неотектонические движения и созданные ими морфоструктуры являются главным фактором, определяющим современный рельеф Беларуси. Формирование крупных морфоструктур в ложе антропогенного покрова в основном происходило, начиная от позднего мела до неогена. В антропогене эти формы развивались унаследовано, что в значительной степени обусловило их выраженность и в современном рельефе.

6.2 Краткая характеристика отложений верхней части платформенного чехла

При региональном изучении инженерно-геологических условий территории глубина изучения геологических условий определяется глубиной влияния инженерно-хозяйственной деятельности и измеряется десятками, а иногда, при подземном и гидротехническом строительстве, сотнями метров.

На территории Беларуси мощность четвертичных отложений изменяется от первых до 250–300 м, составляя в среднем 80 метров. Таким образом, верхняя часть платформенного чехла попадает в зону влияния инженерных сооружений и поэтому представляет интерес с точки зрения инженерной геологии.

Верхние структурные этажи платформенного чехла представлены в пределах Беларуси в основном герцинским и киммерийско-альпийским структурными комплексами. Лишь в единичных пунктах

под маломощным чехлом поверхностных отложений залегают породы метаморфических и интрузивных формаций карельского структурного комплекса: в южной части Белорусского Полесья, приуроченные к заходящему сюда Украинскому кристаллическому щиту; в районе Микашевичско-Житковичского выступа; в отдельных частях Центрального Белорусского массива.

На севере и в центральной части республики под покровом четвертичных отложений залегают породы герцинского комплекса Главного девонского поля. Они распространены в основном в Балтийской синеклизе, Оршанской впадине, Вилейском погребенном выступе Белорусской антеклизы, Латвийской седловине и выходят на поверхность в долинах Западной Двины и Днепра. На остальной территории Беларуси отложения герцинского комплекса перекрыты мощным покровом отложений киммерийско-альпийского структурного комплекса.

Герцинский структурный комплекс в нижней и верхней частях представлен терригенными парагенезами пород. Глинисто-алевроитопесчаная формация залегает в основании разреза (верхний живет – нижний флан). В большем объеме она представлена в каменноугольных, пермских и ниже-, среднетриасовых отложениях. Конгломерато-песчаная и конгломерато-песчано-гравелитовая формация моласкоидного облика венчают герцинский структурный комплекс. Известняково-мергельно-глинистые, известняково-песчано-глинистые и глинисто-песчаные парагенезы приурочены к надсолевым девонским и каменноугольным отложениям. К карбонатным формациям относятся эйфельская глинисто-мергельно-доломитовая, франские известняково-доломитовая и доломитово-известняково-мергельная, фаменская песчано-известняково-мергельная. В геологической истории развития региона зафиксированы две стадии мощного соленакопления: девонская и, в меньшей степени, пермская. С формированием в позднем девоне внутриплитного Припятско-Донецкого авлакогена связано образование магматической формации. Магматические породы Припятского прогиба относятся к щелочно-ультраосновной – щелочно-базальтоидной формации.

Киммерийско-альпийский структурный комплекс представлен на западе Беларуси верхнепермско-антропогеновыми, а на востоке – верхнетриасово-антропогеновыми отложениями. Он характеризуется развитием преимущественно терригенных формаций. Их мощность, как правило, невелика, парагенетические ассоциации терригенных пород быстро сменяются по вертикали. Снизу вверх обособлены формации: глинисто-алевроитовая (нижний триас), песчано-глинистая

буроугольная (нижний триас – средняя юра), глинисто-песчаная (до-альбские отложения нижнего мела), известняково-песчаная фосфоритоносная (альб – верхний мел), алевроито-песчаная фосфоритоносная (палеоцен – эоцен). Карбонатные формации представлены доломито-известняковой формацией верхней перми, верхнеюрской глинисто-песчано-известняковой формацией и верхнемеловой формацией писчего мела.

В сферу влияния инженерных сооружений попадают лишь породы верхней части комплекса, принадлежащие карбонатной (верхний мел) и терригенной (палеоген-неоген) формациям. Причем, мергельно-меловые породы непосредственно подстилают четвертичные отложения в западной и восточной частях средней полосы Беларуси, т. е. в пределах Приднепровской моноклинали Украинской синеклизы и Белостокской моноклинали Польско-Литовской синеклизы. Палеоген-неогеновые – формируют ядра упомянутых синеклиз. На дневную поверхность меловые отложения выходят в бассейне реки Сож, палеоген-неогеновые – в долине Днепра.

Верхнеальпийский структурный этаж сложен породами позднего олигоцена – плиоцена и четвертичными образованиями. Дочетвертичные отложения верхнеальпийского структурного этажа представлены следующими формациями: глинисто-песчаной буроугольной (олигоцен – средний миоцен), монтмориллонитовых глин (верхний миоцен – нижний плиоцен), алевроитов и диатомовых глин (средний плиоцен), гравийно-песчано-глинистой ледниковой (верхний плиоцен – антропоген). С точки зрения инженерной геологии, наибольший интерес представляет последняя. Накопление максимальных толщ отложений ледниковой формации (и, следовательно, всего антропогенного разреза) связано с участками высокого залегания фундамента и прочных пород платформенного чехла, площадями наиболее пересеченного рельефа кровли коренных пород, зонами активизирующихся разломов, положительными локальными структурами новейшего тектонического этапа. Однако, устойчивое поднятие значительных площадей (крайний юг и восток республики) определили снижение на этих участках мощностей четвертичных отложений.

6.3 Подземные воды

При инженерно-геологической оценке местности подземные воды играют очень важную роль. Фильтрационное строение массива

горных пород (количество и характер водоносных горизонтов и комплексов, их взаимосвязь); стратиграфическое и геоморфологическое положение этих горизонтов и комплексов, а также областей их питания и разгрузки; химический состав подземных вод — все это обуславливает формирование инженерно-геологических условий. Как правило, грунтовые воды заключены в дисперсных отложениях четвертичного возраста. Такие породы слабо литифицированы, поэтому их свойства особенно чутко реагируют на изменение влажности.

Подземные воды Беларуси представлены тремя крупными классами: пресными (минерализация до 1,0 г/л), солоноватыми и солеными водами (от 1 до 35 г/л), а также высокоминерализованными рассолами (свыше 35 г/л). В общих чертах распространение вод этих классов коррелирует с гидродинамическими зонами, которые выделяются в гидрогеологическом разрезе:

1) зона активного водообмена, содержащая, в основном, пресные гидрокарбонатные воды с различным сочетанием катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ и др.) и находящаяся в условиях воздействия поверхностных факторов (рельеф, осадки и др.);

2) зона затрудненного водообмена, представленная водами умеренной минерализации и разного химического состава (преимущественно хлоридными, сульфатными и сульфатно-хлоридными с различным сочетанием Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и других катионов);

3) зона застойного водного режима, характеризующаяся водными растворами высокой минерализации (рассолами), имеющими хлоридный состав с широкими вариациями концентраций катионов.

На территории Беларуси в толще осадочных пород и в трещиноватой зоне кристаллического фундамента выделяется более шестидесяти водоносных горизонтов и комплексов, отличающихся стратиграфическими объемами, литологическим содержанием, пространственной структурой, водонасыщенностью и водопроницаемостью, химическим составом подземных вод. Зона активного водообмена и соответствующая ей зона пресных вод охватывает лишь самую верхнюю часть подземной гидросферы (до 150–350 м, лишь иногда — до 1 000 м).

Водоносные горизонты и комплексы четвертичных отложений характеризуются наибольшей пестротой и разнообразием литологического состава, фрагментарностью площадного распространения, частыми выклиниваниями и размывами водовмещающих пород. В надморенных, межморенных и разделяющих их слабопроницаемых, сравнительно водоупорных толщах моренных отложений выделяется множество водоносных горизонтов и комплексов, гидродинамическое

и гидрогеохимическое единство и взаимосвязь которых позволяет объединить их в единый гидрогеологический этаж. В водоносных горизонтах и комплексах четвертичных отложений формируется около 30 % всех возобновляемых ресурсов пресных подземных вод Беларуси.

К покровным отложениям, главным образом, верхнечетвертичным и современным аллювиальным (*allpz* и *alV*), озерно-аллювиальным (*laIIpz*) и озерно-болотным (*l,bIV*) образованиям, а также флювиогляциальным надморенным отложениям поозерского (валдайского), сожского (московского) и днепровского времени (*fillpz*, *flIsz* и *flId*) приурочены безнапорные водоносные горизонты, имеющие между собой тесную гидравлическую взаимосвязь, что позволяет рассматривать их как единый комплекс грунтовых вод. Мощность водоносного комплекса варьирует от нескольких сантиметров до 20–30 м, составляя в среднем 10–15 м. Водообильность пород очень пестрая, удельные дебиты скважин колеблются от 0,01 до 5,0 л/с, коэффициенты фильтрации изменяются от 0,001 до 35 м/сут. Глубина залегания уровня грунтовых вод (УГВ) варьирует от долей метра в поймах рек и на заболоченных территориях до 15–16 м в пределах эловых и камовых образований (в среднем 2–4 м). Уровенная поверхность грунтовых вод в сглаженном виде повторяет рельеф поверхности земли. На участках распространения линз и прослоев супесей, суглинков и глин возможно формирование местных напоров до 2–3 м. Амплитуды сезонных колебаний уровня грунтовых вод обычно не превышают 1,5–2,0 м. Минимальные их величины (0,1–0,5 м) наблюдаются на болотных массивах, а максимальные (до 3–4 м) в долинах крупных рек. Питание грунтовых вод осуществляется, в основном, за счет инфильтрации атмосферных осадков, а в долинах рек также за счет подтока напорных вод подстилающих водоносных горизонтов и комплексов. Разгрузка грунтовых вод происходит в реки и мелиоративные каналы, озера и болотные массивы. На водораздельных участках имеют место перетоки в нижележащие водоносные толщи.

Важнейшими водоносными подкомплексами четвертичных отложений, содержащими напорные подземные воды, являются межморенные сожско-поозерский (*flglIsz-IIIpz*) (московско-валдайский), днепровско-сожский (*flglId-sz*) (днепровско-московский) и березинско-днепровский (*flglIbr-d*) (окско-днепровский).

Сожско-поозерский (московско-валдайский) водоносный подкомплекс распространен в северной части республики. Его южная граница почти совпадает с границей поозерского (валдайского) оледенения. Глубина залегания кровли подкомплекса варьирует от нескольких

до 90 м, а мощность водовмещающих отложений от 3 до 50 м, составляя в среднем 10–20 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 1 до 55 м (в долинах рек иногда до 1,5 м выше поверхности земли). Величина напора над кровлей достигает 80 м. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород составляют в среднем 3–10 м/сут, а удельные дебиты скважин изменяются от 0,02 до 3,5 л/с.

Днепровско-сожский (днепровско-московский) водоносный подкомплекс развит на большей части республики, за исключением Полесья. Южная граница распространения подкомплекса близка к границе сожского (московского) оледенения. Глубина залегания кровли варьирует от 2 до 40 м в долинах рек до 100 м и более на водоразделах. Мощность водовмещающих отложений изменяется от 2 до 74 м, составляя в среднем 15–30 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 1–6 м в долинах рек и до 30–53 м на водоразделах. Величины напора изменяются от 1 до 90 м, снижаясь к долинам рек. Водообильность и фильтрационные свойства пород весьма разнообразны. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород варьируют от 0,2 до 50, в среднем составляя 5–15 м/сут. Удельные дебиты скважин от 0,01 до 9,5 л/с.

Березинско-днепровский (окско-днепровский) водоносный подкомплекс распространен почти повсеместно. Глубина залегания водовмещающих пород варьирует от нескольких до 170 м, их мощность — от 2–10 до 100–170 м и более в древних погребенных долинах. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 1 до 78 м (в долинах рек иногда до 2,5 м выше поверхности земли). Величина гидростатического напора изменяется от 1 до 134 м. Водообильность пород достаточно высокая, удельные дебиты скважин от 0,01 до 4,3 л/с, коэффициенты фильтрации пород варьируют от 0,2 до 26 м/сут.

Помимо этих трех важнейших напорных водоносных подкомплексов четвертичных отложений, на юге Беларуси ограниченно распространен водоносный подкомплекс водно-ледниковых, аллювиальных, озерных и болотных отложений, залегающих под березинской мореной. Водовмещающие отложения, как правило, приурочены к древним долинам и эрозионным котловинам, их мощность варьирует от нескольких до 25–30 м. Коэффициенты фильтрации пород изменяются от 0,1 до 10–12 м/сут, а дебиты скважин — от 0,3 до 6,0 л/с.

Указанные водоносные подкомплексы разделяются моренными отложениями поозерского (валдайского), сожского (московского), днепровского и березинского времени. Мощность морен составляет в среднем 10–30 м, но в доледниковых долинах и экзарационных

депрессиях возрастает до 50–60 и даже 100–120 м. Моренные отложения представлены, в основном, суглинками и супесями (часто с валунами), в толще которых встречаются водонасыщенные прослои, линзы и гнезда разнородных песков, песчано-гравийного и гравийно-галечного материала. Самостоятельных водоносных горизонтов они не образуют и выделяются как воды *спорадического распространения в относительно водоупорных моренных (и конечно-моренных) образованиях* поозерского (валдайского), сожского (московского), днепровского и березинского (окского) времени.

Напорные межморенные водоносные подкомплексы характеризуются площадной невыдержанностью. В долинах рек, где моренные отложения нередко размыты, а также на участках фациального замещения суглинков и супесей песками, имеют место так называемые «гидрогеологические окна», через которые осуществляется гидравлическая связь межморенных водоносных комплексов как между собой, так и с грунтовыми и поверхностными водами. Пьезометрические уровни этих подкомплексов на водораздельных участках имеют максимальные абсолютные отметки, но устанавливаются они ниже уровней грунтовых вод. В направлении речных долин наблюдается закономерное снижение уровней напорных вод четвертичных отложений, в пределах пойм и первых надпойменных террас они залегают на минимальных отметках, которые, как правило, превышают уровни грунтовых и поверхностных вод. Это свидетельствует о том, что питание напорных водоносных комплексов происходит на возвышенных участках водораздельных пространств за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из горизонта грунтовых вод, а разгрузка – в долинах рек. Междуречные пространства могут рассматриваться как самостоятельные в гидродинамическом отношении области формирования и разгрузки не только грунтовых, но и напорных подземных вод четвертичных отложений, а вся толща этих отложений – как единая гидродинамическая система, в которой подземные воды всех горизонтов и комплексов образуют единый поток, характер которого точно соответствует схеме «междуречного потока».

Толща четвертичных отложений находится в верхней части зоны активного водообмена, что в условиях гумидного климата и высокой промытости водовмещающих отложений предопределяет формирование на участках, не испытывающих антропогенного загрязнения, преимущественно пресных и ультрапресных вод гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава. Их минерализация варьирует от 15 до 700 мг/л и более, составляя в среднем 200–400 мг/л.

Химический состав подземных вод четвертичных отложений в целом характеризуется весьма значительной изменчивостью по площади, что определяется, в основном, литологическим составом водовмещающих пород и покровных отложений, интенсивностью водообмена и величиной инфильтрационного питания, подтоками из нижележащих водоносных горизонтов и многими другими факторами.

На общем фоне преобладающих гидрокарбонатных кальциево-магниевого вод выделяются области распространения вод с различной минерализацией – от ультрапресных (менее 0,1 г/л) до вод с относительно повышенной минерализацией (более 0,5 г/л). Наиболее широко распространены гидрогеохимические поля подземных вод с минерализацией от 0,1 до 0,3 г/л и от 0,3 до 0,5 г/л. Их расположение хорошо согласуется с характером покровных отложений.

Подземные воды с минерализацией менее 0,3 г/л, в основном, приурочены к областям широкого развития аллювиальных и водно-ледниковых отложений (представленных, главным образом, песками) в бассейнах Припяти, Березины, Днепра (ниже г. Рогачева) и Западного Буга. На этом фоне в Белорусском Полесье выделяются площади распространения ультрапресных подземных вод с минерализацией менее 0,1 г/л, связанные с высокоподнятыми участками водно-ледниковых равнин и вторых надпойменных террас, сложенных хорошо промытыми кварцевыми песками, на которых развиты бедные дерново-подзолистые почвы (междуречья Ствиги и Уборти, Случи и Птичи, Цны и Лани). Здесь иногда встречаются грунтовые воды с минерализацией всего лишь 15–30 мг/л, которая близка к среднегодовой величине минерализации атмосферных осадков. Близкую минерализацию имеют воды верховых болот, но они отличаются высокими содержаниями водорастворенных органических веществ (до 200–300 мг/л), железа (до 3–5), свободной углекислоты (до 100–200 мг/л) и наименьшими среди всех типов природных вод страны величинами pH (от 3,5 до 4,5).

Подземные воды с относительно повышенной минерализацией (более 0,3 г/л) приурочены к областям с преобладанием в составе покровных образований моренных, конечно-моренных и озерно-ледниковых отложений. Все они имеют ярко выраженный гидрокарбонатный кальциево-магний состав. На фоне этих вод в бассейне Западной Двины выделяется обширная зона с минерализацией подземных вод более 0,5 г/л. Она коррелируется с областью распространения сравнительно молодых отложений поозерского (валдайского) ледника, обогащенных карбонатным материалом, растворением

которого объясняется формирование вод гидрокарбонатного кальцево-магниевого типа.

Территория Беларуси относится к геохимической провинции распространения железистых пресных вод. Гумидный климат региона, обилие в составе покровных отложений и водовмещающих пород рассеянного органического вещества и торфа, — все это обуславливает формирование в подземных водах практически бескислородной слабовосстановительной обстановки, в которой железо в форме Fe^{2+} способно накапливаться в значительных количествах. Наиболее ярко это прослеживается на примере грунтовых вод. На незаболоченных, суходольных участках формируются грунтовые воды с высоким содержанием кислорода (до 10–12 мг/л), относительно низким содержанием свободной углекислоты (до 20–30 мг/л), повышенными величинами окислительно-восстановительного потенциала E_h (от +300 до +360 мВ) и относительно низким содержанием железа (от «не обнаружено» до 0,5–0,6 мг/л). На неосушенных болотных массивах кислород присутствует только в самой верхней зоне грунтовых вод. Он интенсивно расходуется на окисление органического вещества и на глубине 0,4–0,5 м фиксируются уже только его следы (не более 0,2–0,3 мг/л). Эти воды насыщены углекислотой (до 200–300 мг/л), величины E_h снижаются до +200–+250 мВ, а содержание железа резко возрастает (до 10–15 и даже до 20–30 мг/л в толще глубокозалежных низинных торфяников). Аналогичная бескислородная слабовосстановительная геохимическая среда характерна и для напорных подземных вод межморенных водоносных комплексов. Содержание кислорода в них, как правило, не превышает 0,5–0,8 мг/л, величины E_h варьируют в диапазоне от +120 до +280 мВ, а концентрации железа — от 0,1 до 10–13 мг/л, составляя в среднем 2–3 мг/л. В целом, прослеживается хорошая корреляционная связь между степенью заболоченности территорий и частотой встречаемости в их пределах высоких содержаний железа в подземных водах межморенных водоносных комплексов.

Водоносный комплекс палеоген-неогеновых отложений широко распространен на юге Беларуси. Водовмещающими породами являются преимущественно разнородные пески, часто глинистые, с прослоями глин, алевроитов, реже мергелей и углей. Глубина залегания кровли комплекса изменяется от нескольких до 30–50 м, в отдельных случаях до 100 м и более. Максимальная мощность водовмещающей толщи (до 50–70 м) наблюдается в бассейне р. Припять. На остальной территории она редко превышает 20–30 м.

С водоносным комплексом связаны напорные воды. Величина напоров над кровлей водовмещающих отложений варьирует от 5 до 80 м. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 1 до 30 м. Максимальные глубины фиксируются на водораздельных участках. Здесь они устанавливаются ниже уровней подземных вод перекрывающих четвертичных отложений, но выше пьезометрических уровней подземных вод подстилающих меловых отложений. В пределах речных долин наблюдается противоположное соотношение уровней. В целом, их характер свидетельствует о том, что питание палеоген-неогенового водоносного комплекса осуществляется на водораздельных участках за счет перетекания вод из вышележащих четвертичных отложений, а в долинах рек (поймы и первые надпойменные террасы) — за счет подтока напорных вод из подстилающих отложений. Разгрузка происходит в результате перетока на водоразделах в нижележащие горизонты, а в долинах рек — в вышележащие и затем в реки.

Водообильность комплекса пестрая, но в целом достаточно высокая. Коэффициенты фильтрации пород варьируют от 0,1 до 30 м/сут, составляя в среднем 1–6 м/сут. Удельные дебиты скважин изменяются от 0,01 до 0,2–8,0 л/с.

Воды комплекса преимущественно гидрокарбонатные кальциево-магнєвые. Их минерализация варьирует от 30 до 600 мг/л. На формирование химического состава подземных вод палеоген-неогенового комплекса большое влияние оказывает обогащенность водовмещающих пород органическим веществом. Как следствие, концентрации водорастворенного органического вещества достигают 10–20 мг/л. Его источником являются почвы и торф, а также прослои и линзы углистых образований и бурых углей, часто встречающихся в отложениях неогена. Обилие в водах и водовмещающих породах органического вещества обуславливает интенсивное расходование кислорода на его окисление и способствует, таким образом, формированию в подземных водах практически бескислородной слабовосстановительной обстановки. Содержание кислорода в водах варьирует от «не обнаружено» до 0,8 мг/л (реже 1,2) и в выборке из 32 определений составляет в среднем 0,6 мг/л.

Величины окислительно-восстановительного потенциала вод изменяются в широком интервале, от +86 до +290 мВ. Минимальные величины Eh (+86–+120 мВ) наблюдаются в пределах интенсивно заболоченных участков, а также там, где в разрезе перекрывающих отложений преобладают слабопроницаемые моренные суглинки. Более высокие Eh (+160–+240 мВ) характерны для относительно приподнятых,

незаболоченных участков, где в разрезе перекрывающих пород отсутствуют значительные по мощности водоупорные отложения. В отдельных случаях на тех участках, где палеоген-неогеновый комплекс характеризуется наибольшей гидрогеологической «открытостью», а заболоченность территории небольшая, величины окислительно-восстановительного потенциала достигают +260–+290 мВ.

Воды комплекса обогащены марганцем (Mn^{2+}), геохимические особенности поведения которого в подземных водах весьма сходны с поведением железа. Концентрации марганца составляют 0,01–0,2 и достигают иногда 0,8 мг/л (при уровне ПДК 0,1 мг/л).

Водоносный комплекс верхнемеловых отложений развит на значительной части территории Беларуси, отсутствует на участках глубоких эрозионных врезов древних долин крупных рек.

Водовмещающими являются трещиноватые и закарстованные мела, мергели и известняки с редкими прослоями глин и песков маастрихтского, кампанского, сантонского, коньякского, туронского ярусов и мергельно-меловая толща среднего и верхнего подъярусов сеноманского яруса. Глубина залегания кровли водовмещающих пород варьирует от 0–60 м на востоке до 70–150 в Припятском прогибе и 110–240 м – на западе и юго-западе страны. Общая мощность мергельно-меловой толщи в северной и юго-западной частях площадей распространения 40–60 м, в Брестском и Припятском бассейнах 200–290 м. Мощность наиболее трещиноватой и водообильной части разреза обычно не превышает 30–50 м.

Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах до 10–50 м. Напоры над кровлей водовмещающих пород достигают 160–230 м, преобладающие по частоте случаев 15–75 м.

Водообильность верхнемеловых отложений в целом высокая, зависит от степени трещиноватости и закарстованности мергельно-меловых пород. Удельные расходы скважин изменяются от 0,002–0,9 до 10–12 л/с, коэффициенты фильтрации водовмещающих пород – от 0,1 до 1 м/сут, водопроницаемость 50–100 м²/сут.

Воды пресные, минерализация редко превышает 0,5 г/л, состав гидрокарбонатный кальциевый и магниевый-кальциевый.

Водоносный горизонт альб-сеноманских отложений распространен на территории южных районов Беларуси. Водовмещающие отложения представлены нижним подъярусом сеноманского яруса верхнего и альбским ярусом нижнего мела. Водоносны кварцево-глауконитовые пески от тонко- и мелкозернистых до крупнозернистых, карбонатные песчаники и опесчаненные мела. Глубина залегания

кровли водовмещающих пород варьирует от 5–100 м на востоке республики до 315–375 м в Припятском бассейне.

Мощность водонасыщенных пород изменяется от 0,3–5,0 м на севере, 10–25 м в центральной части и до 30–50 м на юго-востоке и западе территории распространения горизонта. Пьезометрические уровни подземных вод устанавливаются на отметках от 37 м ниже земной поверхности до 18,8 м выше ее (абсолютные отметки 77,8–263,0 м). Напоры над кровлей варьируют от 23–95 м (Белорусский гидрогеологический массив) до 170–280 м (Брестский и Припятский гидрогеологические бассейны). Удельные расходы скважин 0,001–8 л/с, коэффициенты фильтрации водовмещающих пород от 0,02 до 62 м/сут, чаще 1–20 м/сут.

Воды пресные, минерализация редко превышает 0,5 г/л. Химический состав гидрокарбонатный кальциево-натриевый, натриевый, кальциевый и кальциево-магниевый.

Водоносный комплекс нижнемеловых (валинжин-ант) отложений распространен на юго-востоке Беларуси. Водовмещающие породы представлены преимущественно разноразмерными песками, часто глинистыми, иногда с прослоями слабосцементированных песчаников, алевроитов и глин. Глубина залегания кровли комплекса варьирует от 100–120 м на северо-востоке до 240–420 м на юго-востоке. Мощность водовмещающих отложений от 2–7 м на севере распространения комплекса до 40–70 м в Припятском бассейне. Воды напорные, пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 5–10 м, в отдельных скважинах зафиксирован самоизлив. Напоры над кровлей водоносного горизонта от 25 до 260 м.

Минерализация подземных вод в пределах 0,1–0,5 г/л, состав гидрокарбонатный кальциевый и гидрокарбонатный натриево-кальциевый.

Водоносный комплекс верхнеюрских отложений распространен в юго-восточных районах Беларуси в пределах Припятского гидрогеологического бассейна, Жлобинского гидрогеологического района, на западе Брестского гидрогеологического бассейна и на западных склонах Белорусского гидрогеологического массива. Водовмещающими породами служат кавернозные и трещиноватые известняки и мергели, а также слабосцементированные карбонатные песчаники и пески келловейского и оксфордского ярусов верхней юры.

Глубина залегания кровли вмещающих пород от 140–250 м на востоке распространения комплекса и 150–300 м на западе страны; до 450 м в Жлобинской седловине и на юго-востоке Припятского бассейна. Мощность водоносной части отложений достигает 45–104 м.

Воды напорные, пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 2,5–66 м, напоры достигают 117–301 м над кровлей водовмещающих пород, в долинах рек отмечен самоизлив из отдельных скважин.

Удельные расходы водозаборных скважин на востоке распространения комплекса не превышают 0,2–0,3 л/с, на западе 0,3–3,3 л/с и более. Подземные воды пресные с минерализацией до 0,5–0,9 г/л, состав – гидрокарбонатный кальциевый.

Водоносный комплекс средне-верхнеюрских отложений развит в пределах Брестского и Припятского гидрогеологических бассейнов, западной части Белорусского гидрогеологического массива, южной части Оршанского гидрогеологического бассейна и гидрогеологического района Жлобинской седловины. Представлен двумя водосодержащими толщами: верхней известняково-мергелистой (оксфордский ярус верхней юры) и нижней песчано-глинистой (келловейский, батский и байосский ярусы среднего отдела юрской системы). Водовмещающими являются трещиноватые и кавернозные известняки и мергели, пески различной крупности, иногда песчаники.

Глубина залегания кровли водовмещающих отложений изменяется от 30–100 м на востоке республики и 70–100 в сводовых частях геологических структур до 350–470 м в Припятском и Оршанском бассейнах. Мощность водоносных пород не превышает 22 м на западе Беларуси, существенно больше в Припятском прогибе (до 195 м).

Воды напорные, пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 4–22 м, напоры варьируют от 80 до 240 м, удельные расходы скважин до 0,25 л/с. Коэффициенты фильтрации обычно в пределах 0,1–1 м/сут. Минерализация подземных вод 0,3–0,8 г/л, в местах глубокого залегания встречены воды с минерализацией 1,1–2,1 г/л. Состав вод – гидрокарбонатный кальциевый и гидрокарбонатный кальциево-магниевый.

В Оршанском и Припятском бассейнах водоносный комплекс сложен преимущественно глинами мощностью от 12 до 85 м. В пределах этих гидрогеологических структур они служат водоупором, разделяющим водоносные горизонты пресных и минерализованных подземных вод.

6.4 Геологические процессы и явления

Особенности климатических, физико-геологических условий, рельефа, распространение определенных комплексов горных пород

и расположение тектонических структур контролируют распространение различных геологических процессов. Современные инженерно-геологические процессы представляют собой наиболее быстро развивающийся компонент, во многом обуславливающий динамичность всей инженерно-геологической обстановки.

Важнейшей особенностью геологических процессов является неравномерность их проявления по земной поверхности в пределах различных регионов, областей и районов. Территория Беларуси по видам экзогенных геологических процессов (ЭГП) разделена на 3 зоны (по Г. А. Колпашникову): северную, центральную и южную.

Северная зона в границах северного Поозерья характеризуется относительно небольшими масштабами развития ЭГП. В долине Западной Двины при подрезке склонов наблюдаются слабое развитие оползней и оврагообразование. В связи с наличием уклонов поверхности (в среднем 30°), распространением почти повсеместно слабифильтрующих материнских пород здесь значительно выражен плоскостной смыв почв.

На отдельных озерах (Нарочь, Мядель и др.) имеет место озерная абразия, сопровождающаяся развитием осыпей и обвалов. На мелнированных землях при сухой погоде в весеннее время (апрель, май) и в начале лета (июнь) наблюдаются случаи ветровой эрозии (дефляции). В целом пораженность экзогенных геологических процессов не превышает 20 % территории.

Центральная зона характеризуется наибольшим размахом развития экзогенных геологических процессов как по количеству, так и по видам, причем, отдельным районам свойственны свои особенности развития процессов. В центральной зоне закономерно выделяются районы распространения плоскостной эрозии, оврагообразования, оползней и обвалов.

В пределах Белорусской гряды, где значительные площади водосборов, активизированы процессы плоскостной эрозии, а на участках крупных склонов – оползни, осыпи, особенно при подрезке склонов. Оврагообразование – наиболее распространенный вид процесса, развивающийся на участках распространения лессовидных отложений на Новогрудской и в меньшей степени Минской возвышенностях, в пределах Оршанско-Могилевского плато и на склонах речных долин и их притоков. Все названные процессы наиболее активизировались в результате интенсивного освоения территории. Активный рост оврагов на участках, где они раньше не развивались, а также повторные врезы обусловлены не столько региональными особенностями территории, сколько вмешательством человека.

В несколько больших масштабах, чем в северной зоне, развиты здесь процессы ветровой эрозии (дефляции).

Южной зоне свойственны иные виды и условия экзогенных геологических процессов по сравнению с северной и центральной. Эта зона располагается в пределах Белорусского Полесья. Развиваются процессы ветровой эрозии – эоловые в пределах надпойменных (боровых) террас и зандровых равнин, дефляция и минерализация на осушенных торфомассивах. Вследствие сухости климата, наличия значительных площадей, не защищенных растительностью, ветровая эрозия получила региональные формы развития. В пределах речных долин и их притоков широко распространены оползни, осыпи и обвалы и четко прослеживается влияние современных положительных движений земной коры.

Ниже рассмотрены геологические процессы, наиболее характерные для Беларуси.

Гравитационные процессы на территории Беларуси проходят по-разному. Различают медленное перемещение материала на склонах (крип) (рисунок 8) и процессы, идущие с высокой скоростью (оползни, обвалы, осыпи, селеподобные потоки). Необходимое условие протекания таких процессов – сравнительно крутые склоны (более 2° для крипа, более $15\text{--}20^\circ$ для оползней, обвалов, осыпей). Обвалы, осыпи и оползни чаще всего приурочены к долинам крупных рек (Западная Двина, Днепр, Березина, Сож, Неман, Припять) и некоторых их притоков, особенно на тех участках, где водотоки прорезают возвышенности и гряды. Заметно проявление этих процессов в прибрежной полосе некоторых озер (Нарочь, Мядель, Езерище, Богинское, Ричи др.), на площадях развития крупных овражно-балочных систем (Мозырская, Новогрудская возвышенности, коренные склоны долин Днепра, Сожа, Немана и некоторых других рек), в береговой зоне водохранилищ, практически во всех карьерах, на некоторых дорожных выемках. Подобные условия в Беларуси развиты на значительных площадях (до 25 % от общей территории) и связаны как с естественными, так и с техногенными факторами.

Оползни – один из наиболее часто встречающихся экзогенных геологических процессов, развитых в зоне распространения ледниковой формации. Г. А. Колпашиников выделяет несколько типов оползневых смещений:

- древние оползни солифлюкционного типа и оползни-течения;
- современные обвалы-оползни и оползни-течения.

Древние оползни солифлюкционного типа и оползни-течения отмечены на участках обнажения склонов в пределах долин Днепра,

Припяти и ряде других мест. Они характерны для склонов, сложенных валунными супесями и суглинками. Распространены они и в районах залегания озерно-ледниковых отложений – ленточных глин. Механизм образования и динамика развития оползней данного типа связаны с периодическим оттаиванием мерзлых пород, что обусловило их переход в текучее состояние. По особенности проявления они мало отличаются от оползня-течения.

Современные обвалы-оползни широко распространены на склонах речных долин. Их происхождение обусловлено подрезкой склонов постоянно действующим водотоком. Наиболее детально они изучены в долинах рек Днепр (г. Речица, н.п. Холмеч, Переделка, Страдубка). Как правило, для этих участков характерны террасовидные двух-ступенчатые оползни с высотой ступеней до 20 м. Оползни-течения характерны для участков, где имеет место смачивание глинистых отложений.



Рисунок 8 – Крип на геологическом обнажении Ляхова Гора, Лоевский район, Гомельская область (июнь 2007 г.)

Основными особенностями формирования новых оползней и активизации существующих для территории Беларуси являются:

- наличие водоносной песчаной толщи у контакта с валунными глинами, суглинками и супесями;
- увлажнение нижележащих пород и потеря вследствие этого прочностных связей между частицами грунта;
- подрезка склонов водотоками, что приводит к обрушению или оползанию грунта и его постепенному смещению к урезу реки с последующим размывом (рисунки 9, 10);
- участие в оползневом процессе напорных вод нижележащего водоносного горизонта, которые усиливают напряженное состояние в массиве.



Рисунок 9 – Подрезка склона русловым потоком Днестра
у н.п. Переделка, июнь 2006 г.



Рисунок 10 – Формирование оползневого склона
(эрозионный берег Днестра, н.п. Переделка, июнь 2006 г.)

Осыпи, как и оползни, характерны для склонов речных долин и оврагов. Большинство осыпей приурочено к склонам, сложенным песчаными породами. Часто в кровле формируются осы, масса которых удерживается за счет сцементированных песков и корней растительности.

Водная эрозия. Наиболее сильное проявление водной эрозии наблюдается в восточной (рисунок 11), центральной и западной частях Беларуси, особенно вдоль Балтийско-Черноморского водораздела, где расположена Белорусская гряда, простирающаяся в субширотном направлении и характеризующаяся значительными превышениями относительных высот над местными базисами эрозии. В северных и южных районах Беларуси водная эрозия проявляется весьма слабо. Белорусское Полесье, за исключением Мозырской гряды, отнесено к неопасной зоне водной эрозии.



Рисунок 11 – Формирование эрозионных форм
в легкоразмываемых песках
(г. Лоев, правый берег р. Днепр, июнь 2006 г.)

В настоящее время в Беларуси оврагами занято около 11 000 га земель, что составляет 0,05 % общей площади республики, а пораженная площадь достигает 37,4 %. Значительные их площади приурочены к участкам сильно расчлененного, лишнего растительного покрова рельефа. К районам наиболее активного оврагообразования можно отнести восточную часть Оршанско-Могилевско-Мстиславской платообразной равнины, Мозырскую гряду, северную часть Минской возвышенности, Оршанскую, Новогрудскую и Гродненскую возвышенности, значительные участки речных долин Днепра, Западной Двины

и Немана. Наиболее интенсивное развитие овраги получили в зоне распространения лессовидных отложений, отличающихся низкой противозрозионной устойчивостью. Эти районы характеризуются максимальным количеством оврагов — 0,5–1 и более на 1 км^2 и длиной 50–100 м и более на 1 км^2 .

Золовые процессы в естественных условиях наиболее широко развиты в пределах Белорусского Полесья, на первой надпойменной (боровой) и второй террасах рек Днепр и Припять. Первая надпойменная терраса характеризуется наличием многочисленных валов, которые повсеместно перевеяны с поверхности. Хорошо выражены впадины выдувания и всхолмления надувания, ориентированные в западном и северо-западном направлениях. Процессы перевеявания песков наблюдаются и в настоящее время, что подтверждается наличием ряби, погребенных гумусовых прослоев и строением самих всхолмлений. Перевеявание и перемещение песчаного материала привело к образованию дюн, бугров, гряд (высотой до 2–3 м различной ориентировки), котловин выдувания и других форм золового рельефа.

В Белорусском Полесье почвы имеют преимущественно легкий механический состав, большей частью распаханы. Для этой территории характерны самые сильные ветры, наибольшие колебания сумм осадков (300–1000 при среднем 600–650 мм/год), периоды без дождя длительностью до 15 суток, когда относительная влажность падает до 40–50 % и менее. При этом поверхностный слой пересыхает до полной потери воды. Именно сложение всех перечисленных факторов обусловило сильные пыльные бури в 1955, местами в 1949–1951, 1967, 1969 и 1971 гг. В настоящее время в Полесье ветровой эрозии подвержено свыше 40 % земель.

Карст. В Беларуси растворимые породы распространены на разных глубинах почти по всей территории. По их преобладающему составу встречаются карбонатный и галоидный литологические типы карста.

Галоидный карст развит в Припятском прогибе. Выщелачивание соли здесь началось сразу после прекращения соленакопления (D_3fm_2) и продолжается до сих пор, оказывая заметное влияние на структуру надсолевых отложений. Наиболее интенсивно этот процесс происходил в перми и триасе во время перерывов в осадконакоплении, а также в позднем олигоцене-неогене в связи с активизацией неотектонических дифференцированных движений с амплитудой до нескольких десятков метров. По некоторым оценкам, объем растворенных солей составил $1\,675 \text{ км}^3$ каменной соли, которая частично была переотложена

в нижнепермских отложениях, но большая часть осталась в подземных водах надсолевого комплекса или была вынесена за пределы бассейна. В связи с монолитностью солей карст приурочен главным образом к местам наибольшего нарушения монолитного состояния карстующихся пород, а чаще — к кровле и к краевым частям соляных залежей и / или соляных куполов, перекрытых породами разного возраста — от девонских до палеогеновых. Синклинали и мульды оседания в Припятском прогибе, связанные с процессом подземного выщелачивания соли в сводах соляных поднятий и оседания покрывающих отложений, наиболее широко развиты по периферии прогиба. В современном рельефе мульдам оседания соответствуют микрозападины различных размеров и конфигураций. Так, на флювиогляциальных песках микрозападины чаще всего имеют размеры от 40–50 до 100 м. Форма их овальная, склоны пологие. Заполнены они в центральной части торфом мощностью до 0,5–1,0 м. К периферийным частям мощность торфа убывает, превращаясь в гумусированный почвенно-растительный слой. Микрозападины врезаны в окружающую поверхность на 0,5–1,5 м. Так как мощность поверхностных отложений в данном случае не менее 100 м, галоидный карст с точки зрения инженерной геологии не представляет опасности.

Карбонатный карст развит в известняках и доломитах верхнего девона (франский ярус), в известняках и мергелях верхней юры (оксфордский ярус) и в мелах, мергелях и известняках верхнего мела (сеноманский, сантонский, кампанский и маастрихтский ярусы) и их отторженцах.

Карбонатные породы верхнего девона и верхней юры кавернозные. Каверны имеют карстовую природу. Основную роль в выщелачивании карбонатных пород играли атмосферные и морские воды, действие которых осуществлялось при перерывах в осадконакоплении. Поэтому наиболее пористые и кавернозные породы приурочены к уровням региональных перерывов в седиментации и к отложениям гипсометрически наиболее высоких участков приразломных поднятий. Кавернозные отложения девона развиты в Припятском прогибе на глубинах до нескольких километров и на севере, северо-востоке Беларуси (Латвийская седловина, северная часть Оршанской впадины), где глубина их залегания изменяется от 5 до 180 м. Юрские кавернозные отложения распространены в Припятской, Брестской и южной части Оршанской впадины, на западных склонах Белорусской антеклизы и Жлобинской седловине. Минимальная глубина залегания кровли закарстованных пород отмечается на востоке республики и составляет 30 м.

Такие породы характеризуются повышенной водопроницаемостью, что может вызвать трудности, например, при гидротехническом строительстве. Карст в районе Витебских порогов в 1951–1954 гг. изучался в связи с проектированием водохранилища для Витебской ГЭС.

Отложения верхнего мела развиты в центральной и южной частях республики. Глубина залегания закарстованных пород изменяется от 0–60 м на востоке до 70–150 м – в Припятском прогибе и 110–240 м – на западе и юго-западе страны. Карстовые формы установлены практически по всей поверхности кровли верхнемеловых пород. Во время перерыва в осадконакоплении на границе мезозоя и кайнозоя происходили размыв и карстообразование в верхнемеловых отложениях, зарождались карстовые воронки на востоке Брестской впадины и Полесской седловине. Постепенно они заполнялись глинами, алевроитами с обломками кремней и фосфоритовой галькой, кварцевыми песками, бурым углем и т. д. Закарстованные породы перекрыты чехлом четвертичных отложений мощностью до 10–15 м на востоке и до 30–40 м – на западе.

В большей степени карстовые процессы проявились в юго-западной части республики. Здесь возникли довольно крупные котловины, которые в настоящее время заняты озерами (Белое, Черное, Луковское, Соминское, Вульковское и др.). Глубины озерных ванн достигают 15–20 м и более, а площадь – 3–5 км².

В восточной Беларуси карст обусловил появление на земной поверхности довольно многочисленных, но небольших по площади и неглубоких западин. Только изредка в таких понижениях возникают малые озера. Обычно их диаметр не превышает: в бассейне Удоги и в районе Кричева – 70 м, в Славгородском районе – 200 м, в Костюковичском – 50 м, в Ветковском – 300 м. Глубина их, как правило, изменяется от 0,3 м до 3,0 м, изредка достигает 5 м (левобережье Беседи и др.).

Антропогенные карстовые полости прослеживаются в естественных обнажениях и карьерах Костюковичского, Краснопольского, Славгородского и Кормянского районов. Диаметр их составляет 30–80 см, глубина – до 1,5 м. Представлены гнездами, воронками; карманами, расширенными трещинами с разведенными стенками. Полости заполнены бурой глиной, которая иногда замещена мелко- и среднезернистым песком.

В Беларуси естественные выходы мощных толщ карстующихся пород на дневную поверхность встречаются редко и в основном имеют место в отторженцах, субвертикальных бортах речных обрывов,

речных порогах. В связи с этим влияние карста на земную поверхность может осуществляться только там, где они прикрыты мало-мощным чехлом рыхлых отложений: междуречье Днепра и Друти, на значительных площадях левобережья Сожа, в междуречье Ясельды и Бобрика, на левобережье верхней Припяти, близ озера Освейское. Карстовые формы обнаруживаются и при разработке полезных ископаемых. Например, по данным Института геохимии и геофизики НАН Беларуси, на Каменковском месторождении мела (Кричевский район) обнаружены многочисленные воронки диаметром 30–70 м, глубиной 0,3–1,5 м, заполненные песком или глиной. Мощность надкарстового покрова здесь составляет 0,5–9,0 м.

Просадочность лессовых грунтов. Беларусь относится к северной провинции распространения покровных и лессовых отложений Русской платформы в пределах развития днепровского и частично сожского (московского) оледенений. Здесь лессовые и лессовидные суглинки, супеси и глины имеют прерывистое и островное распространение и небольшую мощность.

В Беларуси типичные лессовые породы распространены в пределах Оршанско-Могилевской равнины и Смоленско-Московской возвышенности. Максимальные мощности лессовых пород (до 15–18 м) установлены в Горецком, Дубровенском, Мстиславском районах.

Главной особенностью лессов является их способность существенно снижать свою прочность при увлажнении и уплотняться – проявлять просадку. С водонеустойчивостью, легкой и быстрой размываемостью и размокаемостью лессов и лессовидных пород связано широкое развитие опасных процессов: суффозии, образования провальных воронок, формирования оврагов, быстрого разрушения берегов рек, озер и водохранилищ, многочисленных оползней-сплывов, солифлюкционных подвижек и др.

Суффозия является довольно распространенным процессом на территории Беларуси. Благоприятные условия для ее развития складываются в пределах равнин и низин (Лучосинской, Горецкой, Могилевской, Костюковичской, Чечерской, Стрешинской, Хойникской и др.), а также возвышенностей (Минской, Новогрудской, Оршанской, Копыльской, Мозырской и др.) с покровом лессовидных отложений. К суффозионным формам относятся циркообразные ниши, встречающиеся по бортам оврагов, балок, склонам речных долин. Наиболее выражены такие формы в пределах Мозырской и Новогрудской возвышенностей и Могилевской равнины. Эти образования не отличаются крупными размерами, достигают в поперечнике 4–5 м.

Активизация суффозионных процессов может вызвать образование колодцев и тоннелей. В Беларуси такие формы особенно характерны для Мозырской возвышенности, где они располагаются в верховьях оврагов.

Суффозионные провалы широко распространены на урбанизированных территориях. Главной причиной их развития были и остаются утечки из водонесущих коммуникаций (особенно теплопроводных и / или имеющих большой износ). Высачивание под большим давлением и аварийные прорывы воды из этих коммуникаций постоянно приводят к размыву, разрушению и выносу вмещающих и перекрывающих их дисперсных грунтов (в т. ч. грунтов засыпки) и деформациям расположенных над ними объектов городского хозяйства (рисунок 12).



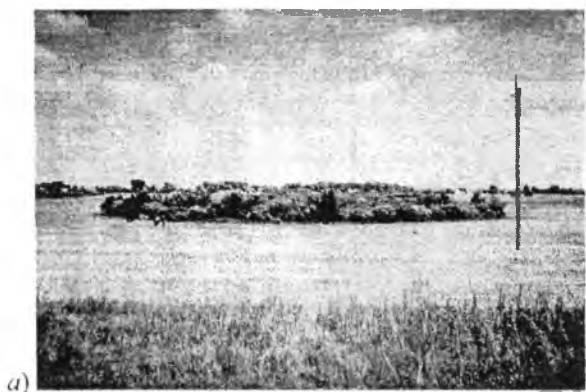
Рисунок 12 – Развитие суффозионного процесса по трассе коллектора дождевых вод, ул. Хатаевича (сентябрь 2003 г.)

Очень быстро образуются суффозионные провалы при крупных авариях водопроводных систем, когда вода вырывается из труб под большим давлением. Струйный размыв грунта приобретает тогда катастрофический характер, распространяется по всем подземным каналам и сопровождается интенсивным выносом дисперсного материала. Возникающие при этом полости мгновенно обрушаются. Тем не менее, это не самый опасный вид суффозионного провалообразования, поскольку коммунальные службы быстро реагируют на подобные аварии, устраняя их первопричину. Гораздо хуже обстоит дело, когда

утечка мала, но постоянна. Картина развития суффозионного процесса в этом случае мало отличается от природной, только протекает интенсивнее. Суффозионные процессы могут активизироваться весной и осенью после выпадения значительного количества атмосферных осадков, что, с одной стороны, повышает уровни залегания грунтовых вод, а с другой – увеличивает расход воды в ливневой канализации и соответственно объем утечек из нее.

Западинные формы рельефа. В перигляциальной области поозерского (валдайского) оледенения Беларуси широко развиты западины (блюдца), отличающиеся по условиям формирования. С районами распространения типично лессовых пород связано развитие субтермокарстовых западин, на посткриогенном этапе формирования которых основная роль принадлежит процессам деградации лессовых пород. В покровных лессовидных пылеватых песках и супесях формирование термокарстовых западин происходило при деградации повторно-жильных льдов с преобладанием суффозионных процессов. Количество и размер блюдец находится в прямой зависимости от мощности лессовидных отложений (70 % общей площади западин приходится на участки с мощностью лессовидных отложений более 4 м). Общая площадь западинного рельефа в Беларуси составляет 1200 км² (0,58 % территории республики). Наибольшее количество блюдцеобразных западин сосредоточено в юго-восточной части Витебской (Оршанский и Дубровенский районы) и северо-восточной части Могилевской области (Горецкий, Мстиславский, Кричевский районы). В пределах лессовых районов Беларуси они отличаются повсеместным распространением. Плотность их колеблется от 1 до 2 шт./км² до 100 шт./км². На отдельных участках блюдами занято более 20 % площади сельхозугодий.

Блюдцеобразные западины имеют в плане округлую, овальную, грушеобразную или эллипсоидную форму (рисунок 13а). Нередко встречаются блюда вытянутой формы, у которых длина в 2–3 раза больше ширины. Отдельные блюда достигают 30–50, а иногда 100–120 м в поперечнике. Площадь колеблется от 100 до 20000 м². По сравнению с окружающими пространствами поверхность их может быть понижена на 2–3, реже – до 7 м. Для территории Беларуси средняя глубина блюдец составляет 0,6–1,0 м. Западины часто располагаются в виде цепочек по плоским тальвегам, иногда объединяются в массивы. В естественном состоянии суффозионные западины преимущественно заболочены, закустарены и не используются в сельском хозяйстве (рисунок 13б).



а)



б)

а — общий вид, б — характерная растительность
в центре суффозионно-просадочной западины

Рисунок 13 — Суффозионно-просадочная
западина в районе г. Лоева

На площадях распространения ледниковых моренных образований встречаются термокарстовые западины, формирование которых связано с вытаиванием мертвых льдов. Дегляциация территории шла двояким путем: фронтальным отступлением и отчленением полос мертвого льда, ширина которых могла достигать 50–100. Западины подобного рода можно наблюдать в различных районах республики, но наиболее многочисленно они представлены на севере,

в области поозерского (валдайского) оледенения. Они хорошо выражены в рельефе, имеют специфическую овальную форму и слабо заболоченное днище. Размеры их небольшие. В диаметре они обычно не превышают 0,5–1,0 км. Склоны этих западин пологие, а днище располагается ниже окружающей поверхности на 1,0–1,5 м.

Выяснение условий образования западинных форм рельефа имеет большое практическое значение, как для целей сельского хозяйства, так и при строительстве зданий и различных инженерных сооружений. В сельскохозяйственном производстве с ними связаны явления вымокания культур (следствие – низкая урожайность на таких площадях); при строительстве и хозяйственном освоении неизбежны дополнительные мероприятия, обеспечивающие устойчивость грунтов, особенно в зоне контакта оглеенных гидроморфных разностей в контурах микропонижений с вмещающими лессовидными породами субаэрального покрова.

Формирование болот и заболачивание земель. В настоящее время общая площадь, на которой происходило накопление торфа в Беларуси, составляет около 2,5 млн. га, т. е. около 12 % всей территории.

Различаются низинные (грунтового питания), верховые (преимущественно атмосферного питания) и переходные (смешанного питания) торфяники. Процессы накопления низинного торфа в Беларуси преобладали. Они развивались примерно на 81 % площади всех болот, причем основные массивы низинного торфа приурочены к центральной и южной частям республики. Самые крупные низинные торфяники по площади занимают десятки тысяч гектаров: Великий Лес – 40,1 тыс. га; Выгонощанское болото – 34,9; Гричин – 32,9; Загальский массив – 32,5; Погонянское болото – 28,4; Булев Мох – 27,9; Хольча – 25,6; Обровское болото – 22,9 и др. Перечисленные болота входят в Белорусском Полесье.

Верховые торфяники занимают около 16 % площади всех болот. Распространены они повсеместно, но наибольшее их количество тяготеет к Северной Беларуси. Площадь самых крупных из них измеряется десятками тысяч гектаров. Например, наиболее известное верховое болото Межч (Полесье) занимает 21,9 тыс. га.

Переходные болота занимают промежуточное положение между низинными и верховыми. На их долю приходится около 3 % площади всех болот. Наибольшие торфяники переходного типа приурочены к Могилевской, Брестской и Витебской областям.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие структуры первого порядка по глубине залегания кристаллического фундамента выделяют на территории Беларуси?
- 2 Какими основными комплексами представлены верхние структурные этажи платформенного чехла в пределах Беларуси?
- 3 Каким образом подземные воды основных водоносных горизонтов и комплексов четвертичных отложений влияют на инженерно-геологические условия Беларуси?
- 4 Каким образом территория Беларуси разделена по видам экзогенных геологических процессов (ЭГП)?
- 5 Дайте краткую характеристику северной зоны распространения экзогенных геологических процессов.
- 6 Чем характеризуется центральная зона распространения экзогенных геологических процессов?
- 7 Каковы особенности южной зоны распространения экзогенных геологических процессов?
- 8 Охарактеризуйте гравитационные процессы, характерные для территории Беларуси.
- 9 Дайте характеристику водной эрозии на территории Беларуси.
- 10 Чем характеризуются эоловые процессы территории Беларуси?
- 11 Охарактеризуйте карст на территории Беларуси.
- 12 Охарактеризуйте просадочность лессовых грунтов Беларуси.
- 13 Дайте краткую характеристику суффозии на территории республики?
- 14 Охарактеризуйте западинный рельеф на территории Беларуси.
- 15 Определите условия формирования болот и заболачивание земель в Беларуси.

Тема 7

Влияние геологического строения территории Беларуси на формирование геологических опасностей

- 7.1 Основные формации поверхностных отложений Беларуси
- 7.2 Фациально-генетические комплексы ледниковой формации
- 7.3 Фациально-генетические комплексы перигляциальной формации
- 7.4 Фациально-генетические комплексы внеледниковой формации

7.1 Основные формации поверхностных отложений Беларуси

В региональной инженерной геологии важным моментом является выделение комплексов поверхностных отложений с одинаковым характером протекания природных процессов и их техногенных аналогов с целью прогнозирования геологических опасностей при различных видах техногенных воздействий. Поэтому в основу оценки влияния геологического строения территории Беларуси на формирование геологических опасностей положен формационный анализ поверхностных отложений. В качестве основной таксономической единицы, характеризующейся однородностью инженерно-геологических условий, рассматривается фациально-генетический комплекс.

И. В. Попов выделил следующие формации поверхностных отложений: ледниковую (нивальную), перигляциальную, внеледниковую (гумидную), пустынную, морскую и эстуариевых отложений. В пределах Беларуси Э. А. Левков и др. четвертичные отложения относят к гляциогенной, криогенной и термогенной формациям. Учитывая вышесказанное, на территории Беларуси выделяются три основные формации: ледниковая, перигляциальная и внеледниковая, которые отвечают отложениям, накопившимся соответственно в условиях распространения ледниковых покровов, на перигляциальных площадях и в межледниковых и современных условиях. Формация характеризуется определенным набором фациально-генетических комплексов отложений. Каждой формации и геолого-генетическому комплексу соответствуют определенные типы рельефа.

7.2 Фациально-генетические комплексы ледниковой формации

В гляциальной формации И. В. Попов выделил следующие фациально-генетические комплексы: ледниковый (моренный); озерно-ледниковый (ленточные глины); флювиогляциальный; морской или айсберговый (тиллиты). К основным генетическим типам отложений ледниковой формации Беларуси относятся: ледниковый (гляциальный, моренный), потоково-ледниковый (флювиогляциальный) и озерно-ледниковый (лимно-гляциальный). На долю морены приходится 52 %, на флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения – 36 % от общего объема антропогенного покрова.

Ледниковый (моренный) фациально-генетический комплекс

Ледниковые или моренные отложения являются наиболее распространенным генетическим типом антропогенных образований Беларуси, они встречаются примерно на 90 % территории республики и приурочены к 4 ледниковым комплексам (горизонтам), каждый из которых связан с самостоятельным оледенением. Морены послужили исходным материалом для формирования большинства других генетических типов антропогенных отложений и в значительной мере предопределили особенности их состава.

Моренные отложения, как правило, являются рельефоформирующими в пределах краевых ледниковых гряд, которые очень хорошо выделяются в пределах территории Беларуси в зоне поозерского (валдайского) и сожского (московского) оледенений (Браславская, Освейская, Свенцянская, Городокская, Витебская, Гродненская, Волковысская, Слонимская, Новогрудская, Ошмянская, Минская, Оршанская возвышенности, Копыльская гряда) и днепровского оледенения (Мозырская гряда, Загородье). Менее выражены моренные формы рельефа в местах мелких осцилляторных подвижек ледников.

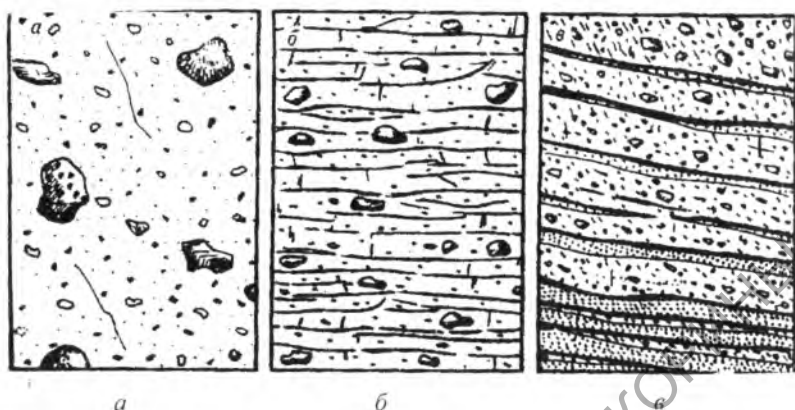
По особенностям возникновения моренные отложения подразделяются на основные, абляционные и конечные. Часто моренные горизонты неоднородны и за счет включенных в них отложений другого происхождения расщепляются на несколько (до 5–6) слоев. Поэтому иногда в скважинах, прошедших через антропогенную толщу, отмечается до 8–10 моренных интервалов. Мощность отдельных горизонтов обычно измеряется в пределах 5–30 м, но иногда достигает 50 м и даже более (у гг. Минска, Шклова, Гродно, Новогрудка, Витебска и в ряде других мест). Максимальные мощности приурочены к зонам

распространения красных образований. Мощность основной морены в большой степени зависит от рельефа поверхности подстилающих ее горных пород, увеличиваясь в депрессиях доледникового рельефа до многих десятков метров и уменьшаясь на его выступах до нескольких метров, а иногда даже до долей метра. В случаях же, когда друг на друга налегают основные морены нескольких оледенений, общая мощность моренной толщи может достигать 100–120 м.

Перекрывающими и подстилающими породами морен служат водноледниковые и межледниковые толщи, а наиболее древние моренные горизонты нередко ложатся непосредственно на коренные породы. Собственно ледниковые отложения поозерского (валдайского), сожского (московского) и днепровского возрастов на больших площадях выходят непосредственно на поверхность, тогда как отложения березинской (окской) морены только иногда обнажаются в долинах рек, а наревской – вскрыты лишь скважинами.

В большинстве случаев для морен характерна массивная, комковатая текстура, хотя нередко встречаются чешуйчатые и слоистые разности (рисунок 14), особенно характерные для нижних приконтактных частей моренных толщ, что связано либо с некоторым преобразованием моренного материала в водной среде, либо с особенностями захвата льдом пород ложа.

Ледниковые глины и суглинки характеризуются изменчивым гранулометрическим и минеральным составом, грубодисперсностью, отсутствием сортированности, слоистости, неоднородным строением, изредка наличием обломков разного размера (таблица 4). На частицы < 0,01 мм приходится от 30–50 до 60–80 % объема. Обычны примеси песка, гравия, гальки, нередко карбонатного состава, встречаются валуны и различные по объему отторженцы. Обломки крупнее 3 мм могут составлять до нескольких процентов от общего объема. Особенностью основной морены является закономерная ориентировка содержащихся в ней крупных галек и валунов, чаще вытянутых по движению ледниковых покровов, причем, преобладает ориентация осей удлиненных обломков в южном, юго-восточном и юго-западном направлениях. В толще глинистых пород отмечаются прослои, линзы и небольшие протяженные залежи довольно отсортированного песка, свидетельствующие о деятельности внутриледниковых потоков и озер. Минеральный состав преимущественно гидрослюдистый. Примесями являются каолинит, монтмориллонит, хлорит. Песчано-алевритовую фракцию составляют кварц, полевые шпаты, карбонаты, слюды. На тяжелые минералы приходится до 1 %.



Текстуры: а – массивная; б – плитчатая; в – слоистая

Рисунок 14 – Типичные текстуры моренных отложений
(составил Э. А. Левков)

Таблица 4 – Гранулометрический состав моренных грунтов
юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование грунта	Содержание частиц, %					
	Размер частиц, мм					
	10–2	2–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,005	< 0,005
днепровская морена						
Супесь	4,4 (5)	8,3	10,6	18,6	42,8	5,9
Суглинок	1,5 (5)	5,9	10,0	17,1	48,7	16,8
сожская (московская) морена						
Супесь	0,1 (2)	3,7	12,7	15,6	61,0	6,7
Суглинок	0,0 (1)	0,1	0,1	0,3	78,7	20,8

Примечание – В скобках приводится число определений

Цвет глин зависит от примесей оксидов железа и может изменяться от буровато-серого и красновато-бурого на севере и в центральной части страны до буровато-серого – преимущественно на юге.

Для морены Русской платформы характерны следующие осредненные показатели основных физико-механических свойств: естественная влажность $\omega = 10-20\%$; плотность сухого грунта $\rho_d = 1,8-2,1 \text{ г/см}^3$; пористость $n = 20-31\%$; коэффициент пористости $e = 0,25-0,45$;

степень влажности $S_i = 0,8-1,0$; карбонатность = 3 %; водопроницаемость $K_f = 10^{-2}-10^{-4}$ м/сут (очень низкая); набухаемость до 40 %; усадка около 7 %; угол внутреннего трения $\varphi = 20-35^\circ$; удельное сцепление $C = 0,03-0,05$ МПа; модуль деформации $E = 5-35$ МПа. Кроме того, основные показатели физико-механических свойств морен приведены в таблицах 5, 6.

Для моренных горизонтов — днепровского, сожского (московского), поозерского (валдайского) — наиболее характерны типы разрезов из двух зон — верхней и нижней. В научной литературе нет единого мнения о происхождении поверхностных моренных горизонтов. По некоторым данным, они представляют собой абляционные разности, образованные из материала, переносившегося на поверхности ледника и отложившегося после его окончательного стаивания. По другим данным (В. Г. Лободенко), формирование верхней зоны связано главным образом с процессами гипергенеза, приведшими не столько к увеличению дисперсности грунтов, сколько к изменению их структурно-текстурных особенностей и снижению структурной прочности. Так или иначе, переход от одной зоны к другой выражается уменьшением вверх по разрезу глинистости, повышением содержания песчаных прослоев и линз, уменьшением плотности и прочности морен. Наблюдается также увеличение к низу содержания карбонатов.

С глубиной увеличиваются естественная влажность, граница текучести, сопротивление одноосному сжатию, модуль деформации и содержание глинистых частиц.

Конечно-моренные образования в Беларуси чрезвычайно широко развиты. Главные площади их развития сосредоточены в северных, центральных и западных районах республики, а на юге и юго-востоке отмечаются реже. Отложения представлены либо валунными супесями и суглинками, либо разнообразными песками, песчано-гравийно-галечными отложениями, супесями и пр. При этом песчанистые и грубообломочные разности резко доминируют.

По своим текстурным особенностям залежи насыпных краевых гряд напоминают потоково-ледниковые: материал разной крупности образует горизонтально- и косослоистые серии мощностью от нескольких сантиметров до 0,5–1,0 м и иногда более. Нередко крупнообломочные серии разделяются прослоями мелкозернистых песков, супесей и глин. Довольно часто отложения таких гряд прикрыты неравномерным чехлом моренных супесей и суглинков мощностью до 2–5 м. Значения некоторых показателей физических свойств конечно-моренных отложений приведены в таблице 7.

Таблица 5 – Усредненные показатели основных физических свойств моренных грунтов Беларуси

Наименование грунтов	Естественная влажность ω , %	Плотность		Коэф-фициент пористости e , доли ед.	Степень влажности S_r , доли ед.	Коэф-фициент фильтрации K_f , м/сут	Пределы пластичности		Число пластичности I_p , %
		грунта ρ , г/см ³	сухого грунта ρ_d , г/см ³				верхний W_L , %	нижний W_p , %	
днепровская морена									
Супесь	10,56 (1150)	2,18 (908)	1,97 (470)	0,37 (908)	0,75 (804)	0,08 (2)	16,99 (1052)	12,57 (104)	5,48 (1076)
	8,90–11,60	20,70–2,25	1,91–2,00	0,33–0,44	0,60–0,85		18,00–16,00	11,00–12,80	4,30–6,00
Суглинок	12,54 (457)	2,19 (457)	1,95 (457)	0,39 (457)	0,85 (457)	0,009 (1)	23,60 (457)	14,8 (130)	9,11 (457)
	12,40–12,90	2,16–2,20	1,92–1,96	0,38–0,39	0,81–0,88		22,50–25,50		7,90–10,70
Песок пылеватый	29,7 (37)	1,91 (37)	–	0,81 (37)	–	0,5 (5)	–	–	–
сосная (московская) морена									
Супесь	10,14 (943)	2,15 (935)	1,95 (1079)	0,38 (958)	0,72 (806)	0,039 (7)	17,04 (954)	11,16 (364)	5,58 (1094)
	9,00–10,80	2,08–2,23	1,89–2,00	0,39–0,43	0,65–0,87		16,50–17,70	10,70–4,70	4,90–6,50
Суглинок	12,81 (215)	2,17 (221)	1,93 (202)	0,40 (219)	0,84 (147)	0,019 (3)	19,24 (162)	11,63 (75)	8,19 (219)
	11,20–13,90	2,09–2,24	1,88–1,98	0,36–0,44	0,79–0,93		18,20–22,20	10,60–12,60	7,10–9,50
поозерская (валдайская) морена									
Супесь	11,08 (618)	2,23 (615)	2,01 (616)	0,35 (614)	0,87 (614)	–	18,41 (616)	11,78 (211)	6,10 (828)
	10,60–11,50	2,20–2,25	1,98–2,03	0,33–0,37	0,85–0,90		17,6–19,4	11,70–12,10	5,40–6,80
Суглинок	12,9 (70)	2,18 (70)	1,93 (70)	0,40 (70)	–	–	–	12,1 (70)	8,9 (70)
	11,10–14,70	2,13–2,23	1,85–2,01	0,34–0,45	–			11,50–12,70	8,40–9,40

Примечание – * В числителе – среднее арифметическое значение, в скобках – число определений; в знаменателе – минимальное и максимальное значения показателей

Примечание – В числителе – среднее арифметическое значение, в скобках – число определений; в знаменателе – минимальное и максимальное значения показателей

Таблица 6 – Усредненные значения показателей механических свойств моренных грунтов (сдвиг при нагрузке 0,1; 0,2; 0,3 МПа)

Наименование грунта	Условия опыта	Угол внутреннего трения φ , град	Сцепление, C , 10^5 Па	Модуль деформации, E , 10^5 Па
днепровская морена				
супесь	консолидированный сдвиг	$\frac{28}{24-33}$ (108)	$\frac{0,39}{0,33-0,53}$ (108)	310 (8)**
суглинок	консолидированный сдвиг	25 (34)	0,47 (34)	170 (4)
сожская (московская) морена				
супесь	консолидированный сдвиг	$\frac{30}{27-32}$ (937)	$\frac{0,37}{0,24-0,42}$ (937)	—
суглинок	консолидированный сдвиг	27 (51)	0,28 (51)	—
поозерская (валдайская) морена				
супесь	консолидированный сдвиг	$\frac{32}{30-33}$ (29)	$\frac{0,33}{0,32-0,34}$ (29)	—
суглинок	консолидированный сдвиг	$\frac{25,5}{25,0-28,0}$ (69)	$\frac{0,50}{0,28-0,54}$ (69)	—
супесь	неконсолидированный сдвиг	30 (40)	0,35 (40)	—
суглинок	неконсолидированный сдвиг	23 (17)	0,31 (11)	—
Примечания — * В числителе — среднее арифметическое значение, в скобках — число определений; в знаменателе — минимальное и максимальное значения показателей ** Модуль общей деформации в интервале давлений $(2-4) \cdot 10^5$ Па				

Возникновение инженерно-геологических опасностей в моренных грунтах, главным образом, связано с неоднородностью их состава, структуры и текстуры; присутствием внутриморенных водоносных песчаных прослоев, содержащих напорные воды, и линз слабых мягких глин и суглинков; с относительно более низкими прочностными и деформационными свойствами абляционной морены. При промерзании грунты сильно пучатся. При увеличении влажности ухудшаются показатели их механических свойств. Повышение гидравлических градиентов в водовмещающих породах, представленных слоями или линзами песков в гляциальных отложениях, при условии их вскрытия котлованами или горными выработками может способствовать формированию плывунов. Способность глинистых отложений концентрировать в себе поверхностный сток, а также их легкая размываемость

приводят при расчлененном рельефе к развитию овражно-балочной сети. Эта особенность ярко проявляется в районах развития краевых ледниковых образований. В зоне распространения ледниковой формации формируются оползни.

Таблица 7 – Показатели некоторых физических свойств днепровской конечной морены юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование грунта	Плотность грунта ρ , г/см ³	Пористость n , %	Коэффициент фильтрации K_f , м/сут	Число пластичности I_p , %
Песок пылеватый	1,76 (1)*	33,7 (1)	0,20 (1)	–
Песок мелкий	1,77 (2)	38,2 (2)	0,90 (2)	–
Песок средней крупности	1,57 (2)	31,0 (2)	–	–
Супесь	1,79 (2)	31,7 (2)	0,68 (2)	2,3 (2)
Суглинок	1,80 (2)	49,2 (1)	–	9,0 (2)
Примечание – * В скобках приводится число определений				

Озерно-ледниковый фициально-генетический комплекс

Озерно-ледниковые отложения на территории Беларуси залегают в антропогенной толще на разных глубинах и связаны с деятельностью разновозрастных ледниковых покровов. На поверхности эти образования выступают на севере, кое-где на западе и в центре республики. Наиболее обширные площади озерно-ледниковых отложений сосредоточены у Верходвинска, Полоцка, Суража, по рекам Дисне, Лучесе, Неману. Значительно меньшие территории, занятые подобными образованиями, известны возле Лепеля, Ушачей, Свири, северо-западнее Мяделя и в ряде других мест Поозерья. На остальной площади республики неглубоко залегающие озерно-ледниковые отложения, в основном связанные с осадками среднеплейстоценового возраста, имеют ограниченное распространение. Обычно они встречаются в виде вытянутых линз до нескольких сотен метров длиной (редко до первых километров), располагаясь в понижениях рельефа, на склонах конечноморенных гряд и т. п. На долю отложений рассматриваемого генетического типа в общем объеме четвертичного покрова Беларуси приходится около 3–5 %.

Для озерно-ледникового фациально-генетического комплекса характерны «ленточные» глины. Называются они так в связи с тонкой слоистостью, обусловленной чередованием слоев от 0,5 до 20 см мощностью, в виде лент (рисунок 15). Такая слоистость глин обусловлена сезонностью осадконакопления. Летние слои, в связи с активной динамикой ледниковых вод – грубодисперсные, слабосортированные; зимние – тонкие, хорошо отсортированные. Мощность летних слоев 1,5–20 см, зимних – 0,5–2 см. Летние слои имеют серую окраску, а зимние – коричневатую-серую за счет органического вещества. Ленточные глины отлагались в приледниковых озерных бассейнах преимущественно пресноводного характера за счет глинистого, пылеватого и частично песчаного материала, который приносился талыми ледниковыми водами в период стояния и особенно отступания ледника. Такие условия способствовали отложению слоев равномерного механического состава, постепенно менявших свою мощность. Закономерность изменения механического состава состояла в том, что более крупный материал отлагается ближе к краю ледника, а мелкий – дальше. Параллельно менялась мощность лент: с удалением от края ледника она постепенно уменьшалась. Мощность их достигает в среднем 15–20 м.

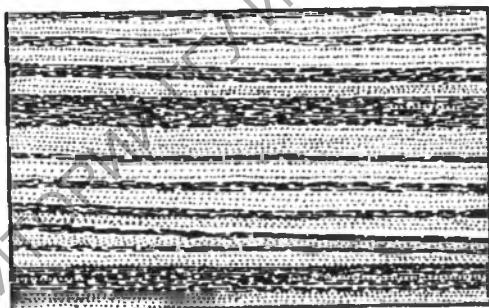


Рисунок 15 – Типичная текстура озерно-ледниковых отложений (высота рисунка соответствует 0,5 м)
(составил Э. А. Левков)

Для гранулометрического состава характерно, что содержание фракций $< 0,01$ мм составляет 50–90 %, в том числе на частицы $< 0,001$ мм приходится 20–60 %. Минеральный состав глинистой фракции в основном гидрослюдистый с примесями хлорита, вермикулита,

смешанослойных минералов. Иногда отмечаются унаследованные каолинит и монтмориллонит. В Беларуси ленточные глины формировались за счет разрушения пород силурийского, девонского и каменноугольного возрастов Главного девонского поля, поэтому они сильно карбонатны. Летние слои содержат CaCO_3 в большем количестве, чем зимние. Песчано-алевритовые фракции сложены кварцем, полевыми шпатами, в меньшей степени – карбонатами, встречаются различные карбонатные стяжения. Структура глин пелитовая, алевропелитовая, пелитоалевритовая.

Ленточные глины на глубинах 1,5–2 м в значительной мере изменены процессами выветривания, что внешне выражается в трещиноватости и осветлении пород, исчезновении границ между лентами.

В парагенезе с озерно-ледниковыми песчаными и глинистыми отложениями с ленточной текстурой выступают флювиогляциальные дельты. Они достаточно широко распространены по периферии Полоцкого и Лучосинского приледниковых озер и других водоемов у границы поозерского (валдайского) ледника. В рельефе они выражены в виде холмов, которые в плане имеют треугольную, каплевидную или фестончатую форму, а иногда сливаются в массивы сложных очертаний. Протяженность таких форм от нескольких десятков метров до 1–2 км, редко более, относительная высота чаще не выходит за пределы 2–10 м. Флювиогляциальные дельты формировались в субаквальных условиях, построены из песчаного или грубообломочного материала с характерной диагональной слоистостью, общей мощностью около 2–7 м. Кровля дельтовых образований часто рассечена сетью морозобойных клиньев, что свидетельствует о холодных перигляциальных условиях.

Ниже приведены некоторые показатели физико-механических свойств озерно-ледниковых отложений Русской платформы: плотность их ρ изменяется от 1,3 до 2,0 г/см³ (чаще 1,8–1,9 г/см³), плотность сухого грунта $\rho_d = 1,0$ –1,6 г/см³ (чаще 1,4–1,5 г/см³), коэффициент пористости (e) изменяется от 0,47 до 1,20, в единичных случаях достигает 2 и более (чаще 0,6–0,9). Естественная влажность глин $\omega = 30$ –45 % (иногда достигает 60–70 %), супесей – 22–28 %, песков – колеблется от 3–10 % в зоне аэрации до 22–32 % ниже уровня грунтовых вод. В большинстве случаев отложения приледниковых озер находятся в состоянии, близком к полному водонасыщению. Естественная влажность ленточных глин почти всегда превышает нижний, а во многих случаях и верхний пределы пластичности (таблица 8).

Таблица 8 – Усредненные показатели основных физических свойств озерно-ледниковых отложений (ленточных глин) Беларуси

Наименование	Естественная влажность ω , %	Плотность		Коэффициент пористости e , доли ед.	Степень влажности S_n доли ед.	Пределы пластичности		Число пластичности I_p , %
		грунта ρ , г/см ³	сухого грунта ρ_d , г/см ³			верхний W_L , %	нижний W_P , %	
Супесь	17,3 (23)*	2,06 (23)	1,77 (23)	0,55 (23)	(0,83)	25,9 (34)	—	5,0 (34)
Суглинок	22,08 (157)	2,02 (155)	1,66 (157)	0,64 (170)	0,94 (157)	30,07 (170)	—	11,26 (170)
	21,2–26,4	1,97–2,05	1,56–1,69	0,61–0,74	0,94–0,96	29,60–31,40	—	10,90–12,20
Глина	28,93 (321)	1,96 (319)	1,53 (301)	0,81 (321)	0,95 (212)	46,24 (214)	26 (92)	22,77 (306)
	26,80–31,50	1,93–1,98	1,48–1,57	0,75–0,87	0,91–0,97	40,80–46,00	—	20,30–22,00

Примечание – * В числителе – среднее арифметическое значение, в скобках – число определений; в знаменателе – минимальное и максимальное значения показателей

В последнем случае глины находятся в скрытотекущем состоянии, при нарушении их естественной структуры приходят в текучее состояние. С ленточным строением пород связана резко выраженная анизотропия свойств. Например, в горизонтальном направлении они водопроницаемы, а в вертикальном практически водоупорны. Для песчаных и пылеватых прослоев, определяющих водопроницаемость вдоль прослоев, коэффициенты фильтрации K_f изменяются от 10^{-4} до 10^{-6} см/с, а у глинистых снижается до 10^{-8} см/с. Ленточные глины обладают невысоким сопротивлением сдвигу. Угол внутреннего трения φ не превышает $12-20^\circ$, часто снижаясь до нескольких градусов; сцепление $C = 0,002-0,03$ МПа (чаще $0,005-0,01$ МПа). Деформационные свойства ленточных глин также изменяются в широких пределах. Для глин модуль деформации E находится в интервале $1,5-7,0$ МПа. Озерно-ледниковые супеси и пески менее сжимаемы. Коэффициент сжимаемости этих пород измеряется сотыми и тысячными долями. Модуль общей деформации $E = 10-50$ МПа, достигая наибольших величин у средне- и крупнозернистых песков.

Основные показатели физико-механических свойств ленточных глин, залегающих на территории Беларуси, приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 9 – Усредненные значения показателей механических свойств озерно-ледниковых отложений (ленточных глин) (сдвиг при нагрузке 0,1; 0,2; 0,3 МПа)

Наименование грунта	Условия опыта	Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi$	Сцепление, $C \cdot 10^5$ Па	Модуль деформации, $E \cdot 10^5$ Па
песок	консолидированный сдвиг	0,56 (39)*	0,09 (39)	92-266**
супесь	консолидированный сдвиг	0,58 (11)	0,33 (11)	109-255***
суглинок	консолидированный сдвиг	0,43 (103) 0,42-0,47	0,26 (86) 0,24-0,26	53-251***
глина	консолидированный сдвиг	0,32 (87) 0,27-0,32	0,43 (13) 0,39-0,54	15-122***

Примечания – * В числителе – среднее арифметическое значение, в скобках – число определений; в знаменателе – минимальное и максимальное значения показателей

** Модуль общей деформации в интервале давлений $(0,5-2,0) \cdot 10^5$ Па

*** Модуль общей деформации в интервале давлений $(1,0-2,0) \cdot 10^5$ Па

Возникновение инженерно-геологических опасностей в ленточных глинах связано с их вязкостью, текучестью и пластичностью. Ленточные отложения обычно характеризуются сравнительно высокими влажностью и пористостью и пониженной плотностью. Консистенция их неустойчивая, скрыто-мягкопластичная или даже скрытотекучая. С ленточными глинами связано формирование оползней солифлюкционного типа и оползней течения. При ленточном строении пород резко проявляется анизотропия свойств (водопроницаемость, сопротивление сдвигу и др.). При динамических воздействиях им свойственны ярко выраженные тиксотропные явления. Ленточные глины водонеустойчивы и легко размокают, в откосах котлованов оплывают, весьма склонны к морозному пучению. Они сильно и неоднородно сжимаемы, имеют малое сопротивление сдвигу. При уплотнении обнаруживают значительные остаточные деформации. Особое внимание нужно уделять сохранению природного сложения, не допускать искусственного увлажнения, промерзания, динамических воздействий. Мелко- и тонкозернистые пески и супеси часто представляют собой типичные пльвуны.

Флювиогляциальный фациально-генетический комплекс

Флювиогляциальные отложения представляют собой отложения талых вод ледника, прошедших через толщу льда по трещинам и двигавшихся подо льдом к его краю. Эти воды вымывали из толщи льда обломки пород и накапливали их вдоль движущегося потока по днищу ледникового трога, образуя озы и камы, протяженностью несколько километров при небольшой ширине в несколько метров. На флювиогляциальные отложения приходится почти треть объема антропогенной толщи.

В краевых зонах ледников в трещинах, пещерах и других полостях мертвых или слабоподвижных льдов формировались камы. Камы довольно широко распространены на севере Беларуси, в центральной полосе республики отмечаются реже. Встречаются они в виде одиночных холмов или сгруппированы в холмистые возвышения.

Площадь отдельных камов колеблется от нескольких десятков до нескольких тысяч квадратных метров, их высота достигает 35–40 м. У таких холмов обычно неоднородное строение. Встречаются формы, сложенные песчаным, песчано-гравийно-галечным и даже алевритоглинистым материалом. Чаше этот материал залегает в форме горизонтальных или слабонаклоненных пачек (слоев и линз) мощностью 0,2–2,0 м. Внутренняя текстура либо горизонтально-слоистая, либо

косослоистая (с наклоном слоев от 15 до 30°). Реже залежи построены относительно тонким переслаиванием (2–15 см мощности) материала самого разного гранулометрического состава (рисунок 16).

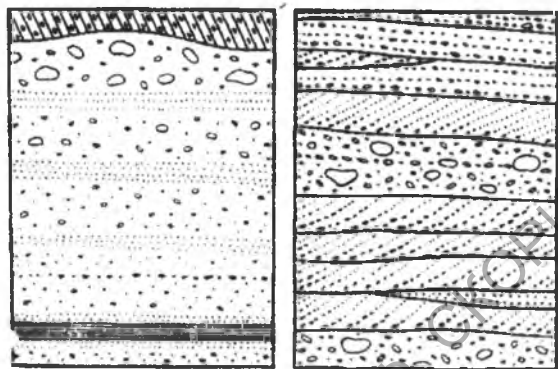
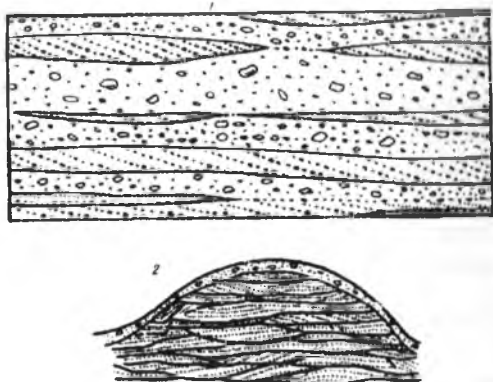


Рисунок 16 – Типичные текстуры камовых отложений
(высота зарисовок по вертикали соответствует 3 м)
(составил Э. А. Левков)

Озы среди других водно-ледниковых образований играют сравнительно скромную роль. Почти все они сосредоточены в пределах северной части Беларуси. При этом наиболее типичные и хорошо сохранившиеся озовые гряды встречаются только на площади развития поозерских (валдайских) отложений. Длина озв от десятков метров до нескольких километров. Отдельные гряды вытянуты на 7–10 км. Ширина озвых «насыпей» у основания изменяется от 20–30 до 150–200 м, чаще же составляет 50–80 м. К вершине они заметно сужаются. Склоны возвышений имеют разную крутизну: от 5–8 до 25–30°. Обычно относительные превышения оза над окружающей местностью составляют около 5–12 м, хотя отмечаются высоты от 2 до 25 м. Чаще озы ориентированы на юг, юго-восток или юго-запад, иногда субширотно.

Преобладающая часть озвых возвышений сложена грубым песчано-гравийно-галечным материалом, гравелистым и в меньшей степени разнотернистыми песками, супесями и пр. Слагающий озы материал залегает в виде линзообразных пачек и горизонтальных прослоев обычно 0,1–1,5 м мощности. Текстура таких линзообразных пачек и прослоев косая, изредка горизонтальная и вызывается неодинаковой сортировкой строящих залеж обломков (рисунок 17).



1 – строение озы в продольном сечении (высота рисунка соответствует 2,5 м).
2 – строение озы в поперечном сечении (высота рисунка соответствует 5 м)

Рисунок 17 – Озовые отложения
(составил Э. А. Левков)

Озы ветвятся, сливаются, заходя далеко на юг от края ледника, и вклиниваются в зандровые поля. Здесь озовые отложения бывает трудно отличить от зандровых и аллювиальных.

По своим свойствам флювиогляциальные пески Русской платформы близки к пескам других генетических типов, отличаясь от них несколько большей плотностью. Плотность флювиогляциальных песков ρ при естественной влажности изменяется от 1,8 до 2,1 г/см³ (реже 1,6–2,3 г/см³); коэффициент пористости $e = 0,5–0,8$. Естественная влажность флювиогляциальных песков $\omega = 3–8\%$ в зоне аэрации и 20–30 % (в среднем 25 %) в водонасыщенном состоянии. Коэффициент фильтрации K_f флювиогляциальных песков, как правило, несколько выше, чем у песков других генетических типов ледниковых отложений и изменяется от первых единиц до десятков метров в сутки. Флювиогляциальным песчаным отложениям свойственны сравнительно высокие углы внутреннего трения ϕ от 23 до 45° (в среднем 27–35°); коэффициент внутреннего трения $f = 0,86–1,0$ (в среднем 0,50–0,7). Сцепление C у песков измеряется преимущественно тысячными долями, но в единичных случаях достигает 0,01–0,02 МПа (в том числе за счет слабой цементации). Общий модуль деформации флювиогляциальных песков E составляет 30–70 МПа (в отдельных случаях достигает 100–120 МПа).

Суглинки и супеси, встречающиеся в толще песков в виде отдельных прослоев и линз, отличаются непостоянством своего состава и свойств. Модули деформации E у них обычно много ниже, чем у песков, и изменяются в широких пределах: от 7 до 33 МПа (обычно 12–18 МПа) у супесей, от 6 до 16 МПа (обычно 8–12 МПа) у суглинков.

Гранулометрический состав флювиогляциальных отложений, залегающих на территории Беларуси, и показатели основных физических свойств приведены в таблицах 10 и 11.

Таблица 10 – Гранулометрический состав флювиогляциальных отложений юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование отложений	Гранулометрический состав, % (размер частиц, мм)					
	10–2	2,0–0,5	0,50–0,25	0,25–0,10	0,1–0,005	< 0,005
Флювиогляциальные отложения времени отступления сожского (московского) ледника						
Песок крупный	10,0 (4)	50,3	19,5	10,0	10,2	0,0
Песок средней крупности	7,9 (9)	27,3	28,8	20,3	15,7	0,0
Песок мелкий	2,4 (4)	8,2	31,3	40,1	18,0	0,0
Песок пылеватый	0,7 (20)	6,1	17,7	30,7	44,8	0,0
Супесь	1,7 (4)	6,7	6,0	15,0	61,9	8,7
Суглинок	0,8 (4)	4,1	9,1	19,4	54,9	11,7
Флювиогляциальные отложения времени отступления днепровского ледника						
Песок средней крупности	2,0 (2)	20,9	43,4	16,6	15,6	1,5
Песок пылеватый	0,3 (2)	6,0	23,1	22,6	46,8	1,2
Супесь	0,0 (2)	0,2	1,6	2,2	87,7	8,3
Суглинок	0,5 (2)	3,6	13,2	7,7	57,2	17,8
Глина	0,0 (2)	1,5	7,6	25,3	37,9	27,7
Флювиогляциальные отложения времени отступления березинского (окского) ледника						
Песок средней крупности	2,1 (3)	17,4	43,3	22,0	14,4	0,8
Песок мелкий	0,8 (6)	3,3	29,4	62,5	3,6	0,4
Песок пылеватый	0,2 (15)	2,0	16,2	52,7	24,3	4,6
Супесь	0,3 (5)	2,8	9,3	56,0	19,9	11,7
Суглинок	0,6 (3)	2,8	8,5	48,0	22,6	17,5
Примечание – В скобках – число определений						

Таблица 11 – Усредненные показатели основных физических свойств флювиогляциальных отложений Беларуси

Наименование грунтов	Естественная влажность ω , %	Плотность			Коэф-фициент пористости e , доли ед.	Коэф-фициент фильтрации K_f , м/сут.	Нижний предел пластичности W_p , %	Число пласти-ности I_p , %
		грунта ρ_s , г/см ³	сухого грунта ρ_d , г/см ³	частиц грунта ρ_{30} , г/см ³				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Флювиогляциальные отложения времени отступления поозерского (валдайского) ледника								
Песок мелкий	6,78 (34) 3,5–15,9	1,71 (34) 1,70–1,75	1,62 (34) 1,61–1,64	–	0,66 (34) 0,65–0,70	–	–	–
Песок пылеватый	12,37 (58) 11,4–17,0	1,75 (58) 1,75–1,76	1,66 (58) 1,53–1,57	–	0,70 (58) 0,69–0,72	–	–	–
Флювиогляциальные отложения времени отступления сожского (московского) ледника								
Песок гравелистый	4,4 (9)	1,76 (39)	1,68 (39)	–	0,58 (39)	–	–	–
Песок крупный	4,10 (187) 3,9–7,2	1,73 187 1,72–1,82	1,65 (190) 1,65–1,70	–	0,60 (190) 0,56–0,60	12,1 (3)	–	–
Песок средней крупности	4,23 (957) 3,90–5,90	1,71 (957) 1,69–1,81	1,64 (944) 1,62–1,69	–	0,62 (946) 0,57–0,64	7,17 (6)	–	–
Песок мелкий	5,10 (601) 4,6–6,5	1,69 (602) 1,64–1,81	1,60 (620) 1,56–1,69	–	0,65 (619) 0,57–0,70	6,13 (4)	–	–
Песок пылеватый	8,06 (97) 6,3–11,1	1,76 (97) 1,65–1,90	1,61 (117) 1,55–1,75	–	0,65 (117) 0,51–0,71	2,16 (18)	–	–
Флювиогляциальные отложения времени отступления днепровского ледника								
Песок средней крупности	5,33 (55) 4,9–11,2	1,75 (55) 1,71–1,93	1,65 (55) 1,62–1,79	2,64 (2)	0,61 (55) 0,48–0,64	1,45 (2)	–	–
Песок мелкий	4,94 (134) 4,5–6,9	1,76 (136) 1,66–1,88	1,68 (137) 1,57–1,77	–	0,58 (137) 0,50–0,69	2,41 (15)	–	–

Окончание таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Песок пылеватый	10,02 (109) 6,5-16,6	1,82 (111) 1,69-1,95	1,70 (110) 1,58-1,81	2,65 (2)	0,56 (110) 0,44-0,68	0,86 (25)	-	-
Супесь	16,3 (2)	-	-	-	-	0,07 (1)	14,0 (2)	4,0 (2)
Суглинок	18,9 (2)	2,06 (2)	1,68 (2)	2,64 (2)	-	0,049 (1)	13,0 (2)	14,5 (2)
Глина	-	-	-	-	-	-	18,5 (2)	20,0 (2)
Флювиогляциальные отложения времени отступления безрезинского (окского) ледника								
Песок средней крупности	-	-	-	-	-	5,3 (2)	-	-
Песок мелкий	6,3 (3)	1,77 (3)	-	2,65 (6)	0,59 (4)	7,8 (6)	-	-
Песок пылеватый	10,7 (6)	1,93 (3)	-	2,65 (6)	0,54 (6)	3,2 (52)	-	-
Супесь	15,9 (2)	-	-	-	-	0,09 (8)	13,2 (4)	4,8 (4)
Суглинок	17,0 (2)	-	-	-	-	0,03 (5)	14,0 (3)	10,9 (3)
Примечание - В числителе - среднее арифметическое значение, в скобках - число определений, в знаменателе - минимальное и максимальное значения показателей								

Условия формирования и преобразования флювиогляциальных песков определяют значительную пространственную изменчивость их физико-механических свойств. В массивах песчаных отложений присутствуют разности различной плотности сложения (от рыхлых до плотных). Эти особенности влияют на формирование геологических опасностей в данном комплексе отложений. При высоких гидравлических градиентах песчаные грунты могут переходить в плавунное состояние при условии их вскрытия котлованами или горными выработками.

7.3 Фациально-генетические комплексы перигляциальной формации

Перигляциальные отложения занимают довольно обширные территории по окраине древних оледенений. Образование их обусловлено деятельностью талых ледниковых вод и ветров (стоковые ветры). К перигляциальным отложениям относятся следующие фациально-генетические комплексы: зандровые; лессов и лессовидных пород; аллювиальных отложений (гляциоаллювий, криоаллювий).

Зандровый фациально-генетический комплекс

Генетический комплекс зандровых равнин представлен главным образом песками с включениями и прослойками гравия и гальки. Материал состоит из продуктов перемывания морены. Зандры представляют собой слившиеся пологие конусы выноса больших радиусов, образующие полого-волнистые равнины, расположенные за внешним краем конечных морен. Для верхней части разреза характерно наличие многочисленных проявлений перигляциальных криотурбаций. Сразу же за конечной мореной песчаные отложения широко распространяются на площади, образуя равнинные зандры, а затем – южнее локализуются в речных долинах, формируя, так называемые, долинные зандры, боровые террасы и другие формы аллювиальных равнин.

Наиболее значительные площади зандровых равнин прослеживаются в Белорусском Полесье, в бассейне Западной Двины, в верховьях Днепра и Березины. Мощность крупных зандровых образований до 25–30 м, а в пределах распространения зандров поозерского (валдайского) оледенения – до 50 м.

Зандры в основном сложены разнообразными по гранулометрическому составу песками и песчано-гравийно-галечными отложениями.

В расположении обломочного материала наблюдается отчетливая закономерность. По периферии краевых гряд (обычно на расстоянии до 1–3 км) залегает более грубый материал. Он размещен среди отложений в виде различных по величине линз и гнезд и построен из косых и горизонтально слоистых серий (прослоев) мощностью от нескольких сантиметров до 1 метра и редко более. Иногда в зандрах наблюдается сравнительно тонкое переслаивание (мощностью в 3–10 см) песчано-гравийно-галечного материала, песков разной зернистости и отдельных прослоев супесей или суглинков (рисунок 18). По мере удаления от районов развития краевых гряд в зандрах резко снижается содержание крупнообломочных частиц и отложения приобретают высокую однородность и мелкозернистость.

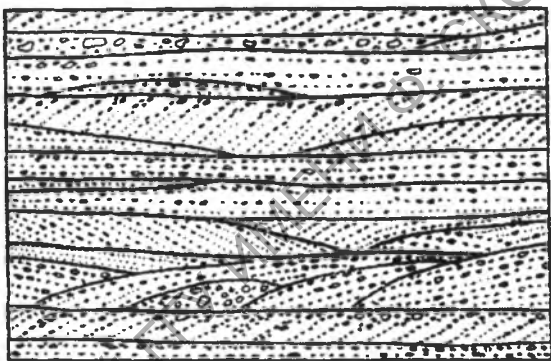


Рисунок 18 – Типичная текстура зандровых отложений (высота рисунка соответствует 3 м) (составил Э. А. Левков)

Обширные заболоченные пространства зандровых равнин называются полесьями. Инженерно-геологические условия полесий определяются необходимостью производства перед строительством различных профилактических работ в связи с избыточной влажностью (мелиорирование).

Фацциально-генетический комплекс лессов и лессовидных пород

Распространение лессовых и лессовидных грунтов Беларуси довольно четко контролируется гипсометрическими особенностями территории: породы первого типа развиты в основном на абсолютных высотах 190–220 м, а второго – занимают более низкий уровень (145–180 м) и шире распространены в бассейне нижнего Сожа. Данный комплекс отложений залегает трансгрессивно на породах

различного возраста — от днепровских моренных и водноледниковых до позерских (валдайских) озерных.

Лессовые породы Русской равнины формировались на окраине перигляциальной зоны в условиях холодного и сухого климата. Вследствие влияния факторов зональности и провинциальности, а также изменения положения ландшафтно-фациальных поясов при смене ледниковых эпох межледниковыми и осцилляциях ледника формирование лессовых пород в разных районах происходило неодинаково.

Условия залегания лессовых пород для Русской равнины достаточно однообразны. Широко, почти повсеместно распространены голоценовые лессовые породы с остатками современной фауны и флоры; меньшее распространение имеют верхнеплейстоценовые, слагающие значительную часть разреза низких надпойменных террас и оснований склонов. Еще реже встречаются лессовые породы среднеплейстоценовые. Однако, в научной литературе есть и другие мнения о времени формирования лессовых пород Беларуси. Например, Л. Н. Вознячук считал, что лессообразование закончилось во время браславской осцилляции поозерского (валдайского) оледенения (около 15–13 тыс. лет назад). Такого же взгляда придерживался А. А. Величко и другие исследователи, которые связывали главную фазу лессообразования для всего четвертичного периода со второй половиной поозерской (валдайской) эпохи (от 25 до 12–10 тыс. лет назад).

В Беларуси типичные лессовые породы распространены в пределах Оршанско-Могилевской равнины и Смоленско-Московской возвышенности. Максимальные мощности лессовых пород (до 15–18 м) установлены в Горьком, Дубровенском, Мстиславском районах.

Лессовые отложения представлены супесями и суглинками желтовато-бурыми, красновато-бурыми, тонкими, пылеватыми, слюдистыми, пористыми, очень часто тонкослоистыми, с гнездами и прослоями мощностью до 0,5 м алевроитов песчаных, песков мелкозернистых, редко разномзернистых. В обнажениях эти породы имеют четкую вертикальную отдельность. В основании лессовых толщ нередко наблюдается своеобразный базальный горизонт, представленный крупным псаммитовым материалом или гравием и галькой. В ряде случаев можно наблюдать, как вниз по разрезу суглинки и супеси постепенно переходят в мелкозернистые пески. Характерной особенностью гранулометрического состава лессовых пород является повышенная или высокая пылеватость. Это, как правило, пылеватые или сильно пылеватые породы. Наклон суммарных кривых гранулометрического состава для лессов крутой (коэффициент сортировки $S_0 < 2,5$,

отсортированность хорошая), а для лессовидных пород – пологий ($S_0 > 2,5$, отсортированность средняя $S_0 = (2,5-3,0)$ и низкая $S_0 > 4,5$).

Лессовидные отложения, представляющие собой покровные аккумуляции, широко распространены в восточной части Беларуси в пределах Оршанско-Могилевского плато и на территории Минской, Новогрудской, Мозырской и Хойникско-Брагинской возвышенностей. Они залегают на моренных и краевых отложениях, реже перекрывают флювиогляциальные пески. Максимальные мощности лессовидных отложений (10–15 м) приурочены к восточным районам Беларуси и Мозырской возвышенности. На остальной территории мощность составляет от 1,5–2,0 до 8,0–9,0 м, и, в общем, редко превышает 5,0 м.

Лессовидные породы, как по составу, так и по литологическим особенностям существенно отличаются от лессовых пород. Лессовидные отложения представлены супесями, суглинками, редко – глинами желтовато-бурыми, бурыми, серовато-бурыми, часто пористыми, несколько слюдястыми, почти повсеместно с линзочками и тонкими (1–3 мм) прослойками песка светло-серого, мелкозернистого, пылеватого, полевошпатово-кварцевого, с единичными зернами мелкого гравия. Иногда супеси сменяются песком тонкозернистым, пылеватым, слюдястым полевошпатово-кварцевым. Взаимные переходы между супесями и песками постепенные. Обычно к подошве разреза лессовидных отложений глинистость увеличивается. Лессовидные отложения нередко трещиноватые.

Минеральный состав в основном гидрослюдистый, в виде примесей отмечается каолинит и монтмориллонит. В небольших количествах встречаются оксиды железа и карбонаты. Песчано-алевритовая фракция представлена кварцем, полевым шпатом, карбонатами, стяжениями карбонатов и гидроксидами железа. Содержание карбонатов чаще всего составляет 1–6 %, иногда превышает 10 %.

Значения основных физических свойств лессовидных супесей [3]: естественная влажность $\omega = 10-24$ %; число пластичности $I_p = 6,2$ %; плотность $\rho = 1,8$ г/см³; коэффициент пористости $e = 0,69$; угол внутреннего трения $\varphi = 22^\circ$; удельное сцепление $C = 0,032$ МПа; модуль деформации $E = 8$ МПа.

Значения основных физических свойств лессовидных суглинков: естественная влажность $\omega = 19-21$ %; число пластичности $I_p = 7,9-8,0$ %; плотность $\rho = 1,86-1,90$ г/см³; коэффициент пористости $e = 0,61-0,64$; угол внутреннего трения $\varphi = 23-24^\circ$; удельное сцепление $C = 0,027-0,029$ МПа; модуль деформации $E = 6-7$ МПа. Некоторые показатели физических свойств верхнеплейстоценовых покровных отложений приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Показатели некоторых физико-механических свойств покровных отложений юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование грунтов	Естественная влажность ω , %	Плотность грунта ρ , г/см ³	Коеффициент пористости e , доли ед.	Пределы пластичности		Число пластичности I_p , %	Модуль деформации, E , 10 ⁴ Па
				верхний W_L , %	нижний W_p , %		
Супесь	17,4 (8)	1,78 (2)	0,55 (3)	24,3 (7)	18,0 (7)	6,3	80
Суглинок	20,7 (5)	2,08 (2)	0,57 (3)	26,5 (7)	17,9 (7)	8,6	
Примечание – * В скобках – число определений							

Наиболее важная особенность лессовых грунтов состоит в склонности многих их разновидностей к просадкам. При замачивании без увеличения нагрузки они нередко дают значительную дополнительную осадку (просадку) провального характера. При полном водонасыщении лессовые грунты могут переходить в плавунное состояние.

С водонеустойчивостью, легкой и быстрой размываемостью и размокаемостью лессов и лессовидных пород связано широкое развитие опасных процессов: суффозии, образования провальных воронок, формирования оврагов, быстрого разрушения берегов рек, озер и водохранилищ, многочисленных оползней сплывов, солифлюкционных подвижек и др.

Аллювиальный фациально-генетический комплекс

В формировании аллювиальных отложений территории Беларуси особенно большую роль сыграло многократное оледенение. При этом строение аллювия во многом определяется положением речных долин относительно границ отдельных оледенений. Плейстоценовые оледенения оказали существенное влияние на фациальную структуру и вещественный состав аллювия. Ледниковые покровы, двигаясь к югу и юго-востоку, вызывали подпруживание рек, текущих им навстречу, что приводило к образованию в долинах озер. В связи с этим в строении речных террас, формировавшихся в эпохи оледенений (в особенности, верхнеледниковых) в долинах рек бассейна Балтийского моря, большое участие принимают озерно-аллювиальные отложения. В подошве обычно залегают осадки базальной пристрежневой фаций аллювия, среди которых преобладают разнорзернистые пески с галечником в основании. Перекрывающая их основная часть отложений, имеющая более широкое площадное распространение, представлена

чередованием аллювиальных песков с озерными суглинками, супесями и глинами часто ленточной текстуры (рисунок 19).

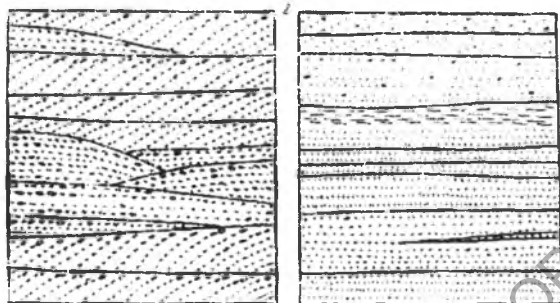


Рисунок 19 – Типичные текстуры аллювиальных отложений перигляциальной формации (высота рисунка соответствует 2 м)
(составил Э. А. Левков)

В тех случаях, когда ледники продвигались южнее главного европейского водораздела, создавались условия для свободного стока талых вод к югу. Реки с ледниковым питанием отличались длительным половодьем в течение всего летнего сезона и были перегружены обломочным материалом, что вызвало избыточную аккумуляцию аллювия и дробление реки на рукава. В мелководных протоках отлагались преимущественно пески, местами, переходящие в супеси. Для песков характерен разнотекстурированный состав, плохая отсортированность, значительная примесь пылеватых и глинистых частиц. Включения крупнообломочного материала встречаются лишь в непосредственной близости от края ледника, питавшего реку. Прослои глин и суглинков в толще песков обычно не имеют характерной для старичных отложений линзовидной формы, они ближе по условиям залегания к осадкам пойменных разливов или вторичных водоемов.

Мощные толщи аллювиальных отложений на территории Беларуси зарегистрированы в четвертичном покрове на разных стратиграфических уровнях, особенно широко они развиты в долинах и прadolинах таких крупных рек, как Днепр, Сож, Березина, Неман, Припять и др.

Аллювиальные толщи в основном сложены песками с линзами и прослоями супесей и суглинков. Мощность таких накоплений во многих случаях составляет 20–40 м, а иногда отмечаются и более значительные горизонты (например, по рекам Днепр, Сож и др.). Наиболее

полно представлен и изучен аллювий, сформировавшийся в течение поозерского (валдайского) оледенения. Им сложены надпойменные террасы (обычно их отмечается две) преобладающего большинства белорусских рек, особенно относящихся к бассейну Черного моря.

Наибольшие площади надпойменные отложения занимают долины Припяти и ее притоков. Здесь они распространены в виде извилистой полосы, то расширяющейся до 30–50 км, то сужающейся до нескольких километров. Такие же образования прослеживаются на Днепре до города Жлобина главным образом по правобережью полосой шириной 0,5–10 км, а ниже – заметно шире (например, до 20–35 км в междуречье Днепра и Сожа). Значительные площади заняты аллювием и в долинах других рек. На первой надпойменной и второй террасах рек Днепр и Припять в пределах Белорусского Полесья широко развиты эоловые процессы, формирующие здесь дюны, бугры, гряды, котловины выдувания и пр.

Образование аллювия второй надпойменной террасы в основном происходило в оршанское (IIIр₁), а первой – в браславское (IIIр₃) время. Почти всегда рассматриваемые отложения слоистые. Слоистость горизонтальная, косая. Прослойки невыдержанные по мощности и простираению. Правда, в отличие от аллювия внеледниковой зоны здесь слабее выражены фации, из-за чего горизонт имеет более однородное строение.

По литологическому составу аллювиальные отложения напоминают зандровые. На площадях, удаленных от районов развития краевых образований, они в основном представлены песками. В них на частицы псефитовой размерности в большинстве случаев приходится доли процента. Крупнопесчаная фракция чаще составляет 1–15 %. Более значительным бывает содержание зерен 0,5–0,25 мм (обычно около 8–25 %). Зато фракция 0,25–0,1 мм почти повсеместно преобладает. На нее обычно приходится 40–70 %, нередко больше. Количественно значение фракции 0,1–0,5 мм скромнее (преимущественно 5–25 %), а более мелких частиц и того меньше (в основном 1–15 %). Большей однородностью гранулометрического состава отличаются пески юга республики (Полесье).

Основные показатели физико-механических свойств аллювиальных отложений: естественная влажность $\omega = 2,8\text{--}9,0\%$; плотность грунта $\rho = 1,71\text{--}1,84\text{ г/см}^3$; коэффициент пористости $e = 0,59\text{--}0,61$; степень влажности $S_r = 0,8\text{--}1,0$; карбонатность = 3 %; водопроницаемость $K_{\phi} = 10^{-2}\text{--}10^{-4}\text{ м/сут}$ (очень низкая); набухаемость до 40 %; усадка около 7 %; угол внутреннего трения $\phi = 30\text{--}31^\circ$; удельное сцепление $C = 0,01\text{--}0,04\text{ МПа}$; модуль деформации $E = 19\text{--}25\text{ МПа}$.

Кроме того, гранулометрический состав и основные показатели физико-механических свойств аллювиальных отложений приведены в таблицах 13, 14 и 15.

В районах распространения краевых ледниковых образований в толще аллювия появляются линзы, прослои или гнезда крупнообломочного материала. Гранулометрические параметры этого материала сходны с параметрами потоково-ледниковых песчано-гравийно-галечных отложений, отличаясь либо несколько меньшим содержанием валунов и крупных галек, а также большей однородностью.

Таблица 13 – Гранулометрический состав аллювиальных отложений юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование отложений	Гранулометрический состав, % (размер частиц, мм)					
	10–2	2,0–0,5	0,50–0,25	0,25–0,10	0,1–0,005	< 0,005
<i>Современные</i>						
Песок гравелистый	37,0 (10)*	27,1	15,0	12,3	8,6	0,0
Песок крупный	9,0 (9)	53,2	19,8	10,4	7,6	0,0
Песок средней крупности	3,4 (49)	21,3	37,0	26,5	11,8	0,0
Песок мелкий	0,8 (85)	7,7	26,3	47,6	17,6	0,0
Песок пылеватый	0,5 (33)	7,1	19,4	35,4	37,6	0,0
Супесь	2,0 (8)	5,7	10,1	19,9	53,1	9,2
Суглинок	0,1 (7)	4,0	12,7	23,6	48,0	11,6
<i>Верхнеплейстоценовые</i>						
Песок гравелистый	36,8 (11)	27,4	10,4	7,7	17,6	0,1
Песок крупный	12,5 (22)	50,1	20,9	9,1	7,4	0,0
Песок средней крупности	3,4 (70)	20,7	40,4	23,4	12,1	0,0
Песок мелкий	0,1 (97)	8,5	31,9	40,9	18,6	0,0
Песок пылеватый	0,7 (175)	6,2	21,0	34,3	37,6	0,2
Супесь	0,6 (24)	3,8	8,3	18,4	60,3	8,6
Суглинок	1,8 (24)	6,7	6,2	10,2	60,9	14,2

Примечание – * В скобках – число определений

Таблица 14 – Показатели основных физических свойств аллювиальных отложений юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование грунтов	Естественная влажность ω , %	Плотность			Коэф-циент пористости e , доли ед.	Коэф-фициент фильтрации K_f , м/сут.	Нижний предел пластичности W_p , %	Число пластичности I_p , %
		грунта ρ_d , г/см ³	сухого грунта ρ_d , г/см ³	частиц грунта ρ_s , г/см ³				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Современные								
Песок гравелистый	–	–	–	–	–	11,5 (4)*	–	–
Песок крупный	–	–	–	–	–	23,3 (7)	–	–
Песок средней крупности	6,3 (4)	1,73 (3)	1,46 (2)	2,62 (2)	–	11,2 (42)	–	–
Песок мелкий	10,8 (2)	–	1,48 (2)	–	–	7,0 (58)	–	–
Песок пылеватый	15,3 (2)	1,79 (8)	1,68 (8)	2,65 (2)	0,70 (7)	3,3 (65)	–	–
Супесь	17,4 (8)	1,78 (2)	–	–	–	0,311 (11)	13,8 (10)	6,3 (18)
Суглинок								
Верхнеплейстоценовые								
Песок гравелистый	–	–	–	–	0,65 (2)	1,8 (9)	–	–
Песок крупный	4,5 (2)	1,74 (2)	1,66 (2)	–	0,61 (2)	16,4 (2)	–	–

Окончание таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Песок средней крупности	5,7 (9)	1,76 (11)	1,64 (11)	—	0,63 (8)	10,8 (97)	—	—
Песок мелкий	5,4 (17)	1,76 (15)	1,67 (15)	—	0,69 (15)	7,4 (88)	—	—
Песок пылеватый	10,3 (183)	1,95 (185)	1,78 (185)	2,65 (12)	—	2,8 (337)	—	—
Супесь	20,2 (2)	2,02 (5)	1,66 (2)	2,68 (5)	0,56 (4)	0,066 (89)	16,0 (26)	4,8 (18)
Суглинок	22,0 (21)	2,07 (5)	1,86 (2)	2,70 (3)	0,61 (5)	0,044 (36)	18,4 (21)	8,5 (21)
Примечание — * В скобках — число определений								

Таблица 15 – Некоторые значения показателей механических свойств аллювиальных отложений юго-восточной части Беларуси (сдвиг при нагрузке 0,1; 0,2; 0,3 МПа) (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование грунта	Условия опыта	Угол внутреннего трения ф, град	Сцепление, С, 10^5 Па	Модуль деформации, Е, 10^5 Па
<i>Современные</i>				
Песок мелкий	консолидированный сдвиг	27 (3)*	0 (3)	
Песок пылеватый	консолидированный сдвиг	32 (3)	0,2(3)	
<i>Верхнеплейстоценовые</i>				
Песок средней крупности	консолидированный сдвиг	35 (2)	0,04 (2)	300 (2)**
Песок мелкий	консолидированный сдвиг	32 (2)	0,02 (2)	280 (2)
Песок пылеватый	консолидированный сдвиг	35 (2)	0,01 (2)	–
Супесь	консолидированный сдвиг	21 (2)	0,25 (2)	160 (2)
Суглинок	консолидированный сдвиг	30 (2)	–	–
Примечания – * В скобках число определений				
** Модуль общей деформации в интервале давлений $(1,0-2,0) \cdot 10^5$ Па				

7.4 Фациально-генетические комплексы вледниковой формации

В состав вледниковой формации на территории республики входят аллювиальные, озерные, озерно-аллювиальные, болотные, эоловые (рисунок 20), пролювиальные, делювиальные, коллювиальные и другие фациально-генетические комплексы отложений. Наиболее распространенными из них являются аллювиальные, озерные и болотные аккумуляции.

Аллювиальный фациально-генетический комплекс

Голоценовый аллювий в сравнении с аллювием ледниковых эпох отличается более четкой фациальной и механической дифференциацией осадков. В этом комплексе выделяют три главнейших фациальных

типа осадков: русловой; прирусловой; пойменный и старичный аллювий. На территории Беларуси первый преобладает, занимая от половины до $\frac{2}{3}$ объема речных осадков. Роль пойменных фаций выше у отложений рек Балтийского бассейна, старичные фации занимают более видное место (до четверти объема) в аллювиальных толщах Полесья. Мощность голоценового аллювия составляет 20–38 м.

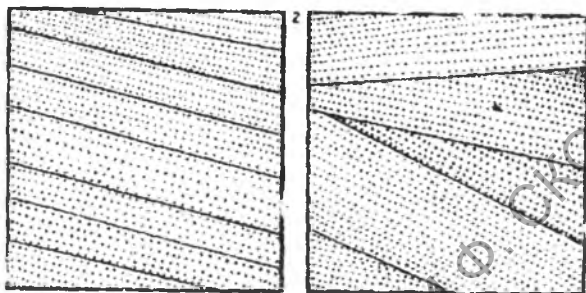


Рисунок 20 – Типичные текстуры эоловых отложений (высота рисунка соответствует 1 м)
(составил Э. А. Левков)

Русловой аллювий слагает отмели, острова, косы. В равнинных реках он представлен хорошо отмытым, ритмично сортированным песком с крупной косою слоистостью.

Прирусловой аллювий образуется в прирусловой части поймы, в связи с тем, что здесь во время половодий замедляется движение воды, переходящей из русла на заросшую пойму, из потока выпадают наносы, задерживаясь в прирусловых кустарниках. Прирусловые валы на равнинах сложены песками с примесью мелкого гравия с неправильно косослоистой текстурой.

Пойменный и старичный аллювий формируется во время половодий. Для пойменных отложений характерен песчано-алевритовый состав осадков с текстурами течений, волнений и ряби.

Старичные отложения формируются в отмерших руслах рек и по своим особенностям схожи с озерными отложениями. Состав их суглинистый с высоким содержанием растительных осадков, часто встречаются гиттии. С инженерно-геологической точки зрения весьма неблагоприятны в связи со значительной влажностью, сжимаемостью, низкой сопротивляемостью сдвигу, агрессивными свойствами грунтовых вод.

Современный аллювий почти целиком приурочен к отложениям пойменных террас, а у рек бассейна Балтийского моря (Неман, Западная Двина и др.) кое-где слагает еще и низкие надпойменные террасы.

По гранулометрическому составу пески, доминирующие среди современных аллювиальных образований, напоминают подобные аллювиальные породы плейстоценового возраста, хотя и несколько отличаются более широким распространением мелкозернистых разностей и большим содержанием алеврито-глинистых примесей (таблица 10). Содержание частиц меньше 0,05 мм в большинстве случаев составляет 5–20 %; на фракцию 0,1–0,05 мм приходится 5–25 %. Фракция 0,25–0,1 мм часто является основной (40–92 %). Для частиц размером 0,5–0,25 мм наиболее характерны содержание от 2 до 25 %. Количество более крупных фракций непостоянно.

Встречающиеся в аллювии линзы песчано-гравийно-галечного материала в среднем содержат 0,0–2,5 % валунов, 12–30 % галек, 25–45 % гравия, 30–60 % зерен песчаной размерности и около 2–7 % алеврито-глинистых частиц.

В особенностях свойств аллювия отразились общие закономерности состава и поведения аллювия плейстоценового возраста, в результате переработки которого современный аллювий в основном и сформировался.

Некоторые показатели физико-механических свойств аллювиальных грунтов приведены в таблицах 14 и 15.

Фациально-генетический комплекс озерных отложений

Важное место в осадконакоплении принадлежит озерам. По данным О. Ф. Якушко, на территории республики насчитывается более 10 тысяч озер, наибольшее количество которых сосредоточено в Белорусском Поозерье и Полесье. В озерах накапливаются минеральные, органо-минеральные и органические осадки. Они представлены разномелкозернистыми песками (преимущественно мелко-тонкозернистыми), нередко карбонатными, заиленными, а также супесями, глинами, илами и сапропелями. Средняя мощность толщи озерных аккумуляций может варьировать от 3 до 7 м, максимальная достигает 20–25 м и более.

Формирование геологических опасностей может быть связано с различным физическим состоянием пород по плотности, пористости, влажности и консистенции; анизотропией свойств, обусловленной слоистостью. Глинистые разности часто обогащены органикой и другими примесями.

Болотные комплексы сложены низинными, переходными и верховыми торфами. Низинные торфяники распространены повсеместно, но наибольшие массивы их встречаются в пределах Полесского региона. Верховые и переходные торфяники, главным образом, развиты в Повежье, в пределах Центрально-Березинской равнины и на юге республики в Столинском районе. Мощность торфяных залежей невыдержана и может изменяться от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров. На моренных равнинах болотные отложения, как правило, отличаются меньшей мощностью и мозаичностью распространения. Самые мощные толщи болотных образований приурочены к заполненным осадками озерным котловинам.

Некоторые показатели физических свойств озерно-болотных грунтов приведены в таблице 16.

Таблица 16 - Показатели некоторых физических свойств озерно-болотных отложений юго-восточной части Беларуси (по материалам Л. Д. Медведева)

Наименование грунта	Естественная влажность w , %	Плотность грунта ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Коэффициент фильтрации K_f , м/сут	Степень разложения, %	Зольность, %	Потери при прокаливании, %
Торф	75,0 (18)	0,84 (5)	1,57 (5)	$\frac{0,260}{0,226-0,282}$ (32)	35 (32)	27,3 (34)	36,4 (6)
Примечание — В числителе — среднее арифметическое значение, в скобках — число определений; в знаменателе — минимальное и максимальное значения показателей							

Торф и заторфованные породы имеют весьма высокую естественную влажность, малую плотность, большую влагоемкость. Это чрезвычайно неравномерно, сильно и длительно сжимаемая порода с повышенными сорбционными способностями, что и определяет возможность возникновения геологических опасностей при освоении данных территорий.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие формации поверхностных отложений выделяют на территории Беларуси?
- 2 Какие фациально-генетические комплексы относятся к ледниковой формации?
- 3 Дайте характеристику отложениям ледникового (моренного) фациально-генетического комплекса.
- 4 Чем характеризуются отложения красных ледниковых гряд?
- 5 Дайте характеристику отложениям озерно-ледникового фациально-генетического комплекса.
- 6 Дайте характеристику отложениям флювиогляциального фациально-генетического комплекса.
- 7 Что такое камы и озы?
- 8 Какие фациально-генетические комплексы относятся к перигляциальной формации?
- 9 Дайте характеристику отложениям задрового фациально-генетического комплекса.
- 10 Дайте инженерно-геологическую характеристику лессов.
- 11 Чем характеризуются лессовидные породы.
- 12 Дайте характеристику отложениям перигляциального аллювиального фациально-генетического комплекса.
- 13 Какие фациально-генетические комплексы относятся к внеледниковой формации?
- 14 Дайте характеристику отложениям фациально-генетического комплекса озерных и болотных образований.
- 15 Дайте характеристику отложениям современного аллювиального фациально-генетического комплекса.

Тема 8

Оценка дифференцированного экономического риска (на примере процесса подтопления)

8.1 Уязвимость территории

8.2 Пример расчета физической уязвимости территории при подтоплении

8.3 Применение риск-анализа в инженерной геологии

8.4 Пример оценки дифференцированного экономического риска от процесса подтопления

8.1 Уязвимость территории

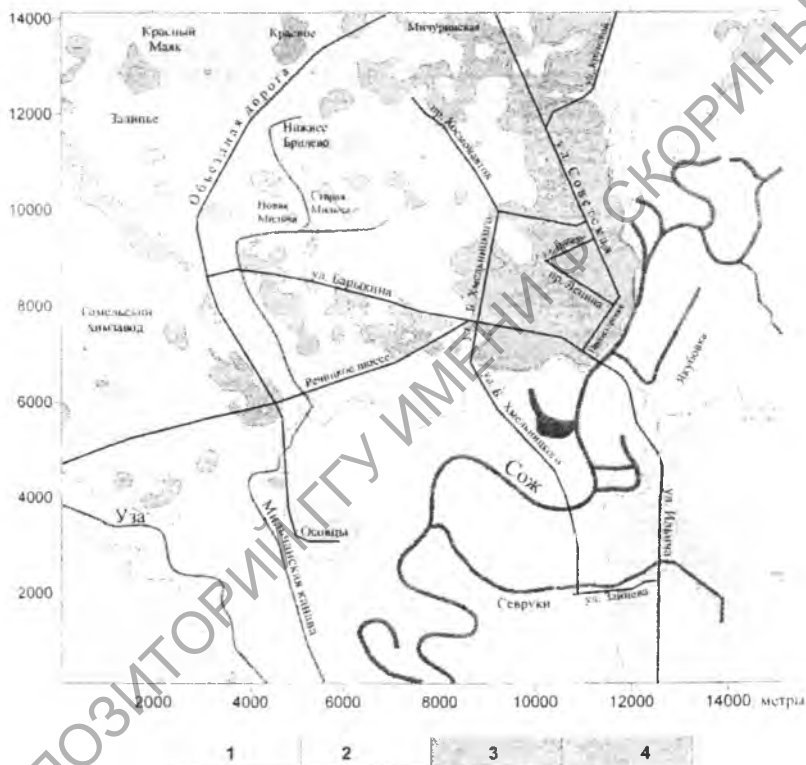
Уязвимость – это свойство любого материального объекта (в данном случае – территории) утрачивать способность к выполнению своих естественных или заданных функций в результате его поражения опасностью определенного генезиса, интенсивности и длительности воздействия. В зависимости от сферы фиксации возможных потерь и рисков А. Л. Рагозиным было предложено различать четыре основных типа уязвимости объектов: физическую, экономическую, социальную и экологическую. Рассмотрена физическая уязвимость территории от опасности техногенного подтопления.

8.2 Пример расчета физической уязвимости территории при подтоплении

При расчете физической уязвимости свойства территории противостоять негативным воздействиям были определены по карте опасности техногенного подтопления (рисунок 21). Для целей определения физической уязвимости территории интерес представляют два варианта развития техногенного подтопления: за счет техногенных утечек из всех видов имеющихся водонесущих коммуникаций (площадные утечки) и техногенных утечек точечного характера. Для получения сопоставимых результатов уязвимость была определена для каждого из двух типов территорий по природной опасности развития техногенного подтопления: малой и средней. Уязвимость изменяется во времени. По нашим данным, рост уровней грунтовых вод сильно замедляется (почти прекращается) и стабилизация процесса

практически наступает через 30 лет. Поэтому уязвимость территории рассчитывалась на 30-летний период. Доля территорий с малой опасностью развития техногенного подтопления в общей площади города в настоящее время составляет 7,6 %, а через 30 лет, по прогнозным оценкам уменьшится до 3,5 %. Для территорий со средней опасностью эти цифры соответственно составят 6,3 % и 2,7 %.

метры



Большая опасность подтопления: 1 – территории, затопляемые во время весенних половодий; 2 – территории, подтапливаемые во время весенних половодий; средняя опасность подтопления: 3 – территории, потенциально подтапливаемые во время весенних половодий при наличии техногенных источников подтопления; малая опасность подтопления: 4 – непотопляемые территории

Рисунок 21 – Карта природной опасности подтопления территории г. Гомеля

Физическая уязвимость $V_{\text{ф}}$ (доли ед.) была установлена по формуле:

$$V_{\text{ф}} = S_d / S. \quad (1)$$

где S_d – площадь поражения участка территории (м^2);

S – оцениваемая площадь (м^2).

Таким образом, физическая уязвимость территории с малой опасностью техногенного подтопления за 30 лет составит 52,2 %, а со средней опасностью – 57,2 %.

8.3 Применение риск-анализа в инженерной геологии

Для обоснования безопасного развития городских территорий в различных аспектах (социальных, экономических, экологических) в настоящее время все чаще используется риск-анализ. Итоговые оценки риска позволяют выражать в единых количественных и сравнимых между собой показателях разнообразную фактическую и прогнозную информацию об опасностях природного и техногенного генезиса. Это позволяет научно обоснованно принимать управленческие решения по уменьшению потерь и повышению безопасности общества.

8.4 Пример оценки дифференцированного экономического риска от процесса подтопления

Объектами оценки полного дифференцированного риска экономических потерь в результате подтопления рассмотрены три жилых здания похожей конструкции (таблица 17) за срок их службы без капитального ремонта, который определен в 50 лет. Для оценки риска выполнен прогноз дальнейшего хода уровня первого от поверхности водоносного горизонта, который показал, что среднеуголетняя скорость его подъема после строительства здания при площадном характере утечек из водонесущих коммуникаций составит для каждого из трех зданий соответственно 4,0; 8,3; 2,5 см/год. Установленные максимальный подъем уровня грунтовых вод и время достижения стационарного положения уровня грунтовых вод приведены в таблице 17. Также определены: длительность подтопления (T_s) и отношение мощности зоны подтопления к глубине заложения фундамента.

Таблица 17 – Оценка дифференцированного экономического риска от процесса подтопления жилых зданий

Показатели		Численные значения			Примечания
1	2	3	4	5	
Адрес	ул. Макаенка, 23, к.1	пер. Бакунина, 78	ул. Первомайская, 10 А		
Опасность развития подтопления	большая	большая	малая		рисунок 21
Расчетный срок службы здания, лет, T_p	50	50	50		
Фактический срок службы здания, лет, T_f	2	6	6		по данным Гомельского бюро технической инвентаризации
Физический износ, доли ед., W_s	0-0,05	0,05-0,10	0,05-0,10		
Базисная сметная стоимость, тыс. руб., D_e	763,00	1827,24	3246,58		в ценах 1991 г., Постановление СМ РБ от 11.02.93 г. № 67 «О новых сметных нормах и ценах в строительстве»
Конструкция здания	типовое бескаркасное кирпичное	типовое бескаркасное кирпичное	каркасное сборно-монолитное		
Количество этажей	5	5	5		
Количество подъездов	2	2	2		
Форма в плане	прямоугольная	прямоугольная	Г-образная		
Наличие подвалов	есть	есть	есть		в соответствии с проектно-сметной документацией
Тип фундамента	ленточный сборный железобетонный	ленточный сборный железобетонный	сплошная тонкая железобетонная плита со столбчатыми уширениями		
Площадь фундаментной части, m^2	451,23	800,34	1063,50		
Глубина заложения фундамента, м	2,70	2,70	2,95		

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5
Грунты основания	намывные пески	супесь пластичная	супесь средней прочности и прочная	в соответствии с проектно-сметной документацией
Средняя глубина залегания уровня грунтовых вод, м	2,0	2,1	7,0	
Скорость подъема уровня грунтовых вод, см/год	4,0	8,3	2,5	
Длительность подтопления, лет, T_s	45*	25,3 / 24,7**	–	Здание подтоплено в течение всего расчетного срока службы, но большую часть времени (45 лет) мощность зоны подтопления в пределах фундамента составит 0,90 м. **За 25,3 года уровень грунтовых вод поднимется от отметки 2,1 м до 0,0 м: в последующие 24,7 года фундамент будет находиться в полностью подтопленном состоя- нии
Мощность зоны подтопления / глубина заложения фундамента	0,26–0,33	0,2 / 1,0	–	
Максимальный подъем уровня грунтовых вод, м	0,2	2,1	0,75	
Время достижения стационарного положения уровня грунтовых вод, лет	5	30	30	
Осадка, см	–	–	8,0	
Площадь оседания / площадь фундамента	–	–	0,5	

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5
Экономическая уязвимость	средняя, год ⁻¹ : для процесса подтопления $V_e^h(S)$, для осадок оснований $V_e^h(H)$	0,0065	0,006 / 0,007	для подтопления – при слабой агрессивности подземных вод
Экономическая уязвимость	максимальная, год ⁻¹ : для процесса подтопления $V_e^m(S)$, для осадок основания $V_e^m(H)$	0,0075	0,008 / 0,009	в соответствии с [62]; для подтопления – при слабой агрессивности подземных вод
	средняя, с учетом физического износа (к настоящему моменту времени), %	3,8	11,4	25,5
Риск средний	полный, руб./год: для процесса подтопления $R_e^h(S)$, для осадок основания $R_e^h(H)$	4463,55	11866,10	11687,77
	удельный, руб./м ² ·год: для процесса подтопления $R_{sc}^h(S)$, для осадок основания $R_{sc}^h(H)$	10,59	14,83	11,0

Окончание таблицы 17

1		2	3	4	5
Риск максимальный	полный, руб./год: для процесса подтопления $R_e^m(S)$	5150,25	14595,99	27271,27	
	для осадок основания $R_e^m(H)$				
	удельный, руб./м ² ·год: для процесса подтопления $R_{se}^m(S)$	11,41	18,24	25,6	
	для осадок основания $R_{se}^m(H)$				
Ожидаемый полный экономический ущерб за 50 лет, тыс. руб. (%)	средний	223,1775 (29,25)	593,3048 (32,47)	584388,5 (18,0)	
	максимальный	275,5125 (36,11)	729,7996 (39,94)	1363563,6 (42,0)	% от базисной сметной стоимости

Полный средний $R_e^h(S)$ и максимальный $R_e^m(S)$ риски жилых зданий оценены по формулам:

$$R_e^h(S) = P(S) \cdot V_e^h(S) \cdot D_e, \quad (2)$$

$$R_e^m(S) = P(S) \cdot V_e^m(S) \cdot D_e, \quad (3)$$

где $P(S) = T_s / T_c$ – вероятность реализации процесса подтопления в течение срока службы здания;

T_s – длительность подтопления здания (годы);

T_c – срок службы объекта (годы); $V_e^h(S)$;

$V_e^m(S)$ – средняя и максимальная экономические уязвимости здания для процесса подтопления (год^{-1}) (табулируются);

D_e – стоимость объекта до поражения процессом (руб.).

Средняя экономическая уязвимость $V_{fe}^h(S)$ с учетом физического износа (к настоящему моменту времени) W_s определена как:

$$V_{fe}^h(S) = V_e^h(S) \cdot T_f + W_s, \quad (4)$$

где T_f – фактический срок службы здания (лет).

Соответствующие удельные средний $R_{se}^h(S)$ и среднемаксимальный $R_{se}^m(S)$ экономические риски потерь от подтопления зданий определены по формулам:

$$R_{se}^h(S) = R_e^h(S) / S_0, \quad (5)$$

$$R_{se}^m(S) = R_e^m(S) / S_0, \quad (6)$$

где S_0 – площадь фундаментной части (м^2).

Ожидаемые полные средний $R_{pe}^h(S)$ и максимальный $R_{pe}^m(S)$ экономические ущербы за расчетный срок службы здания (T_c , лет) определены соответственно по формулам 7 и 8:

$$R_{pe}^h(S) = R_e^h(S) \cdot T_c, \quad (7)$$

$$R_{pe}^m(S) = R_e^m(S) \cdot T_c \quad (8)$$

Как видно из таблицы 17, для жилого дома по ул. Первомайская, д. 10 А техногенное приращение уровня грунтовых вод не представляет опасности. Зато здесь, в настоящее время, отмечается осадка здания, связанная с уменьшением несущей способности грунтов основания из-за увеличения их влажности. Причиной этого являются часто повторяющиеся (два-три раза в год) утечки из хозяйственной канализации, а также инфильтрация дождевых и талых вод в грунты основания, происходящая из-за нарушений, существующих в системе

отведения атмосферных осадков. Во дворе этого дома наблюдаются многочисленные суффозионные западины, связанные с трассами водонесущих коммуникаций. Диаметр их не превышает 1,0–1,5 м. Отмечены многочисленные трещины в наружных стенах здания и деформация отмостки.

Для этого здания произведена оценка полного дифференцированного риска от медленных оседаний земной поверхности $R_e(H)$ (таблица 17) по формуле:

$$R_e(H) = P(H) \cdot V_e(H) \cdot D_e \cdot T_e, \quad (9)$$

где $P(H)$ – вероятность реализации деформации определенной амплитуды в конце срока службы объекта;

$V_e(H)$ – экономическая уязвимость оцениваемого объекта для этой деформации, табулируется;

D_e – стоимость объекта до поражения процессом (руб.);

T_e – срок службы объекта (годы).

Средняя экономическая уязвимость $V_{fe}^h(H)$ с учетом физического износа (к настоящему моменту времени) W_s , удельные средний $R_{se}^h(H)$ и среднемаксимальный $R_{se}^m(H)$ экономические риски потерь от медленного оседания земной поверхности, ожидаемые полные средний $R_{pe}^h(H)$ и максимальный $R_{pe}^m(H)$ экономические ущербы за расчетный срок службы здания (T_e , лет) установлены по аналогии с формулами 7–9; полученные значения приведены в таблице 17.

Из приведенных прогнозных оценок следует, что полный экономический ущерб от подтопления фундаментов составит за 50 лет эксплуатации первого здания 29,25–36,11 % от базисной сметной стоимости; второго – 32,47–39,94 %. За счет оседания основания фундамента третьего здания в результате изменения несущей способности грунта при увеличении влажности – 18,0–42,0 %. Таким образом, на стадии подготовки проектной документации на строительство необходимо учитывать опасность подтопления территорий и грунтов. Не выполнение этого условия может привести к существенным экономическим потерям.

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что понимают под уязвимостью объекта?
- 2 Перечислите основные типы уязвимости объектов. Приведите примеры.

3 Каким образом устанавливается физическая уязвимость территории?

4 В каких целях в настоящее время используется риск-анализ?

5 Что позволяют сделать итоговые оценки риска?

6 Как оценивается полный средний $R_e^h(S)$ риск жилых зданий при подтоплении?

7 Как оценивается полный максимальный $R_e^m(S)$ риск жилых зданий при подтоплении?

8 Как оценивается средняя экономическая уязвимость здания $V_{fe}^h(S)$ с учетом физического износа (к настоящему моменту времени) W_s ?

9 Как оцениваются удельные средний $R_{se}^h(S)$ и среднемаксимальный $R_{se}^m(S)$ экономические риски потерь от подтопления зданий?

10 Как оцениваются полные средний $R_{pe}^h(S)$ и максимальный $R_{pe}^m(S)$ экономические ущербы от процесса подтопления и от медленных оседаний земной поверхности $R_e(H)$ за расчетный срок службы здания?

Литература

- 1 Айсберг, Р. Е. Формации платформенного чехла Беларуси. Статья 1. Терригенные и карбонатные формации / Р. Е. Айсберг, Л. Ф. Ажгиревич, Т. А. Старчик // Литосфера. – 2001. – № 2(15). – С. 5–11.
- 2 Айсберг, Р. Е. Формации платформенного чехла Беларуси. Статья 2. Сульфатно-хлоридные и магматические формации. Формационное картографирование / Р. Е. Айсберг, Л. Ф. Ажгиревич, Т. А. Старчик // Литосфера. – 2002. – № 1(16). – С. 5–17.
- 3 Бусел, И. А. Прогнозирование строительных свойств грунтов / И. А. Бусел. – Мн. : Наука и техника, 1989. – 246 с.
- 4 Геология антропогена Белоруссии / под ред. Э. А. Левкова [и др.]. – Мн. : Наука и техника, 1973. – 152 с.
- 5 Геология Беларуси / под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Мн., 2001. – 814 с.
- 6 Гидрогеология СССР. Сводный том. Влияние производственной деятельности человека на гидрогеологические и инженерно-геологические условия. – Вып.4. – М. : Недра, 1973. – 278 с.
- 7 Инженерная геология СССР : в 8 т. Т.1. Русская платформа / под ред. И. С. Комарова. – М. : МГУ, 1978. – 528 с.
- 8 Климат Гомеля / под ред. И. А. Савиковского и Ц. А. Швер. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 150 с.
- 9 Колпашников, Г. А. Инженерная геология / Г. А. Колпашников. – Минск : УП «Технопринт», 2005. – 132 с.
- 10 Особенности инженерно-геологического районирования территории Белоруссии в связи с рациональным использованием геологической среды / Г. А. Колпашников [и др.] // Гидрогеологические и инженерно-геологические проблемы Белоруссии. – Мн., 1977. – С. 142–147.
- 11 Матвеев, А. В. Ледниковая формация антропогена Белоруссии / А. В. Матвеев. – Мн. : Наука и техника, 1976. – 160 с.
- 12 Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Мн., 1988. – 320 с.
- 13 Современная динамика рельефа Беларуси / А. В. Матвеев [и др.]. – Мн., 1991. – 102 с.
- 14 Природные опасности России : в 6 т. Т. 6. Оценка и управление природными рисками / под ред. А. Л. Рагозина. – М., 2003. – 316 с.
- 15 Тектоника Белоруссии / под ред. Р. Г. Гарецкого. – Мн. : Наука и техника, 1976. – 198 с.
- 16 Теоретические основы инженерной геологии: геологические основы / под ред. Е. М. Сергеева. – М. : Недра, 1985. – 330 с.
- 17 Трофимов, В. Т. Инженерно-геологические карты / В. Т. Трофимов, Н. С. Красилова. – М. : Университетский книжный дом, 2007. – 383 с.
- 18 Якушко, О. Ф. Озероведение. География озер Белоруссии / О. Ф. Якушко. – Мн. : Вышэйшая школа, 1981. – 223 с.

Установа адукацый
"Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт
імя Фраўііска Скарыны"
БІБЛІЯТЭКА

Учебное издание

ТРАЦЕВСКАЯ Елена Юрьевна

Региональная инженерная геология Беларуси и зарубежных стран

Тексты лекций

по спецкурсу

для студентов специальности 1-51 01 01

«Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

специализации 1-51 01 01 03

«Инженерная геология и гидрогеология»

Редактор *В. И. Шкредова*

Корректор *В. В. Калугина*

Подписано в печать 12.03.2011. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 7,9.

Уч.-изд. л. 8,6. Тираж 100 экз. Заказ № 122

2491 - 00

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования

«Гомельский государственный университет

имени Франциска Скорины»

ЛИ № 02330/0549481 от 14.05.2009.

Ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель.