

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»)

А.Г. Верхотуров

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА

Учебное пособие для студентов специальности
130101.65 (130302.65) – Поиски и разведка подземных вод и
инженерно-геологические изыскания

ЧАСТЬ 1

Чита 2012

УДК 624.131.1 (075)
ББК 26.3 я 7
В 365

Рецензенты:

- 1) *В.М. Лизункин*, д.т.н., проф., зав. горным отделом ИПРЭК СО РАН;
- 2) *З.Н. Киселева*, д.г.-м.н., проф. кафедры "Строительство железных дорог" Забайкальского института железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения.

В 365 **Верхотуров А.Г.** Инженерная геодинамика: учеб. пособие. Ч. 1. / А.Г. Верхотуров. – 2-е изд. доп. – Чита: ЗабГУ, 2012. – 130 с.

В учебном пособии рассматриваются теоретические основы инженерной геодинамики и практика решения инженерно-геологических задач. В пособии дается характеристика основных типов опасных природных процессов и их техногенных аналогов, рассматриваются механизмы их функционирования; причины и факторы, вызывающие их развитие; закономерности распространения; методы прогноза и борьбы.

Предназначено для студентов, аспирантов и инженерных работников, выполняющих исследования и принимающих решения по проблемам инженерной геологии в строительстве, горном деле и экологии.

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром (ДВ РУМЦ) в качестве учебного пособия для студентов специальности 130302.65 "Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания" вузов региона.

УДК 624.131.1 (075)
ББК 26.3 я 7
В 365

Утверждено и рекомендовано к изданию решением редакционно-издательского совета ЗабГУ.

Ответственный за выпуск С.В. Смолич, канд. техн. наук, доцент, зам. декана горного факультета ЗабГУ.

ISBN

Забайкальский государственный университет, 2012
© Верхотуров А.Г., 2012

Предисловие

Значительная часть суши (более 8 %) застроена различными сооружениями (городами, шахтами, разрезами, карьерами, дорогами), и темпы застройки остаются очень высокими. Только объемы искусственных грунтов, образованных в результате деятельности человека, составляют более 2 тыс. км³ [Хазанов, 1975], причем основная их часть создана в XX в. Это сопоставимо с работой поверхностных водотоков, выносящих с суши твердых осадков в моря и океаны около 15 км³/г.

Осваивая геологическую среду, человек вызывает активизацию природных геологических и развитие инженерно-геологических процессов, которые, в свою очередь, негативно сказываются на его жизнедеятельности. Например, образование до 70 % современных оползней связано с деятельностью человека.

Начало XXI в. характеризуется особой обстановкой, в которой геологические процессы и явления, вызванные в том числе и многогранной деятельностью человеческого общества, представляют реальную угрозу своим масштабам и интенсивностью для жизнедеятельности на Земле. Только за 2004 г. общий ущерб от опасных процессов и явлений, по данным средств массовой информации, составил 591 млрд долл., а объем страховых выплат превысил 40 млрд долл. В России за этот период зарегистрировано более 300 опасных явлений.

Прогноз, предупреждение и ограничение этой угрозы становятся важнейшей экологической задачей. Отсутствие системы предупреждения о землетрясениях в акватории Индийского океана привело 26 декабря 2004 г. к гибели около 280 тыс. жителей из 11 стран в прибрежной зоне в результате катастрофического цунами.

Введение

Курс "Инженерная геодинамика" посвящен **геологическим и инженерно-геологическим процессам**, изучение которых при инженерно-геологических изысканиях предусматривает согласно СНиП 11-02-96 следующую последовательность работ:

1) установление их наличия или отсутствия на территории; закономерностей распространения и контуров проявления, зон и глубины их развития;

2) типизацию и выявление приуроченности процессов к определенным геоморфологическим элементам, типам грунтов, гидрогеологическим условиям, видам и зонам техногенного воздействия;

3) выяснение особенностей развития каждого из процессов, причин, факторов и условий их обуславливающих; состояния и эффективности существующих сооружений инженерной защиты;

4) прогноз развития процессов во времени и в пространстве в сфере взаимодействия проектируемого объекта с геологической средой; оценка опасности и риска от их возникновения;

5) рекомендации по использованию территории, организации мероприятий и созданию сооружений инженерной защиты, в том числе и по реконструкции существующих.

Решение этих задач для каждой конкретной территории требует от инженера-геолога знаний не только учебной литературы, но и большого объема информации – как научной, так и нормативной, полученной в последние десятилетия и поэтому не нашедшей отражения в учебниках. С целью восполнить этот пробел и было разработано настоящее учебное пособие.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДИНАМИКИ

1.1. Становление и развитие инженерной геодинамики

Проблемы геодинамики рассматривались в рамках геологических и строительных наук еще до появления инженерной геологии такими исследователями как Д.Л. Иванов, А.П. Павлов, К.И. Богданович, Н.Ф. Погребов, А.В. Львов и многими другими, принимавшими участие в изучении геологических условий строительства дорог и других сооружений в к. XIX – нач. XX вв..

Уже на первом этапе (1923-1945) развития инженерной геологии как науки, которая в значительной степени развивалась и создавалась под влиянием работ Ф.П. Саваренского, Г.Н. Каменского, И.В. Попова, Н.Н. Маслова, М.П. Семенова и др.; выделилось два научных направления: грунтоведение и инженерная геодинамика [35]. Инженерная геодинамика развивалась в тесной связи с науками геологического цикла с одной стороны, и с другой – со строительными дисциплинами. В своем становлении она широко использовала достижения фундаментальных наук: физики, химии, математики и др. Собственная теоретическая база инженерной геодинамики была еще незначительна, происходило накопление опытных данных о природных процессах, осложняющих строительство, иногда в экстремальных условиях – на севере СССР, при строительстве метрополитена в г. Москве, каналов и гидроэлектростанций и т.д. На этом этапе первую попытку систематизации физико-геологических явлений дал Ф.П. Саваренский [31].

Второй этап (1946-1978) характеризуется формированием третьего научного направления в инженерной геологии – региональной инженерной геологии. На этом этапе окончательно определились объекты исследований: грунтоведение – грунты, инженерная геодинамика – геологические и инженерно-геологические процессы, региональная инженерная геология – территория.

Соотношение научных направлений инженерной геологии можно представить в виде круговой диаграммы [35], представленной на рис. 1.1.

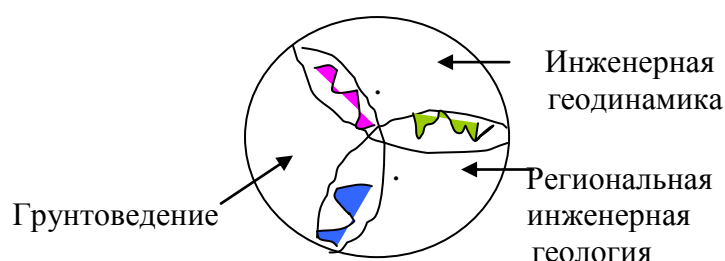


Рис. 1.1. Соотношение научных направлений в инженерной геологии

Очевидно, что сформировавшиеся научные направления в инженерной геологии тесно связаны и имеют общие области исследований.

На втором этапе окончательно сформировались прикладные разделы инженерной геологии, такие как: инженерная геология месторождений полезных ископаемых, инженерная геология городов, мелиоративная инженерная геология и др. Это послужило началом детального изучения инженерно-геологических процессов, развивающихся при различных видах строительства, причем грунты и массивы горных пород начинают изучаться на макро- и микроуровнях. Появляются первые обобщающие публикации по проблемам инженерной

геодинамики, а в определениях инженерной геологии указывается о важности изучения экзогенных (ЭжГП) и эндогенных (ЭнГП) процессов. Например, согласно определению И.В. Попова [25]: «Инженерная геология как наука является отраслью геологии, изучающей динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерной деятельностью человека». Он предложил классификацию природных геологических в сопоставлении с инженерно-геологическими процессами.

Позднее подробно рассмотрел физико-геологические явления и инженерно-геологические процессы Н.В. Коломенский [14] в учебнике "Специальная инженерная геология".

Окончательное признание специалистами самостоятельности научного направления связано с выходом учебника под названием «Инженерная геодинамика» В.Д. Ломтадзе [16] и одноименных разделов в учебниках по инженерной геологии Е.М. Сергеева [33], П.Н. Панюкова [22]. Основные положения, выдвинутые В.Д. Ломтадзе, можно свести к следующему [13]:

1) инженерная геодинамика является сложнейшим разделом инженерной геологии, в котором изучаются геологические процессы и явления как природные, так и возникающие при строительстве сооружений и хозяйственном использовании территорий;

2) инженерная геодинамика базируется на результатах теоретических исследований в области инженерной геологии и смежных наук, а также опыта строительства и эксплуатации сооружений;

3) инженерная геодинамика призвана решать задачи строительства сооружений в особых геологических условиях;

4) в теоретическом плане инженерной геодинамике предстоит разработать научные основы и методы управления геологическими процессами, их прогнозирования и охраны территорий;

5) производственная деятельность человека по масштабам соизмерима с природными факторами, совершая огромную геологическую работу, и вместе с тем противоречива, являясь, то разрушительной, то созидательной.

С этими положениями согласуются и выводы Е.М. Сергеева [33], который впервые предложил классификацию процессов в инженерной геологии, основанную на типизации горных массивов по их прочности и действующим факторам ЭГП.

П.Н. Панюков [22], рассмотрев современные геологические процессы и горно-геологические явления с позиций их влияния на условия разработки месторождений полезных ископаемых, предложил свою классификацию экзогенных геологических процессов. Он разделил их на группы по геологической работе действующих факторов (поверхностных вод, подземных вод и др.).

Третий этап развития инженерной геологии и, соответственно, инженерной геодинамики, наступил в к. 70-х – нач. 80-х гг. после выхода известной книги Г.К. Бондарика «Общая теория инженерной (физической) геологии» [3], а также серии монографий под редакцией Е.М. Сергеева «Теоретические основы инженерной геологии» [35-37] и работы В.Д. Ломтадзе «Теоретические основы инженерной геодинамики» [13]. В названных работах изложены основные теоретические взгляды на содержание этого научного направления. В 1983 г. вышел учебник Г.С. Золотарева - «Инженерная геодинамика», в котором рассмотрены основные эндогенные и экзогенные процессы, приведена общая классификация этих процессов и их техногенных аналогов, разработанная автором в 1979 г.

По мнению И.П. Иванова и Ю.Б. Тржцинского [13], которые являются авторами современного учебника "Инженерная геодинамика",

сейчас в инженерной геодинамике на первый план должны выйти проблемы, определяющие экологическую безопасность жизнедеятельности и масштабы защитных мероприятий, обеспечивающих ее.

В настоящее время необходимо не просто обоснование инженерно-строительной деятельности, а научный прогноз, при котором к минимуму сводятся негативные последствия деятельности человека.

Инженерная геодинамика тесно связана, прежде всего, с такими разделами геологической науки, как гидрогеология, геодинамика, геотектоника, четвертичная геология и геоморфология; физической географией; экологией и другими близкими ей научными и прикладными направлениями, в частности, геомеханикой и гидрогеомеханикой, строительной и горной науками. Кроме этого, она широко использует методы фундаментальных наук: физики, математики, химии.

1.2. Объект, предмет и метод инженерной геодинамики

Согласно формулировке Г.К. Бондарика [3], инженерная геодинамика (*экзогеодинамика*) – это научное направление, изучающее "формы движения геологической материи в пределах ее приповерхностной части в физическом времени в связи с осуществляемой или планируемой деятельностью человека".

Напомним, что объектом инженерной геологии, как науки в классическом определении [33], является геологическая среда, её свойства, происходящие в ней процессы, которые учитываются при осуществлении настоящей и планируемой деятельности человека, а предметом – система знаний о инженерно-геологических свойствах геосреды, в том числе о динамике и закономерностях развития инженерно-геологических процессов. "Следует заметить,

что инженерно-геологические процессы принципиально не отличаются от естественных геологических процессов. Различия между ними заключаются только во внешней причине, во взаимодействиях (управляющие, искусственные или возмущающие, естественные)" [3]. Динамика геологических процессов анализируется в двух временных системах: **в геологическом времени** – при исследовании древних и современных медленнотекущих геологических процессов; **в физическом времени** – при анализе закономерностей развития современных быстротекущих рельефообразующих процессов [3, 35].

С позиций системного анализа [3], **объектом** инженерной геодинамики являются приповерхностные динамические геосистемы (части геосреды), взаимодействующие с внешними средами (атмосферой, гидросферой и биосферой), и процессы их взаимодействия – экзогенные, а также взаимодействия внутри геосистем – эндогенные геологические процессы.

Предмет инженерной геодинамики (экзогеодинамики) составляют знания о динамических природных геосистемах и природно-технических системах, основанные на изучении экзогенных и эндогенных процессов, которые, в свою очередь, характеризуют интенсивность взаимодействий между элементами геосистем или между динамическими геосистемами и внешними средами.

Метод инженерной геодинамики включает сравнительно-геологический метод, использующий естественно-исторический подход, системный анализ и механико-математические методы, предполагающие моделирование и прогноз геологических процессов и явлений.

Структура инженерной геодинамики включает:

1) основные теоретические положения о процессах, возникающих в результате взаимодействия геологической среды с окружающими ее средами в том числе и с искусственными;

2) характеристику эндогенных процессов природного и техногенного происхождения, определяющих геодинамическую обстановку осваиваемых территорий;

3) характеристику экзогенных процессов и явлений, возникающих в геологической среде под влиянием деятельности человека, в том числе и проблему управления ими с целью обеспечения экологической безопасности жизнедеятельности на Земле [11].

1.3. Элементы теории экзогенных геологических процессов

Геологическую среду (геосреду) в целом, подобно любым выделенным её частям, геологическим телам можно рассматривать как системы. Системы, элементы которых полностью или, в основном, представлены твердыми, жидкими и газообразными компонентами геологической среды, называются геологическими системами (геосистемами).

При проведении инженерно-геологических исследований изучают некоторый, прилегающий к поверхности, объем геосреды, рассматриваемый при использовании системного анализа как геосистема. Это может быть или значительная область геологической среды, или даже небольшая строительная площадка, а точнее сфера взаимодействия основания сооружения и грунтов, где развиваются инженерно-геологические процессы.

Под системой всегда понимается предмет, состоящий из других предметов (подсистем-элементов), которые находятся в заданных отношениях между собой и обладают фиксированными свойствами. Со-

вокупность отношений и связей предметов – подсистем является структурой системы. Изменение структуры системы обусловлено изменением характера взаимодействий системы с другими системами и взаимодействием элементов системы [3].

Геосистемы разделяются на природные (ПС) и природно-технические (ПТС). Последние отличаются от природных геосистем тем, что в число их элементов входят искусственные объекты (среды) или существенно измененные человеком естественные объекты. Изменение структуры геосистем во времени обусловлено изменением характера взаимодействий системы с другими системами или взаимодействием элементов системы.

Под взаимодействием всегда понимается процесс массо-, энерго- и инфомобмена между взаимодействующими системами или элементами системы. Внешние по отношению к геосистеме взаимодействия называют динамическими, а взаимодействие элементов в системе – внутренними или функциональными. Набор, характер и интенсивность взаимодействий между элементами динамических геосистем зависит от состава, состояния, физико-механических свойств горных пород, геологического, геоморфологического и гидрогеологического строения территории. В зависимости от широтной зональности и высотной поясности меняются свойства внешних сред (климатические и гидрологические условия), соответственно и интенсивность их взаимодействий с динамическими геосистемами. Главнейшие физические поля, обуславливающие массоэнергообмен между геологической средой и внешними средами в результате взаимодействий, представлены в табл. 1.1. Геологическая среда как природная система способна к самоорганизации, поэтому геологические процессы и явления, вызываемые ими, являются реакцией системы на внешние воздействия.

Таблица 1.1

**Физические поля, взаимодействия и процессы в
геологической среде [3]**

Физические поля	Взаимодействия	Главнейшие процессы
Гравитационное	Гравитационные	Оползни, обвалы
Температурное, напряжений	Термодинамические	Минерало- и породобразование, интеграция и дезинтеграция
Напряжений, гидродинамическое, электромагнитное	Механические	Уплотнение, разуплотнение, перемещение
Электромагнитное	Химические (физико-химические)	Растворение, осаждение, минералообразование

Очень часто в развитии того или иного процесса принимают участие несколько физических полей и взаимодействий, количественная оценка последних позволяет прогнозировать дальнейшее его развитие и принимать решение о разработке управляющих решений.

Состояние геологической среды характеризуется некоторым набором показателей, которые в данный момент времени определяют ее поведение. Изменения этих значений приводят к движению геосреды. При медленных изменениях система считается квазистатической. Иногда их называют стабильными – так как они способны в той или иной мере компенсировать внешние воздействия.

Геосистемы всегда являются открытыми, ибо любой объем геосреды обменивается веществом и энергией с геологической средой, находящейся вне выделенного объема, а приповерхностные осуществляют массоэнергообмен с внешними средами – атмосферой, гидросферой и биосферой.

Источниками энергии ЭГП являются, в основном, Солнце и внутренняя энергия Земли, остальные источники имеют подчиненное значение (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Источники энергии ЭГП [37]

Источник тепловой энергии, определяющие тепловое поле Земли	Мощность, Дж/г
Внешние (космические)	
Лучистая энергия Солнца	$5.65 \cdot 10^{24}$
Лучистая энергия звезд	$18.28 \cdot 10^{17}$
Энергия метеоритов, падающих на Землю	$31.6 \cdot 10^{17}$
Гравитационное воздействие Солнца и Луны	$1.6 \cdot 10^{20}$
Внутренние (планетарные)	
Ядерные реакции внутри Земли	$18.0 \cdot 10^{20}$
Гравитационные процессы внутри Земли и замедление скорости ее вращения	$8.38 \cdot 10^{20}$
Экзотермические химические реакции	$0.23 \cdot 10^{20}$
Поглощение нейтронного потока	$4.0 \cdot 10^{20}$
Внутренние (техногенные)	
Промышленность и коммунальное хозяйство города с населением 6-8 млн чел.	$6 \cdot 10^{15}$

1.4. Понятие геологический процесс

Геологический процесс представляет собой движение геосистемы (последовательную смену состояний) в физическом времени, обусловленное её взаимодействием с внешними средами или между элементами геосистемы [3]. Процессы бывают экзогенными (ЭкГП) и эндогенными (ЭнГП), иногда их обозначают единой аббревиатурой – ЭГП или ОЭГП (опасные экзогенные и эндогенные процессы). ЭкГП

развиваются в приповерхностных геосистемах на границе с внешними природными средами – атмосферой, гидросферой и биосферой. Глубинные (эндогенные) процессы, в том числе землетрясения, существенно сказываются на развитии ЭГП. В то же время, например, такие ЭГП как эрозия, абразия и др., изменяя напряженное состояние пород, воздействуют на режим тектонических движений.

Взаимодействия осуществляются на активных элементах геосистем называемых входами. Состояние геосистемы, наблюдаемое в некоторый момент времени, есть проявление ЭГП – **явление**.

Стадия процесса – период времени, в течение которого сохраняются неизменными или несущественно изменяются набор и интенсивность взаимодействий геосистемы с внешними средами, и следовательно, неизменным сохраняется режим процесса. Например, процесс оврагообразования имеет четыре стадии — промоины, растущие и нерастущие овраги, балки.

1.5. Условия, причины и факторы развития ЭГП

Для развития ЭГП необходим комплекс условий, если в некоторой области геосреды этот набор условий имеется, то развивается ЭГП. Причиной ЭГП всегда является другой процесс, развивающийся во внешней среде (внешняя причина процесса), или внутри геосреды (внутренняя причина процесса). С геосистемой взаимодействует не вся внешняя среда, а её активные элементы – агенты. Например, в результате движения воздушных масс (агент – воздух) возможно развитие дефляции или корразии, а при движении поверхностных вод – эрозия (ламинарное или турбулентное движение) или абразия (волновое движение).

Главным фактором формирования геологических процессов, указывал Е.М. Сергеев [33], являются горные породы, оказывающие решающее влияние на развитие и проявление геологических процессов [33]. В то же время под **факторами** геологического процесса (природного или техногенного), по мнению большинства исследователей [3,11 и др.], следует понимать набор взаимодействий, под влиянием которых возникает и развивается этот процесс, происходит разрушение геосреды и переход к новому равновесному ее состоянию. Среди этого набора есть такой фактор, который играет главную роль, и его можно назвать основной причиной процесса. Факторы природного и антропогенного характера имеют разную продолжительность периода реализации. Для долговременного и краткосрочного прогнозирования действующие факторы, обуславливающие развитие ЭГП, можно подразделить на три группы [19]: постоянные, медленноизменяющиеся и быстроизменяющиеся (табл. 1.3), причем не менее важен вопрос о времени реализации воздействия факторов на ЭГП. Например: мгновеннодействующие факторы вызывают синхронное появление ЭГП, а медленнодействующие только подготавливают возможность развития ЭГП.

Таблица 1.3

Классификация факторов, вызывающих развитие ЭГП [19]

Группы факторов	Что определяют (продолжительность периода реализации)
<p><i>Постоянные</i></p> <p>1. Геологическое строение (тектоника, стратиграфия, литология)</p> <p>2. Геоморфологические (общий характер рельефа, морфология и морфометрия, генезис и возраст)</p>	<p>Генетические особенности ЭГП и их экстенсивность (10-10³ лет)</p>

Группы факторов	Что определяют (продолжительность периода реализации)
<p><i>Медленноизменяющиеся</i></p> <p>А. Независимые (основные)</p> <p>1. Современные тектонические движения</p> <p>2. Климатические</p> <p>Б. Производные</p> <p>1. Гидрогеологические</p> <p>2. Геокриологические</p> <p>3. Растительность</p> <p>4. Почвы</p>	<p>Общую тенденцию развития ЭГП (От 1 суток до 1 года)</p>
<p><i>Быстроизменяющиеся</i></p> <p>А. Независимые (основные)</p> <p>1. Метеорологические (атмосферные осадки, температура воздуха и др.)</p> <p>2. Гидрологические (расходы и уровни рек и озер)</p> <p>3. Сейсмические (землетрясения)</p> <p>4. Хозяйственная деятельность</p> <p>Б. Производные</p> <p>1. Поверхностный сток</p> <p>2. Сезонное промерзание и оттаивание</p>	<p>Режим процессов и их интенсивность (Практически равно 0)</p>

Изучение действующих факторов и их влияния на развитие ЭГП возможно только при организации режимных наблюдений (мониторинга) подобных тем, которые ведутся в организациях гидрометеослужбы, но направленных на изучение динамики геосреды.

1.6. Литомониторинг и его функционирование

В соответствии с постановлением Совета Министров от 24.11.93 № 01229 «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга» (приказ Роскомнедра от 11.07.94. № 0117)

и «Положением о государственном мониторинге геологической среды России», в качестве иерархической подсистемы государственного мониторинга геологической среды (литомониторинга) выделена подсистема государственного мониторинга геологических процессов ЭГП, включающая наблюдения за экзогенными (ЭкГП) и эндогенными (ЭнГП) процессами.

Литомониторинг – это комплекс полевых стационарных наблюдений и исследований условий функционирования природных и природно-технических систем, по результатам которых контролируются и уточняются оценки и прогнозы ожидаемых изменений систем, выполненные на предыдущих стадиях, а также методы и средства управления системами с целью обеспечения их устойчивости и ограничения ущерба. В рамках литомониторинга реализуется мониторинг ЭГП, под которым также понимают мониторинг опасных природных процессов и явлений (ОПП). Он проводится с целью своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с опасными природными процессами и явлениями. Для обеспечения его функционирования разработан комплекс государственных стандартов России [ГОСТ Р 22.0.05-94, ГОСТ Р 22.1.06-99, ГОСТ Р 22.0.11-99 и др.], которые устанавливают:

- требования к мониторингу и прогнозированию техногенных ЧС;
- требования к мониторингу и прогнозированию природных ЧС;
- методы контроля и наблюдения за источниками и проявлениями ЧС;
- требования к техническим средствам мониторинга;
- методы прогнозирования природных ЧС.

По масштабному уровню функционирования и в зависимости от

размеров территории ЧС различают виды мониторинга, представленные в табл. 1.4, причем каждый следующий уровень, входит составной частью в вышерасположенный.

Таблица 1.4

Уровни мониторинга окружающей среды и опасных природных процессов

Название уровня мониторинга (В А. Королев, 1995 и др.)	Название уровня мониторинга (ГОСТ Р 22.0.02)	Примечание
Глобальный	Глобальный	Межгосударственная система мониторинга окружающей среды и ОПГ
Национальный	Национальный	Государственная система мониторинга окружающей среды России
Региональный	Региональный	Краевые, областные системы мониторинга окружающей среды
Локальный	Местный	Городские, районные системы мониторинга окружающей среды
Детальный (объектный)	Локальный	Системы мониторинга окружающей среды и ОПГ предприятий, месторождений, хозяйственных комплексов и т.д.

В инженерно-геологическом отношении детальный (локальный ГОСТ Р 22.0.02) или объектный мониторинг охватывает территорию элементарной природной или природно-технической геосистемы.

Локальный (местный по ГОСТ Р 22.0.02) мониторинг осуществляется в пределах нескольких элементарных геосистем (природных или природно-технических), оказывающих совокупное воздействие на

развитие ЭГП – это инженерно-геологический район или область.

Региональный мониторинг охватывает территории крупных природных или природно-технических геосистем. Это инженерно-геологическая область или инженерно-геологические регионы 2-го или 1-го порядка.

Изучение ЭГП с целью прогнозирования их развития во времени и разработка управляющих решений осуществляется на участках первой, второй и третьей категории.

Участок первой категории [19] – это часть или вся инженерно-геологическая область, выделяемая по геоморфологическому принципу, в пределах которой экстенсивность изучаемого процесса оценивается пораженностью не менее 70 % и характеризующаяся, как правило, однородными климатическими условиями.

В пределах участков первой категории, по общности постоянных, а также производных изменяющихся факторов выбираются участки второй категории. Это инженерно-геологические районы развития определенных стратиграфо-генетических комплексов или формаций, имеющих пораженностью территории ЭГП более 0.5.

Участки второй категории являются основой для выбора участков третьей категории, представляющими собой элементарные проявления ЭГП (отдельный оползень, элементарный селевой поток, овраг, и т.п.). Участки третьей категории выбираются в местах высокой активности процессов. При наличии нескольких генетических разновидностей процесса для каждой из них выбираются участки третьей категории. Оптимальное количество участков для каждой генетической разновидности – 3 [19]. Дополнительными критериями выбора участков 2 и 3 категории являются близость важных народно-хозяйственных объектов и хорошая проходимость.

В целом участки третьей категории соответствуют объектам детального (локальный ГОСТ Р 22.0.02) мониторинга, участки второй категории – объектам локального (местный по ГОСТ Р 22.0.02) мониторинга, участки первой категории – объектам регионального (областного) мониторинга.

Создание опорной наблюдательной сети, являющейся основой проведения мониторинга ЭГП, должно предусматривать пункты и наблюдения на площадках и полигонах с естественным (фоновые пункты наблюдений) и нарушенным (специализированные пункты наблюдений) режимами.

Очевидно, что в современных условиях развитие наблюдательной сети необходимо начинать с первоочередного включения в систему мониторинга участков третьей категории, где ЭГП оказывают непосредственное влияние на безопасность жизнедеятельности (железные и автомобильные дороги, населенные пункты, предприятия и т.п.).

Обобщение информации в системе государственного мониторинга осуществляется на региональном (областном) уровне. На участках третьей категории получают исходную количественную информацию (смещение, объем, площадь и т.п.) по развитию отдельного ЭГП в элементарной природной или природно-технической геосистеме. Результатом режимных наблюдений является построение временных рядов по режиму ЭГП, которые являются основой для анализа и обобщения по условиям развития процесса и для составления оперативных, срочных и долговременных локальных и детальных прогнозов. Для функционирования системы мониторинга необходимы разработка и создание: а) целевой программы; б) функциональ-

ной структуры; в) автоматизированной информационной службы (АИС).

1.7. Проблемы прогнозирования и управления ЭГП

В настоящее время в инженерной геодинамике проблема инженерно-геологического прогнозирования ЭГП, возникающих под воздействием различных факторов природного и антропогенного характера является одной из основных. Проектировщикам, строителям, эксплуатационникам, руководителям местных администраций и подразделений МЧС необходим прогноз характера, масштабов и сроков ожидаемой угрожаемости и риска возникновения процессов для конкретных сооружений и объектов жизнедеятельности на конкретной территории. Поэтому эта информация должна быть объективной, достоверной, надежной и выраженной в количественной форме [13].

По определению Г. К. Бондарика [2], инженерно-геологический прогноз – это предсказание процесса движения или изменения состояния геосистемы в некоторый фиксированный момент будущего времени, Заблаговременность прогноза (Δt_p) можно определить по формуле

$$\Delta t_p = t_p - t_n,$$

где t_p – состояние геосистемы в некоторый момент будущего времени;

t_n – момент времени разработки прогноза.

Для оценки изменения состояния системы необходим некоторый временной ряд режимных наблюдений (мониторинг), предшествующий прогнозу. В зависимости от периода времени наблюдений

(Δt) предшествовавшего прогнозу зависит и его точность

$$\Delta t = t_n - t_o,$$

где t_o – момент начала режимных наблюдений.

По отношению к геологическому пространству прогнозы делятся на глобальные, региональные (для больших территорий) и локальные (для конкретных строительных объектов), по времени прогнозируемого события — на безотносительные ко времени, срочные (оперативные краткосрочные долгосрочные), по степени достоверности – на ориентировочные и детальные (точные), по способу выражения – на качественные и количественные, по охвату свойств геологической среды – на общие и частные.

В зависимости от заблаговременности прогноза и его точности зависит и снижение рисков чрезвычайных ситуаций (ЧС) и эффективность применяемых управляющих решений. В большинстве случаев приходится составлять локальные и детальные оперативные и краткосрочные количественные прогнозы, используемые при разработке мероприятий, направленных на предотвращение ЧС или смягчение их последствий.

Методы инженерно-геологического прогнозирования можно разделить [2, 11] на несколько групп, характеристика которых представлена в табл. 1.5.

В конечном итоге прогноз должен сопоставляться с реализацией его на изучаемом объекте для установления точности и надежности. Для этого используется критерий сходимости K_c , который рассчитывается по формуле [15]

$$K_c = N_\phi / N_n,$$

где N_f и N_n – соответственно значения фактических (натурных) и прогнозных изменений компонентов геологической среды.

Таблица 1.5

Методы инженерно-геологического прогнозирования и их краткая характеристика

По Г. К. Бондарьку, 1986	По Г. С. Золотареву, 1983 и др.	Характеристика
Геологических, физико-географических и антропогенных индикаторов	Сравнительно-геологический	Метод экспертных оценок основан на статистической обработке данных отражающих многофакторность геологических процессов и техногенных воздействий
Инженерно-геологических аналогий	Природных аналогов	Сравнительный прогноз изменения структуры и свойств исследуемой ПТС в сопоставлении с изученной геосистемой-аналогом
Математического моделирования	Расчетно-аналитические	Детерминированные прогнозы Вероятностно-статистические прогнозы
Физического моделирования	Инженерно-геологического моделирования	Лабораторные и экспериментальные исследования, в том числе и на эквивалентных материалах, с учетом критериев подобия

Категории достоверности прогнозов представлены в табл. 1.6. При низкой достоверности прогнозов, изменении интенсивности воздействий на геологическую среду и взаимодействий между её элементами выполняется корректировка прогнозов.

Управление в системе мониторинга – это целенаправленное воздействие на природно-техническую систему для обеспечения тре-

буемого режима функционирования, сохранения и развития её структуры.

Таблица 1.6

Категории достоверности прогнозов [15]

Категории достоверности	Критерий сходимости, K_c
1. Достоверный	0.8-1.2
2. Удовлетворительный	0.5-0.8 и 1.2-1.5
3. Неудовлетворительный	<0.5 и >1.5

Осуществляется управление на базе прогнозирования развития ПТС, а там, где это невозможно, организуется система инженерной защиты [СНиП 2.01.15-90], снижающей риск развития ОЭГП или их интенсивность [15].

Управляющие функции закладываются, в первую очередь в воздействующие, факторы, причем они могут быть направлены как на саму техническую систему (регулированием режима работы), так и на сферу её взаимодействия с геосредой (использованием методов технической мелиорации). Эти функции обычно имеют защитный характер, направленный на обеспечение экологической безопасности жизнедеятельности сооружений, территорий, охрану недр, растительного и животного мира.

Как исключение они могут иметь разрушительный характер, главным образом при строительных и горных работах, например направленные взрывы для разрушения пород и строительства плотин, дамб, дорог и др. [13]. Критерием управления ПТС следует считать минимизацию неблагоприятных последствий изменений геологической среды в результате ОЭГП или снижение ущербов: социального, экономического, экологического. Правильность выбора управляющего решения за-

висит от детальности анализа действующих факторов, который возможен только на основе многофакторного корреляционно-регрессионного анализа [15] данных наблюдений, полученных в системе мониторинга. Схема автоматизированной системы управления в структуре мониторинга геологической среды представлена на рис. 1.2.

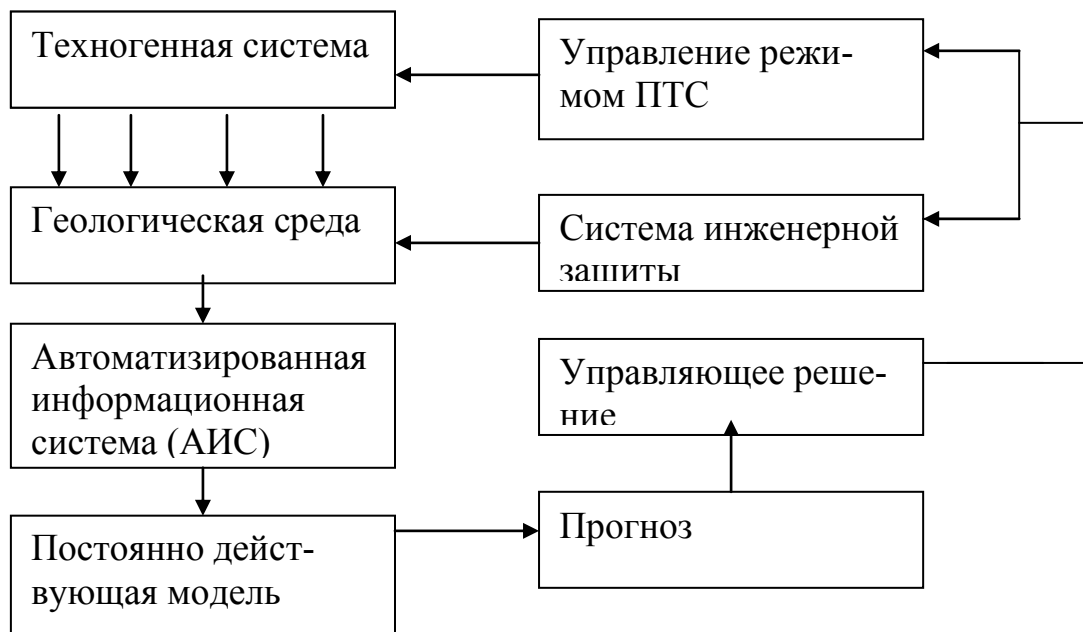


Рис. 1.2. Схема автоматизированной системы управления в структуре мониторинга геологической среды [15]

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются природно-технические геосистемы от природных?
2. Дайте определение понятию "геологический процесс".
3. Какие медленноизменяющиеся факторы влияют на ЭГП?
4. Охарактеризуйте уровни мониторинга ЭГП.
5. Какие постояннодействующие факторы определяют развитие ЭГП?
6. Что является объектом инженерной геодинамики?
7. Что значит открытая, закрытая, статическая, квазистатическая системы?

8. Инженерная геодинамика и ее связь с другими науками.
9. Охарактеризуйте основные этапы развития инженерной геодинамики.
10. Какие быстродействующие факторы и действующие агенты определяют развитие ЭГП?

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г.К. Бондарик. – Москва: Недра, 1981. – 256 с.
3. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. – Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
4. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 416 с.
5. Теоретические основы инженерной геологии: Геологические основы / под общ. ред. акад. Е. М. Сергеева – Москва: Недра, 1985. – 332 с.
6. Теоретические основы инженерной геологии: Социально-экономические аспекты / под общ. ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Недра, 1985. – 259 с.
7. Теоретические основы инженерной геологии: Физико-химические основы / под общ. ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Недра, 1985. – 288 с.

Глава 2. КЛАССИФИКАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

Существуют 4 вида классификаций геологических процессов и их инженерно-геологических аналогов: общие, региональные, частные и специальные.

1. **Общие** – характеризуют процессы по тому или иному набору признаков, анализируя действующие факторы среды развития процессов.

2. **Региональные** – относятся к определенному региону, в котором распространены соответствующие геолого-генетические комплексы пород. Для них характерна определенная геологическая история, в том числе и новейшая с присущими ему палео- и современными климато-гидрологическими условиями.

3. **Частные** классификации применяются для характеристики особенностей и распространения какого-либо геологического процесса в одном или нескольких регионах, например оползней.

4. **Специальные** классификации предполагают оценку современных или прогнозируемых инженерно-геологических процессов применительно к задачам проектируемого строительства, обоснования мероприятий по защите сооружений и др.

Первой общей инженерно-геологической классификацией физико-геологических процессов и явлений было разделение их Ф.П. Саваренским [31] на 9 групп по основной причине их возникновения (табл. 2.1). В 1951 г. И.В. Попов сопоставил природные геологические процессы с их инженерно-геологическими аналогами, а Н.В. Коломенский [14] дополнил классификацию Ф. П. Саваренского.

Таблица 2.1

Классификация физико-геологических явлений по Ф.П. Саваренскому [31]

Физико-геологические явления	Категории
Явления, связанные с деятельностью поверхностных вод (морей, озер, рек, каналов)	1. Подмыв берегов и их обрушение (морская и речная абразия) 2. Размыв склонов (овраги) 3. Сели (муры)
Явления, связанные с деятельностью подземных и поверхностных вод	4. Болота 5. Просадки 6. Карст
Явления, связанные с деятельностью подземных и поверхностных вод на склонах	7. Оползни
Явления, связанные с деятельностью подземных вод	8. Суффозия 9. Плывун
Явления, связанные с деятельностью ветра	10. Развевание и навевание
Явления, связанные с промерзанием и оттаиванием грунтов	11. Промерзание почвы и пучины 12. Вечная мерзлота и ее проявление
Явления, связанные с внутренними силами в горных породах	13. Осадки, сжатие, разбухание
Явления, связанные с внутренними силами Земли	14. Сейсмические явления
Явления, связанные с деятельностью человека	15. Поверхностные и подземные деформации при искусственных подземных и глубоких выработках

В ходе развития инженерной геологии предложено большое количество классификаций общих, региональных, частных и специальных. Только для оползней предложено более 100 классификаций. При типизации процессов в классификации Е.М. Сергеева [33] большое внимание уделено составу пород, их структурным связям и прочностным характеристикам.

Общепризнанной в настоящее время является разработанная Г.С. Золотаревым [11] «Схема общей классификации геологических и инженерно-геологических процессов и явлений». Кроме собственно типизации процессов (табл. 2.2) он приводит количественные показатели пораженности пород и территорий, масштабов явлений и скоростей развития процессов, которые в данной работе приводятся в соответствующих главах.

Таблица 2.2

Схема общей классификации геологических и инженерно-геологических процессов и явлений по Г. С. Золотареву [11] с изменениями

Действующие факторы	Типы	
	Геологические	Инженерно-геологические
Группа эндогенных процессов и их техногенных аналогов		
Глубинные процессы в земной коре и мантии Деятельность человека	1. Медленные разрывные и складчатые тектонические движения, чаще дифференцированные 2. Сейсмические, охватывающие большие площади и части земной коры, образование разрывов и трещин, раздробление пород 3. Извержение вулканов, лавовые потоки 4. Изменение пород поверхности при термическом воздействии потоков лав	1. Сотрясения и увеличение трещиноватости пород вследствие мощных взрывов при создании выемок, плотин и подземных полостей 2. Возбужденная сейсмичность при глубоком нагнетании воды и создании водохранилищ 3. Обжиг, разрыхление и сжатие пород при подземных взрывах

Действующие факторы	Типы	
	Геологические	Инженерно-геологические
Группа экзогенных процессов и их техногенных аналогов		
Изменение термодинамических условий, факторы внешней среды, биогенные, подземные воды	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разуплотнение массивов пород вследствие разгрузки естественных напряжений при эрозионном расчленении и абразионном подмыве 2. Выветривание – образование дисперсной, обломочной и трещинной зон 	То же, но вследствие создания различных выемок, при врезках и других строительных работах
Геологическая деятельность поверхностных вод (морских, озерных, речных овражных): скорость течения, режим и энергия волн, речных и склоновых вод	<ol style="list-style-type: none"> 1. Абразионные: размыва на отмелях и в уступах над ними, в зоне волноприбоя при переменных уровнях; формирование наносов и их перемещение вдоль берега 2. Эрозионные: на склонах, в оврагах, на бечевниках, рек и в уступах над ними (в зоне переменных уровней и в руслах) 3. Селевые потоки: связные (обломочно-глинистые), несвязные (щебенисто-глыбовые), переходные к оползням-потокам и к солифлюкции 4. Аккумулятивные: образование аллювия, делювия и др. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Переработка берегов водохранилищ с разными гидрологическими режимами 2. Размыв русел и берегов рек при аварийных пропусках воды и разрушении плотин 3. Возникновение или усиление смыва и оврагообразования при строительстве, ирригации и других работах 4. Размыв и образование наносов, меандрирование русла в магистральных ирригационных и водоотводных каналах 5. Катастрофические селевые потоки разных объемов при прорыве плотин и дамб, ограждающих водохранилища

Действующие факторы	Типы	
	Геологические	Инженерно-геологические
Геологическая деятельность подземных вод: агрессивность расходы и режим вод, скорости их течения и гидравлические градиенты	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подтопление территорий 2. Выщелачивание гипса, карбонатов, солей и др. из пор, трещин, прослоек и гнезд 3. Карст в гипсах, солях и карбонатных породах 4. Суффозионный размыв и вынос дисперсного материала из крупных пор, трещин и каверн, размыв и образование полостей в лёссах и глинистых породах 5. Карстово-суффозионные, иногда с вымыванием материала и кольматацией 6. "Грязевые вулканы" 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подтопление территорий, сооружений и месторождений вследствие: подпора подземных вод при создании водохранилищ, утечек из водоводных сетей при поливах, фильтрации из каналов и водоемов 2. Гидродинамическое давление фильтрационного потока на породы и их деформирования 3. Активизация выщелачивания, карста и провалов в легко растворимых породах 4. Активизация размыва, суффозии, кольматации и др. 5. Плывуны в песках и лёссах
Гравитационные склоновые: вес смещающихся пород на склонах, изменение их прочности и напряженного состояния, изменение гидрологического режима	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обвальнo-осыпные 2. Оползневые разных типов и объемов 3. Десерпционные и солифлюкционные 4. Переходные и сложные типы 5. Трещины бортового отпора, атектонические складчатые деформации и выпор 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Активизация оползней разных типов и объемов на природных склонах вследствие возрастания тангенциальных напряжений при их подрезке и пригрузке, вибрации, создании подземных выработок, изменении прочности пород и гидродинамического давления и др.)

Действующие факторы	Типы	
	Геологические	Инженерно-геологические
Гравитационные склоновые: вес смещающихся пород на склонах, изменение их прочности и напряженного состояния, изменение гидрологического режима		<p>2. Возникновение оползней, обвалов, осыпей на откосах различных выемок и на бортах карьеров</p> <p>3. Выпор дна выемок</p> <p>4. Прорывы напорных вод и взламывание дна выработок</p> <p>5. Образование оползней при фильтрации вод из каналов, проложенных на склонах или в дамбах</p>
<p>Эоловые:</p> <p>а) скорость ветра и энергия ветра;</p> <p>б) гипергенный литогенез</p>	<p>1. Развевание и перенос песчаных и пылевых масс с образованием западин, дюн, останцев и др.</p> <p>2. Просадки в лессах и рыхлых песчаных отложениях</p> <p>3. Уплотнение и образование западин в малолитифицированных породах</p> <p>4. Образование карбонатных ожелезненных и окремненных "корок"</p>	<p>1. Усиление процесса при вырубке лесов, уничтожение почвенного покрова и др.</p> <p>2. Уплотнение песчаных, глинистых и других пород методами технической мелиорации, под давлением от веса инженерных сооружений, при вибрации и другом воздействии</p>
Изменение напряженного состояния массивов пород и режима подземных вод, вызывающих деформации в массивах пород	Обрушение пород в сводах над карстовыми и другими естественными полостями и образование воронок	<p>1. Сдвигание пород и образование мульды проседания над выработанным пространством (шахтами, подземными строительными выемками, катакомбами и др.)</p> <p>2. Прогибы и разрывы слоев пород с образованием мульды проседания вследствие длительных откачек воды и др.</p>

Действующие факторы	Типы	
	Геологические	Инженерно-геологические
Изменение напряженного состояния массивов пород и режима подземных вод, вызывающих деформации в массивах пород		3. Горные удары в трещиноватых прочных породах 4. Выпоры в пластичных породах 5. Горное давление на крепь подземных сооружений и образование зоны разрушения 6. Вывалы пород из кровли и стен выработки 7. Водопритоки и обусловленные ими усиление деформации пород вокруг подземных выработок 8. Прорывы пльвунов и суффозия

Общая классификация ЭГП в цифровом виде Г.К. Бондарика [3] существенно отличается от всех предложенных ранее по построению, форме и содержанию. Учет большого набора признаков делает эту классификацию достаточно сложной, но предлагаемый подход будет эффективным применительно к региональным и специальным классификациям, где они могут служить основой для районирования [13].

С учетом изложенного, а также работ А.И. Шеко [19] и других [17,21, 22] автор предлагает классификацию, представленную в табл. 2.3. В таком виде классификация удобна для запоминания, причем под термином "активизация" понимается такое же название техногенного аналога, как и для природного процесса.

Таблица 2.3

Общая классификация геологических процессов и их инженерно-геологических аналогов

Группа (выделяется по источнику энергии)	Подгруппа (выделяется по физическим полям)	Класс (выделяется по основным действующим факторам)	Подкласс (выделяется по механизму движения)	
			Геологические	Инженерно-геологические
Э Н Д О Г Е Н Н Ы Е	Гравитационно–конвекционные, геотемпературные	Тектонические	Складчатые движения	Различные формы сдвижения горных пород при подземной разработке
			Разрывные	
		Сейсмогенные	Землетрясения	Подземные взрывы. Горный удар, стрельяние Активизация землетрясений - при заполнении водохранилищ, длительной откачке подземных вод и др.; при глубоком нагнетании подземных вод
		Трещинные излияния		
		Э К З О Г Е Н Н Ы Е	Аэро- гидростатические–гидро- и биохимические	Гипергенные
Засоление	Активизация при нарушении норм полива и др.			
Просадки в лесовых грунтах	Искусственная просадка лесовых пород			
Заболачивание	Подтопление			
Набухание	Набухание пород в почве горных выработок			
Аэродинамические	Эоловые			
			Коррозия	

Продолжение табл. 2.3

Э К З О Г Е Н Н Ы Е	Аэро – гидродинамические	Волновые	Абразия за счет ветровых волн	Переработка берегов водохранилищ
			Абразия приливно-отливная	-
			Цунами	Волны при взрывах
	Гидродинамические	Флювиальные	Эрозия: речная, овражная, плоскостной смыв	Активизация при распашке полей и при изменении направленности русловых процессов
			Сели	Прорывы плотин
	Гидрогеодинамические – гидрохимические	Фильтрационные – гидрохимические	Суффозия	Активизация при искусственном возрастании критического градиента фильтрационного потока
			Фильтрационный выпор	
			Плывуны	
			Карст	То же, но возможно увеличение агрессивности и температуры карстовых вод
	ГРАВИТАЦИОННЫЕ	Собственно гравитационные	Разуплотнение	Разуплотнение при рытье котлованов и карьеров
			Уплотнение	Осадки в основании здания и сооружений
		Гравитационные склоновые	Оползни	Оползания при подреке, пригрузке, замачивании склонов, а также при вибрационном воздействии
			Обвалы и вывалы	Обвалы и вывалы на склонах выемок, бортах карьеров, в кровле горных выработок
			Осыпи	
		Гравитационные – гляциальные	Лавины	Активизация при динамических воздействиях
Ледники				

Группа (выделяется по источнику энергии)	Подгруппа (выделяется по физическим полям)	Класс (выделяется по основным действующим факторам)	Подкласс (выделяется по механизму движения)	
			Геологические	Инженерно-геологические
Э К З О Г Е Н Н Ы Е	К Р И О Г Е Н Н Ы Е	Собственно криогенные	Морозное пучение дисперсных пород	Активизация при изменении условий тепло- и влагообеспеченности на поверхности пород и в подземных горных выработках
			Криогенное выветривание	
			Морозобойное растрескивание	
			Термокарст	
		Наледеобразование	Прорывы зимой техногенных вод. Активизация из-за нарушения путей фильтрации подземных вод при строительстве	
		Термогидрогенные	Термоабразия	Активизация при изменении условий тепло- и влагообеспеченности на поверхности пород
			Термоэрозия	
		Термогравитационные	Курумообразование	
			Солифлюкция	

Характеристика типов ЭГП представлена в соответствующих главах данной работы.

Для классификаций парагенезов ЭГП в областях с различным геодинамическим режимом Г.К. Бондарик [3] предлагает использовать четыре набора признаков: а) климатическую зональность (талая зона геологической среды и криолитозона); б) геотектоническое положение исследуемого региона (платформенная или горноскладчатая область); в) геоморфологическое строение (геоморфологический элемент); г) строение и свойства геологической среды. Для горноскладчатых районов криолитозоны парагенезы ЭГП представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Парагенезы ЭГП в горноскладчатых областях
криолитозоны

Инженерно–геологическая область	Геоморфологический элемент	Основное условие процесса	Парагенезы ЭГП
Горноскладчатая область	Водоразделы	Скальные, Крупнообломочные Песчано-глинистые	Криогенное выветривание Каменные поля Полигонально-жильные льды, пучение, термокарст
	Горные склоны	Скальные Крупнообломочные Песчано-глинистые	Криогенное выветривание Обвалы, осыпи, лавины Курумы, термоэрозия, Солифлюкция, эрозия и термоэрозия, пучение
	Тальвеговые части долин	Скальные Крупнообломочные Песчано-глинистые	Эрозия, сели, криогенное выветривание, наледи, Термоэрозия, пучение, полигонально-жильные льды, термокарст
	Побережья морей и озер	Скальные Крупнообломочные Песчано-глинистые	Криогенное выветривание Обвалы, абразия и термо- абразия, термокарст

Признаками, характеризующими связь между экзогенными процессами и особенностями геодинамического режима, являются такие показатели как интенсивность и экстенсивность [35].

Под интенсивностью проявления экзогенных процессов понимают такие показатели как скорость протекания; объемы возможных смещений, размывов, провалов; частота повторяемости. В шкале интенсивностей выделяются следующие категории [35]:

I – катастрофическая интенсивность – это сочетание высоких скоростей процессов с грандиозными или крупными объемами, происходящими внезапно;

II – высокая интенсивность – сочетание высоких и средних скоро-

стей процессов с грандиозными или крупными объемами, происходящая при любом характере проявления во времени;

III – средняя интенсивность – сочетание средних скоростей со средними и малыми объемами при любом характере проявления во времени, кроме внезапного;

IV – слабая интенсивность – сочетание малых скоростей с малыми объемами.

Экстенсивность предполагает характеристику активности экзогенных и эндогенных геологических процессов по характеру распространения их по площадям и проценту занятости территории процессом. Например в Забайкалье, в денудационно-тектоническом, нивально-гольцово-тундровом высокогорье на абсолютных отметках более 1500 м пораженность обвалами, осыпями, курумами достигает 26.6 %, а в пределах плоскоувалистых, мелкосопочных эрозионно-аккумулятивных безлесных равнин с абс. отм. 500-800 м составляет лишь 0.1 % [4].

В зависимости от распространения процессов по площади возможно использование следующей шкалы экстенсивности их проявления:

1 – максимальной экстенсивности – пораженность территории процессом составляет 70 – 100 %;

2 - высокая экстенсивность – пораженность территории процессом составляет 50 – 70 %;

3 – экстенсивность выше средней – пораженность территории процессом составляет 30 – 50 %;

4 – средняя экстенсивность – пораженность территории процессом составляет 10 – 30 %;

5 – слабая экстенсивность – пораженность территории процес-

сом составляет менее 10 %.

Некоторое увеличение категорий в предложенной шкале, по сравнению со шкалой Т.Ю. Пиотровской [35], связано с тем, что это позволит более полно учитывать особенности развития процессов на территории.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные типы геологических процессов и их инженерно-геологические аналоги (по Г. С. Золотареву).
2. Назовите виды хозяйственной деятельности и связанные с ними инженерно-геологические процессы.
3. Какие классификации геологических и инженерно-геологических процессов и явлений существуют?
4. Какие выделяются категории интенсивности ЭГП?
5. Что такое экстенсивность?
6. Какие парагенезы ЭГП характерны для горных районов криолитозоны?

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г.К. Бондарик. – Москва: Недра, 1981. – 256 с.
3. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. - Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
4. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург.: Наука, 2001. – 416 с.

Глава 3. ЭНДОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ

Эндогенные процессы связаны с внутренней энергией Земли, их принято разделять на **тектонические, магматические и метаморфические.**

Процессы интрузивного магматизма, метаморфизма, глобальной тектоники литосферных плит и складкообразования протекают медленно в течение длительного геологического времени (миллионы лет), влияют на вещественный состав массивов горных пород и его изменения и поэтому в рамках инженерной геодинамики обычно не рассматриваются.

Эффузивный магматизм (вулканизм), неотектоника и современная сейсмичность являются важными показателями при оценке инженерно-геологических условий отдельных территорий. Современный вулканизм на территории России имеет локальное распространение на Камчатке и Курильских островах, его подробная характеристика дается в курсе "Общая геология" и в данном пособии не приводится.

3.1. Роль неотектонических движений в формировании современных инженерно-геологических условий

В инженерной геодинамике неотектонические движения рассматриваются при оценке геодинамической обстановки на той или иной территории и связи экзогенных процессов с особенностями геодинамического режима.

Неотектоника определяет строение тектогенного рельефа, неотекто-

ническую нарушенность массивов пород, их современное напряженное состояние [37]. Основными структурными элементами приповерхностной части Земли являются эпигеосинклинальные и эпиплатформенные орогены, рифтогены, сводовые структуры щитов и срединных массивов, активизированные платформы, сложенные дислоцированными породами магматических, метаморфических и осадочных формаций, плиты, компенсированные прогибы и впадины, сложенные слабодислоцированными породами осадочных формаций. Каждая из этих неоструктур характеризуется определенным геодинамическим режимом, под которым понимается сочетание эндогенных процессов, характеризующее геодинамическое состояние пород – характер, интенсивность и направленность тектонических движений, величину теплового потока.

По среднему уровню тектонической напряженности (МПа) земной коры выделяются четыре типологических ряда геодинамических режимов:

1) интенсивный (100 ± 50), характерный для высокогорных частей орогенов и рифтогенов (Байкальская рифтовая зона, Камчатка);

2) напряженный (70 ± 35), характеризующийся развитием активных напряжений растяжения и сжатия (Восточное Забайкалье, горные районы Верхоянья); 3) умеренный (40 ± 20), характерный для асейсмичных районов Урала, Алтая, платформ и плит, испытывающих изостатические поднятия;

4) слабый (10 ± 5), который присущ асейсмичным внеледниковым частям платформ и плит.

Определенному геодинамическому режиму соответствует определенный набор экзогенных процессов (табл. 2.4), и в совокупности с климатическими условиями они определяют геодинамическую обстановку инженерно-геологических регионов или инженерно-геологические областей.

Очевидно, что классификация парагенезов ЭГП Г. К. Бондарика [3] должна быть существенно дополнена. На природные типы геодинамических режимов накладываются воздействия технической деятельности человека, вызывая развитие инженерно-геологических процессов.

3.2. Инженерно-геологический анализ современной тектоники и методы изучения

Изучение современных тектонических движений в инженерно-геологических целях позволяет [11]:

1) оценить вероятность, величины дифференцированных поднятий и опусканий разрывных и складчатых структур, их влияние на перекося и устойчивость сооружений – бетонных плотин, тоннелей, мостов и др. в случае неизбежности их расположения на разломах и складках;

2) оценить влияние на напряженно-деформированное состояние массивов пород, на величины и направление максимальных касательных напряжений в склонах; оценить изменения трещиноватости, текстуры, механических и фильтрационных свойств пород в зонах подвижек;

3) выявить влияние разнохарактерных тектонических движений на развитие рельефа, современных геологических и инженерно-геологических процессов, в связи с разработкой мер защиты от их воздействия на сооружения и территорию;

4) обосновать конструкции сооружений и инженерных мероприятий, обеспечивающих их безаварийную эксплуатацию;

5) увязать проявления сейсмичности с новейшими структурами и их дифференцированным движением.

Для характеристики неотектонических движений при проектировании ответственных сооружений применяются следующие методы:

– *геоморфологический*, основанный на анализе гипсометрического положения и строения террас, перегибов склонов, продольных профилей рек и т.д. с учетом выветриваемости и размываемости пород;

– *геодезический*, используемый на специальных полигонах, где с помощью высокоточного нивелирования определяются деформации земной поверхности по реперам, установленным на различных структурных блоках и на геоморфологических элементах;

– *инструментальные подземные наблюдения* – измерения деформации структурных блоков чувствительными приборами, наклономерами, деформографами и гидронивелирами, установленными в изолированных подземных камерах на или вблизи разломов;

– *петрографический* – изучение строения зон разломов, надвигов и складок, состава, строения и текстуры пород в них, характера раздробленности пород, поверхностей смещения и особенно новых минералообразований – кварцевых жил, кальцита, гипса, окислов железа и других, позволяющих оценить, залечен ли разлом или эти новообразования раздроблены и перетерты при подвижках.

Многие ответственные сооружения возведены на тектонических разломах или вблизи них. К ним относятся высокие бетонные плотины Иркутской, Братской, Красноярской ГЭС; тоннели, автомобильные и железнодорожные мосты в зоне БАМ и др.

Наиболее активно влияние неотектонического фактора проявляется в горно-складчатых областях, к которым относится практически вся территория Забайкалья и особенно его северная часть, являющаяся восточным флангом Байкальской рифтовой зоны, где интенсивность опусканий во впадинах и в настоящее время составляет 0.04-0.4 мм/г., а в пределах хребтов 0.15-0.25 мм/г. (хр. Удокан) и более. Интенсивность горизонтальных движений земной коры здесь превышает вертикальные примерно в 3-3.5 раза [8]. Формирование Байкальского рифта началось с середины неогена и активно продолжается и сейчас, о чем свидетельствуют повышенный тепловой поток, выходы термальных вод, частые землетрясения с потенциальной интенсивностью до 12 баллов. Сейсмические явления для данной территории, как, впрочем, и для других, являются особо опасными для устойчивости различных сооружений.

3.3. Сейсмичность – общее понятие, краткая характеристика и оценочные показатели

Сейсмические процессы — это колебания упругих волн в земной коре, вызванные различными механическими импульсами, приводящие к ее сотрясению и деформациям. Формой проявления природной сейсмичности являются землетрясения и моретрясения. Ежегодно происходит до 100 тыс. землетрясений, из которых 10-20 разрушительных и 1 катастрофическое, причем все они происходят, как правило, внезапно.

За период с 770 г. до н.э. и до настоящего времени произошло более 1000 разрушительных землетрясений [13]. В XX в. на Земле в результате землетрясений погибли десятки млн чел., были полностью раз-

рушены такие города как Ташкент, Ашхабад, Спитак, Нефтегорск и многие другие. Высокоточные измерения, после уже упоминавшегося катастрофического землетрясения в акватории Индийского океана 26 декабря 2004 г. вблизи острова Суматра, показали, что полуостров Индостан сдвинулся на 0.12 м в сторону Индонезии.

В XXI в. в мире ежегодно в результате землетрясений и моретрясений и экзогенных процессов, провоцируемых ими (оползни, обвалы, сели, цунами), погибает более 40 тыс. чел. Многократно возрастает материальный ущерб в связи с растущей урбанизацией. По сведениям ЮНЕСКО, за последнее десятилетие сумма ущерба на одного жителя, проживающего в эпицентральной зоне, где произошло 8-балльное землетрясение, составляет 30 тыс. долл. [13]. В табл. 3.1 представлены данные о наиболее катастрофических землетрясениях на нашей планете за последние 500 лет.

Таблица 3.1

Характеристика некоторых катастрофических землетрясений и моретрясений по В.Д. Ломтадзе [17], Г.С. Золотареву [11], Т. Рикитаке [29], В.П. Солоненко [9] и др.

Дата	Местоположение	Магнитуда	Интенсивность I ₀ , балл	Сопутствующие явления	Последствия
1556	Провинция Шэньси (Китай)	-	-	-	830 тыс. погибших
1.02. 1725	Север Читинской области (Великое Сибирское или Чина-Вакатское)	≥8	11-12	Обвалы, трещины, торошение льда	Сбросы с амплитудами до 60 м, деформации зданий в г. Чите
1.11. 1775	Португалия (Лиссабонское)		9-10	Цунами	60 тыс. погибших
1.09. 1923	Япония (Квантское)	8.3	9-10	Цунами до 10 м	Сгорело и разрушено более 500 тыс. домов, погибло 142 807 чел.

Окончание табл. 3.1

Дата	Местоположение	Магнитуда	Интенсивность I ₀ , балл	Сопутствующие явления	Последствия
5.10. 1948	Туркмения (Ашхабадское)	7	9-10	Обвалы, трещины, оползни	Город разрушен полностью
4.12. 1957	Монголия (Гоби-Алтайское)	8.6	12	Обвалы, трещины	Сбросы с амплитудами до 10 м
27.06. 1957	Север Читинской области (Муйское)	7.9	10-11	Обвалы, осыпи	Сбросо-сдвиги до 5-6 м, образование озера
29.08. 1959	Акватория у юго-восточного побережья оз. Байкал	6.5- 6.75	9	Грязевые выбросы по берегам	Изменение глубины озера до 40 м
28.03. 1964	Аляска (Анкориджское)	8.25	10-11	Оползни, трещины	Значительные разрушения,
26.04. 1966	Узбекистан (Ташкентское)	5.3	8	Трещины, Оползни	Сильные разрушения, гибель около 60 тыс. чел.
31.05. 1970	Перу (Перуанское)	7.8	10	Лавина, оползни и сели	Разрушение 200 тыс. домов, погибло 66 тыс.чел.
9.02. 1971	США, Калифорния (Сан-Фернандское)	6.6	8-11	Оползни	Ущерб более 1 млрд долл., погибло до 20 тыс. чел.
27.07. 1976	Китай (Таньшаньское)	8..2	10	Оползни	Полностью разрушен город, погибло 255 тыс. чел.
7.12. 1988	Армения Спитакское)	8	10	Обвалы, трещины	Большие разрушения, гибель более 25 тыс. чел.
27.05. 1995	Сахалин (Нефтегорское)	7	9	Трещины	Полное разрушение поселка, гибель более 2 тыс. чел.
26.12. 2003	Иран (Бамовское)	7	9	Оползни	Большие разрушения, гибель более 40 тыс. чел.
26.12. 2004	Индийский океан (Суматринское)	8.9	11	Цунами	Большие разрушения, гибель до 280 тыс. чел.

При сильных землетрясениях после основного удара часто ощущаются повторные толчки (*афтершоки*), возникающие в результате перераспределения упругих напряжений вблизи очага. Они обычно значительно слабее главного сотрясения. Количество таких повторных толчков может быть от нескольких десятков до тысячи. Очень часто именно афтершоки являются причиной возникновения сейсмогенных обвалов и оползней, ибо первый удар нарушает устойчивость зданий, горных массивов, доводя ее до критического состояния предельного равновесия, а повторные толчки приводят к разрушению зданий и смещению пород по склонам.

Сейсмологи считают, что упругая энергия, энергия землетрясений связана лишь с размерами очаговых зон, причем геометрические размеры этих очаговых зон могут изменяться до пяти и более порядков. Очаг землетрясения характеризуется следующими параметрами: средним радиусом R , длиной разрыва L , его шириной W , площадью поверхности разрыва S и смещением d по нему. Если участок очага представить в виде эллипсоида, то его размеры можно выразить через радиус и длины полуосей при этом будут равны: $a = 1.8R$, $b = 0.95R$, $c = 0.3R$ [27].

Сейсмичность характеризуется следующими показателями, имеющими эмпирические зависимости между собой [11]:

1) энергией землетрясения – классом $K = \lg E$, Дж; от самого слабого $K_0 = 0$ до сильной катастрофы $K = 18$ (Энергетический класс землетрясения определяет упругую энергию условного источника (референц-сферы с радиусом в 10 м);

2) магнитудой – M , которая характеризует очаг землетрясения и ее связь с энергетическим классом и определяется зависимостью $K = 1.8M + 12$;

2) балльностью (интенсивность в эпицентре)

$$I_0 = 1,5M - 3,5 \lg h + 3,$$

где h – глубина очага мелкофокусных землетрясений;

3) ускорением горизонтальной составляющей α , см/с²;

4) сейсмическим моментом – M_0 в очаге, обусловленном разностью напряжений в массиве до и после землетрясений, параметрами очага (длиной и шириной разрыва), смещениями в нем и показателями среды, $\lg M_0 = 1,5M + 16$;

5) T – периодом повторяемости, год;

6) $A_{10}(N)$ – сейсмической активностью или числом землетрясений с $K=10$, зарегистрированных за год на площади 1000 км²;

7) остаточными деформациями в породах (сейсмодислокациями) – протяженностью, амплитудами, шириной разрывов и т.д.

Землетрясения разделяются:

по магнитудам на категории: 4,5-5,5; 5,5-6,5; 6,5-7,5; 7,5-8,5; а

по глубинам очагов на группы:

по Золотареву [13]

по А. Аллисону и Д. Палмеру [1]

– мелкофокусные 3-10 км;

до 60 км;

– среднефокусные 10-20 и 20-40 км;

60-300 км;

– глубокофокусные 40-100 км;

300-720 км;

по повторяемости на разряды: 3-30; 30-300; 300-3000 и 3000-30000 лет;

по балльности используется несколько шкал: MSK-1964 – 12-балльная, принятая в СНиПе II-7-81; 7-балльная (Японская), шкала Рихтера и др.

Связь между радиусом очага землетрясения и энергетическими характеристиками представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Энергетические характеристики и размеры очагов
коровых землетрясений [27]

R, км	0.1	0.2	0.3	0.5	0.9	1.6	2.7	4.6	7.9	14	23	40
M	1.7	2.2	2.8	3.3	3.9	4.4	5.0	5.6	6.1	6.7	7.2	7.8
K	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

В зависимости от типа и конструкции сооружения, рельефа и инженерно-геологических особенностей участка, проявление землетрясений в виде деформации различно, и поэтому по внешним характеристикам (колебания предметов, повреждения зданий, трещины, оползни) определение балла землетрясения является качественным и условным. В целом возрастание интенсивности землетрясения на 1 балл соответствует примерно пятикратному увеличению энергии; это существенно при оценке сейсмического воздействия. Например, плотность потока энергии при землетрясении в VI баллов составляет $5,5 \div 27 \cdot 10^5$, эрг/см², а при VII-балльном - $27 \div 134 \cdot 10^5$ эрг/см² соответственно.

Условия строительства в сейсмических районах определяются специальными нормативными документами, среди которых главным является СНиП II-7-81, значительно дополненный в конце прошлого века, после землетрясений в Армении и Нефтегорске, а также в 1997, 1999 и 2000 гг. Интенсивность сейсмических воздействий в баллах (сейсмичность) для района строительства следует принимать на основе комплекта карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97, утвержденных Российской академией наук и представленных в СНиПе II-7-81.

3.4. Сейсмические зоны России

Схема современного сейсмического районирования России (рис. 3.1) значительно отличается от аналогичной схемы, представленной ранее в работе В. Д. Ломтадзе [17].

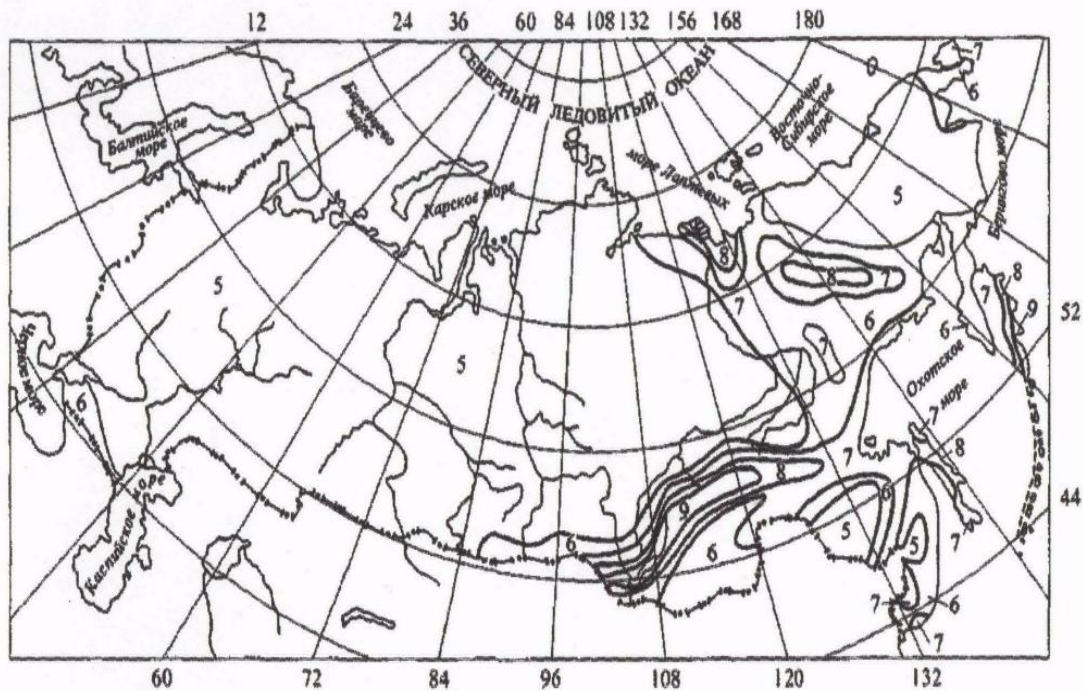


Рис . 3.1. Схема сейсмического районирования территории России [СНиП II-7-81].

Цифры – интенсивность землетрясений в баллах

Опыт изучения сейсмических зон мира свидетельствует, что все современные землетрясения связаны с окраинами океанических плит и вулканическими поясами: Евразийским и Тихоокеанским, а также с региональными тектоническими зонами крупных активных разломов (рифтов), в которых очевидно зарождаются новые центры спрединга.

На территории России сейсмически опасные районы находятся на юго-западе в Причерноморье, Чечне, Дагестане, на Алтае, на востоке и северо-востоке страны. Высокосейсмичная область России находится

в Байкальской рифтовой зоне. Здесь периодически повторяются катастрофические землетрясения.

Например, одно из них силой не менее 9 баллов произошло в 1862 г. в устье р. Селенги. В результате часть Цаганской степи опустилась на 5 м, и образовался залив Провал с площадью 197 км². Всего в XX-в. на данной территории зарегистрировано более 5 землетрясений интенсивностью в 10 и более баллов и только относительно слабая населенность не привела к тяжелым последствиям. Например, колебания Муйского (1957) и Тас-Юрхского (1967) землетрясений ощущались на громадной площади Восточной Сибири, что видно на рис. 3.2.

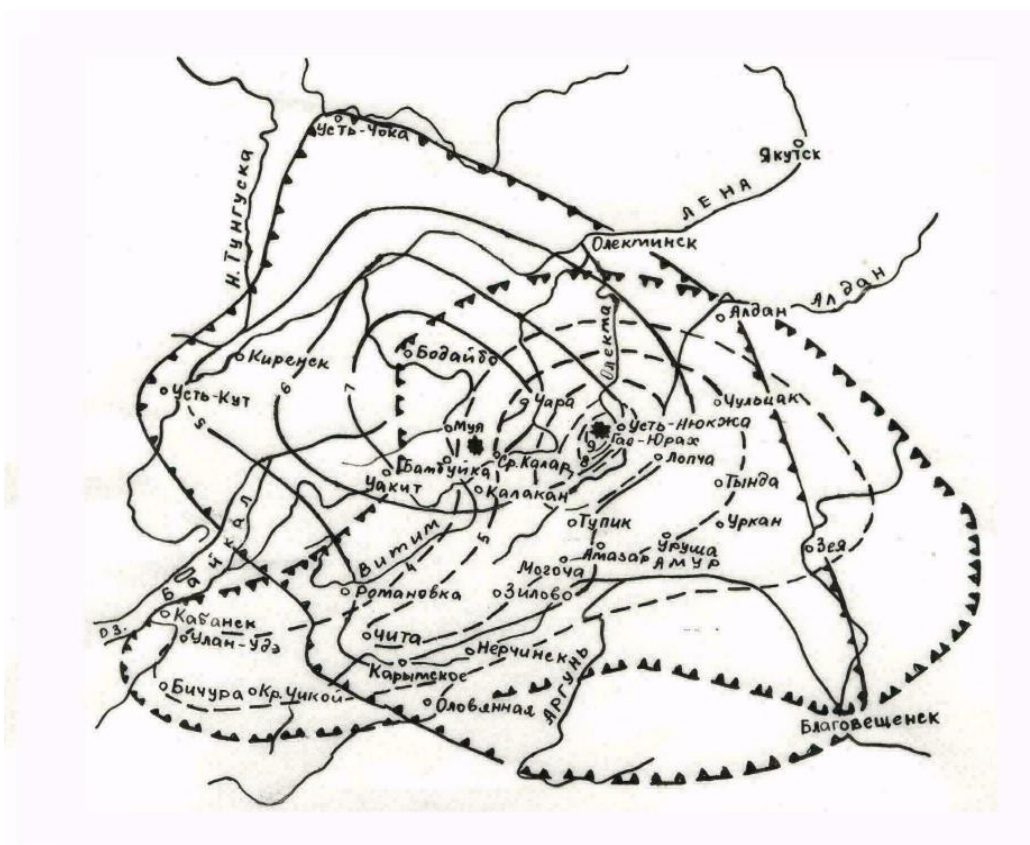


Рис 3.2. Карта изосейст Муйского и Тас-Юрхского (пунктир) землетрясений по Р. А. Курушину В.М. Кочеткову и др. [9].

Зубчатый контур – граница осязтимости

Другой сейсмоопасный район (с балльностью 7-9) находится в районе Камчатского полуострова, Курильских островов и на Сахалине, где при моретрясениях возможно возникновение цунами с высотой волн до 30 м. На Камчатке и Курильских островах цунами отмечены в 1737, 1792, 1918, 1923, 1952 гг.

До 27.09.2003 г. менее высокой сейсмичностью характеризовалась Алтае-Саянская горная система, где в историческое время не было зарегистрировано крупного землетрясения. Все сейсмические события здесь были обусловлены транзитом сотрясений, приходящих из соседней Монголии. В результате землетрясения 2003 г. был разрушен один населенный пункт, и значительно изменился рельеф на склонах в эпицентральной зоне (рис. 3.3), а его интенсивность составила около 9 баллов.



Рис. 3.3. Сейсмодиформации на склоне после Алтайского землетрясения 27.09.2003 г.

Менее опасной в сейсмическом отношении в настоящее время

считается Верхоянская зона, где возможная интенсивность землетрясений оценивается в 8 баллов.

В Читинской области, кроме его северной части, опасной в сейсмическом отношении является Хэнтейская сейсмическая зона, где 15.10.1934 г. было зафиксировано VII балльное Чикойское землетрясение. Более подробная характеристика сейсмичности области приведена в прил. 1.

3.5. Причины и механизм процесса

Сейсмические волны, подобно звуковой волне, возникнув в недрах Земли, распространяются во все стороны. Путь упругой волны изменяется в зависимости от состава и свойств пород, через которые она проходит, при этом устойчивость колебаний пропорциональна их начальной энергии. Горные породы, слагающие земной шар, в принципе являются упругой средой, способной передавать эти колебания как внутри себя, так и по своей поверхности. Природные механические импульсы, вызывающие эти колебания, возникают:

– в процессе быстрой разрядки накопившихся напряжений внутри Земли в результате проявления тектонических явлений в виде толчков с образованием разрывов, вызывающих упругие колебания вещества;

– в процессе тепловых взрывов в верхней мантии и выделения громадного количества тепла, обусловленного пластическими перемещениями подкорковых масс и выходом их на земную поверхность в виде вулканических извержений;

– обвалов громадных масс горных пород, происходящих на поверхности и в подземных пустотах.

Кроме этих природных спусковых механизмов возникновения землетрясений могут иметь место и чисто техногенные причины. К таким причинам, способствующим искусственному возбуждению сейсмического сотрясения, можно отнести крупные взрывы, в том числе и ядерные подземные, и наземные, и деформации в земной коре, вызванные созданием громадных водохранилищ.

Сейсмические волны делятся на два главных типа: *глубинные* и *поверхностные*.

Глубинные волны распространяются внутри земли и состоят из двух видов упругих волн — *продольных (P)* и *поперечных (S)*.

Продольные волны являются волнами сжатия, они передаются переменным увеличением или уменьшением объема, сжатием и разряжением напряжений вдоль направления распространения волны. Период их колебаний изменяется от 2-3 до 25 с и более. Эти волны проходят через все среды - газообразные, жидкие и твердые.

Поперечные волны представляют собой колебания частиц, происходящих в направлении, перпендикулярном пути волны. Они сдвигают частицы твердого земного вещества, причем происходит изменение только формы, но не его объема, поэтому волны не могут распространяться в жидкостях и газах.

Поверхностные волны, или волны Релея, также делятся на два вида. В одном случае это вертикальная волна, когда колебания направлены вертикально, в другом — это горизонтальная волна, когда колебания направлены горизонтально. Периоды колебаний этих волн изменяются от нескольких секунд до нескольких минут. Эти волны распространяются вблизи свободной земной поверхности, а глубина их проникновения определяется их частотой.

Скорости распространения всех этих волн различны. Самая бы-

страя волна – продольная, самая медленная – поверхностная. Скорость продольной (v_p) волны больше скорости поперечной (v_s) примерно в $\sqrt{3}$ раза. Как величина физическая, *скорость распространения* сейсмических волн может быть рассчитана по формулам 3.1 и 3.2:

$$v_p = \sqrt{\frac{E_\Delta(1-\mu)}{\gamma(1+\mu)(1-2\mu)}}, \quad (3.1)$$

$$v_s = \sqrt{\frac{E_\Delta}{2\gamma(1+\mu)}}, \quad (3.2)$$

где E_Δ – модуль упругости динамический, кгс/см²;

μ – коэффициент поперечной деформации;

γ – плотность пород, г/см³.

Поперечные и продольные волны распространяются не по дугообразному пути вдоль земной поверхности и не по его прямолинейным глубинным хордам, а по изогнутым лучам (рис. 3.4).

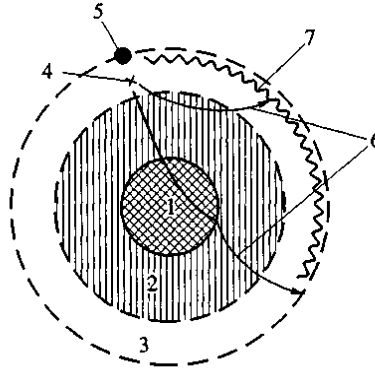


Рис. 3.4. Распространение сейсмических волн в Земле:
1 — ядро; 2 — мантия; 3 — земная кора; 4 — гипоцентр; 5 — эпицентр; 6 — Р- и S-волны; 7 — L-волны

Скорости этих волн могут возрастать при продвижении в более глубокие области планеты. Кроме того, на скорость распространения Р-волн и S-волн оказывают существенное влияние упругие свойства горных пород и их плотность. Так скорость продольных волн в скальных невы-

ветрелых породах при естественной влажности может изменяться от 2 до 7 км/с.

Скорости распространения поверхностных волн с расстоянием ослабевают, затухают, они могут меняться в зависимости от прохождения по разным типам грунтов, в горных породах под днищами океанов они выше, чем в континентальных районах.

Глубокофокусные землетрясения возникают в зонах субдукции (рис. 3.5), они ощущаются на значительных площадях и менее опасны, чем мелкофокусные землетрясения, поэтому, чем глубже очаг, тем больше энергии поглощают породы [29].



Рис. 3.5. Схема субдукции и ассимиляции литосферных плит по S. Uyeda [29]

Установлено, что при увеличении глубины гипоцентра в два раза количество энергии убывает в 10—20 раз, а при возрастании глубины в 10 раз количество энергии уменьшается в тысячу раз, поэтому наиболее разрушительными являются мелкофокусные землетрясения.

Наибольшая сила землетрясения характерна для эпицентра, при удалении от которого во все стороны сила толчков и сотрясения постепенно уменьшаются. Линии, соединяющие точки, где землетрясение

проявилось с одинаковой силой, называются *изосейстами*. Область, в пределах которой во время землетрясения проявляются *сейсмодетформации*, возможно разрушение сооружений, изменение рельефа, возникает угроза жизни людей, называется *плейстосейстовой областью* и ограничена она изосейстой в 6 баллов. На рис. 3.2. представлена карта изосейст Муйского (1957) и Тас-Юряхского (1967) землетрясения на восточном фланге Байкальской рифтовой зоны.

При моретрясениях образование волн цунами вызывается быстрыми поднятиями или опусканиями морского дна по падению разрывов (сбросы или взбросы). При этом, как показали исследования японских ученых, горизонтальные перемещения пород (сдвиги), как правило, не сопровождаются образованием таких волн. Резкий вертикальный подъем дна вблизи Аляски в 1946 году (Аляскинское землетрясение) привел к катастрофе вследствие подхода цунами к Гавайским островам, находящимся от эпицентра более чем в 3000 км [5]. В открытом океане длина волны цунами во много раз превосходит все другие морские волны. Расстояние между гребнями для волн цунами может превышать 100 км, однако их высота редко достигает 1 м. Практически в океане при больших глубинах такие волны незаметны. Скорость распространения цунами находится в прямой зависимости от глубины. Математически она определяется выражением 3.3

$$v = \sqrt{gd} , \quad (3.3)$$

где g — ускорение силы тяжести;

d — глубина воды.

Исходя из формулы (3.3), в глубоководных впадинах, где глубина равняется нескольким километрам, скорость перемещения волн цунами достигает сотен километров в час.

Когда цунами подходит к мелководью, на шельфе или у островов

скорость резко падает, одновременно во много раз возрастает амплитуда волны, доходя до 30-40 м и более. При подходе цунами к берегу уровень моря вдоль побережья, обычно, несколько понижается, обнажая подводную часть пляжа, что отмечалось практически по всему побережью Индийского океана 26 декабря 2004 г.

Следует подчеркнуть, что, по некоторым данным, энергия цунами составляет от 1 до 10 % энергии вызывающих их моретрясений. Энергия самых крупных цунами достигает примерно 10^{23} эрг [5]. Установлено, что при моретрясениях величина цунами убывает с увеличением глубины очага. При этом предел магнитуды моретрясения, вызывающей катастрофическое цунами, можно определить по формуле 3.4

$$M = 7.7 + 0.008 h, \quad (3.4)$$

где h — глубина очага землетрясения, км.

3.6. Методы изучения и оценки

Прибором, используемым для записи землетрясений, является *сейсмограф* — колебательная система, фиксирующая сейсмические движения. Принципиальная схема сейсмографа показана на рис. 3.6.

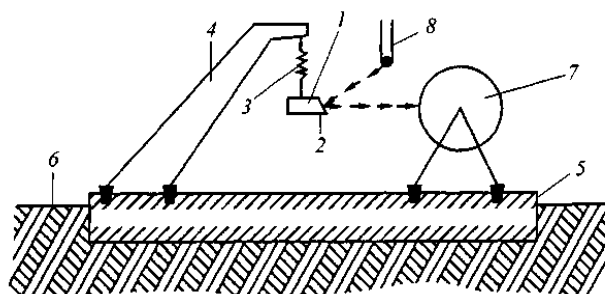


Рис. 3.6. Принципиальная схема работы сейсмографа:
 1 – колеблющийся элемент-маятник; 2 - зеркальце; 3 - пружина; 4 - кронштейн;
 5 - бетонная плита; 6 — грунт; 7 - записывающий барабан; 8 - источник света

Во время сейсмического удара начинает колебаться маятниковое устройство (колеблющийся элемент, закрепленный в грунте) с передачей светового импульса на вращающийся барабан со светочувствительной бумагой, на которой в виде волнистой линии записывается сейсмограмма, фиксирующая прохождение последовательных серий волн различных типов и времени. Сейсмограф регистрирует важнейшие характеристики волн — *амплитуду, длину, период и скорость распространения*.

Среди сейсмографов существует особая группа приборов — *акселерометры*, позволяющая измерять сильные движения. Они вступают в работу только при колебаниях, имеющих большую амплитуду. Цель этих приборов — запись колебаний в области сильных землетрясений, поскольку обычные сейсмографы при первых сильных толчках, как правило, выходят из строя.

В последнее время сейсмометрическая аппаратура существенно усовершенствуется. Появились новые автоматические сейсмостанции с использованием магнитной и цифровой записей на ленту. Разработаны компьютерные программы, позволяющие быстро и точно анализировать полученные данные.

Интенсивность землетрясений оценивается количеством энергии, выделяющейся в области гипоцентра, которую оценивают в эргах и джоулях. Она изменяется от 10^5 при небольших сотрясениях до 10^{20} при катастрофических землетрясениях. Одной из важнейших характеристик является *магнитуда (M)* — условная характеристика энергии землетрясения в его очаге. Она представляет собой логарифм отношения максимальной амплитуды колебаний A (мкм) конкретного участка к амплитуде A' эталонного землетрясения, зарегистрированного с амплитудой 1 мкм на расстоянии 100 км стандартным сейсмографом и может быть опреде-

лена по формуле 3.5

$$M = \lg \frac{A}{A'} = \lg A - \lg A' \quad (3.5)$$

Ч. Рихтером в 1935 г. была предложена стандартная шкала магнитуд, которая является экспоненциальной, охватывая широкий диапазон от 0 до 8.8. При этом энергия землетрясения с $M = 4.0$ больше энергии землетрясения с $M = 3.0$ примерно в 30 раз и т. д.

Для определения *интенсивности* землетрясения на поверхности Земли в баллах в России используют шкалу сейсмической интенсивности С.В. Медведева (MSK-64), основой которой послужила 12-балльная шкала Меркалли – Канкани, применяемая в довоенные годы в Западной Европе. По этой шкале (табл. 3.3) сила землетрясения зависит от величины X_0 , представляющей собой максимальное смещение специально оборудованного сферического маятника сейсмографа.

Таблица 3.3

Сейсмическая шкала MSK-64
по С.В. Медведеву [18] с изменениями

Балл	Интенсивность землетрясения	X_0	α	Внешний эффект
1	Незаметное	-	2.5	Неощутимое
2	Очень слабое	-	2.6-5.0	Едва ощутимое
3	Слабое	-	5.1-10	Ощущается внутри помещений
4	Умеренное	0.5	11-25	Заметное внутри зданий, дребезжание посуды
5	Довольно сильное	0.5-1.0	20-50	Пробуждение. Раскачивание предметов
6	Сильное	1.1-2.0	51-100	Испуг, падают книги
7	Очень сильное	2.1-4.0	101-250	Повреждения зданий
8	Разрушительное.	4.1-8.0	251-500	Испуг, паника. Сильные повреждения зданий

Балл	Интенсивность землетрясения	X_0	α	Внешний эффект
9	Опустошительное	8.1-16	501-1000	Всеобщая паника, всеобщее повреждение зданий
10	Уничтожающее	16.1-32	1001-2500	Всеобщее разрушение зданий
11	Катастрофа	32	2501-5000	Катастрофа
12	Сильная катастрофа	–	>5000	Изменение рельефа

Кроме этого в шкале учитывается и *сейсмическое ускорение*, представляющее собой смещение поверхности земли за единицу времени, мм/с². При синусоидальном гармоническом колебании максимальное ускорение составит согласно 3.6

$$\alpha = A \frac{4\pi^2}{T^2}. \quad (3.6)$$

где A – амплитуда колебаний,

T – период колебаний.

В шкале М5К-64 для характеристики силы землетрясений используются такие признаки, как изменение рельефа, остаточные явления в горных породах, нарушение поверхностных и подземных вод, степень повреждения в зданиях и сооружениях, ощущения людей.

В практике строительства в сейсмических районах в соответствии со СНиПом 11-7-81 наиболее ответственным является диапазон 7-9 баллов шкалы М5К-64, где любое строительство необходимо вести с учетом сейсмичности. Например, жилая застройка на станциях БАМа велась зданиями 122 (Шимановской) серии с учетом сейсмичности до 9 баллов.

Все остаточные деформации земной коры (*сейсмодислокации*) по-

сле землетрясений подразделяют на *сеймотектонические, гравитационно-сеймотектонические* и *сейсмогравитационные*. Они проявляются в виде крупных смещений земной коры, трещин и рвов в коренных породах, а также различных сейсмогравитационных явлений. Так при Гоби-Алтайском землетрясении был приподнят на высоту 10 м и сдвинулся к востоку на величину 8.85 м крупный горный хребет. Сейсмодислокации могут служить критерием определения интенсивности и магнитуды землетрясений. Оценка сейсмичности территории по остаточным деформациям используется при прогнозе возможной максимальной балльности конкретного региона. Очень часто в горных районах с интенсивной ледниковой экзарацией долин, интенсивным размывом ущелий из подпруженных ледниковых озер образуются сходные с сейсмодислокациями формы рельефа. Отличить их по аэрофотоснимкам практически невозможно, поэтому для выявления сейсмодислокаций необходимо одновременное геофизическое и палеогеографическое изучение территории.

3.7. Прогноз землетрясений и методика сейсмического микрорайонирования

Сейсмическую опасность в баллах для района строительства на территории СССР оценивали по картам общего сейсмического районирования территории, которые составлялись, а затем уточнялись: ОСР-37, ОСР – 57, ОСР – 68, ОСР-78. За последние 25 лет произошли значительные изменения в оценке сейсмичности территории России. В частности, при оценке сейсмичности Северной Евразии структурные элементы возникновения очагов землетрясения (лианементы, домены и потенциальные очаги) были классифицированы по максимально возможной магнитуде землетрясения с шагом 0.5 М. Это по-

зволило выделить на данной территории 1066 лианементов и их сегментов с $M \geq 6.0$; 458 доменов с $M \leq 5.5$ и 11 потенциальных очагов с $M = 7 \div 7.5$ [38].

Комплект карт ОСР-97 (А,В,С) позволяет оценивать на трех уровнях степень сейсмической опасности при строительстве объектов трех категорий с учетом ответственности сооружений: карты А – массовое строительство, В и С – объекты повышенной и объекты особой ответственности. Антисейсмические мероприятия необходимы, если вероятность возможного превышения в баллах сейсмической шкалы MSK-64 составляет для карт А – 10 %, карт В – 5 %, карт С – 1 % (или 90 %-, 95 %- или 99 %-ную вероятность непревышения) в течение 50 лет указанных на картах значений сейсмической интенсивности. При этом повторяемость землетрясений максимальной силы по карте А – один раз в 500 лет ($T=500$ лет), В – один раз в 1000 лет, С – один раз в 5000 лет. Пример последней карты приведен на рис. 3.7.

При прогнозе землетрясений наиболее сложным моментом является установление времени землетрясения. Определение местоположения очагов и эпицентра, балльности и даже периода повторения землетрясений можно приближенно количественно установить. Например, для города Иркутска период повторяемости землетрясений (табл. 3.4) составляет

Таблица 3.4

Распределение макросейсмической интенсивности во времени в г. Иркутске [26]

Диапазон интенсивности (баллы)	$I_0 < 5$	$6 > I_0 > 5$	$7 > I_0 > 6$	$I_0 > 7$
Т, лет	≈ 3	≈ 8	≈ 23	80-90

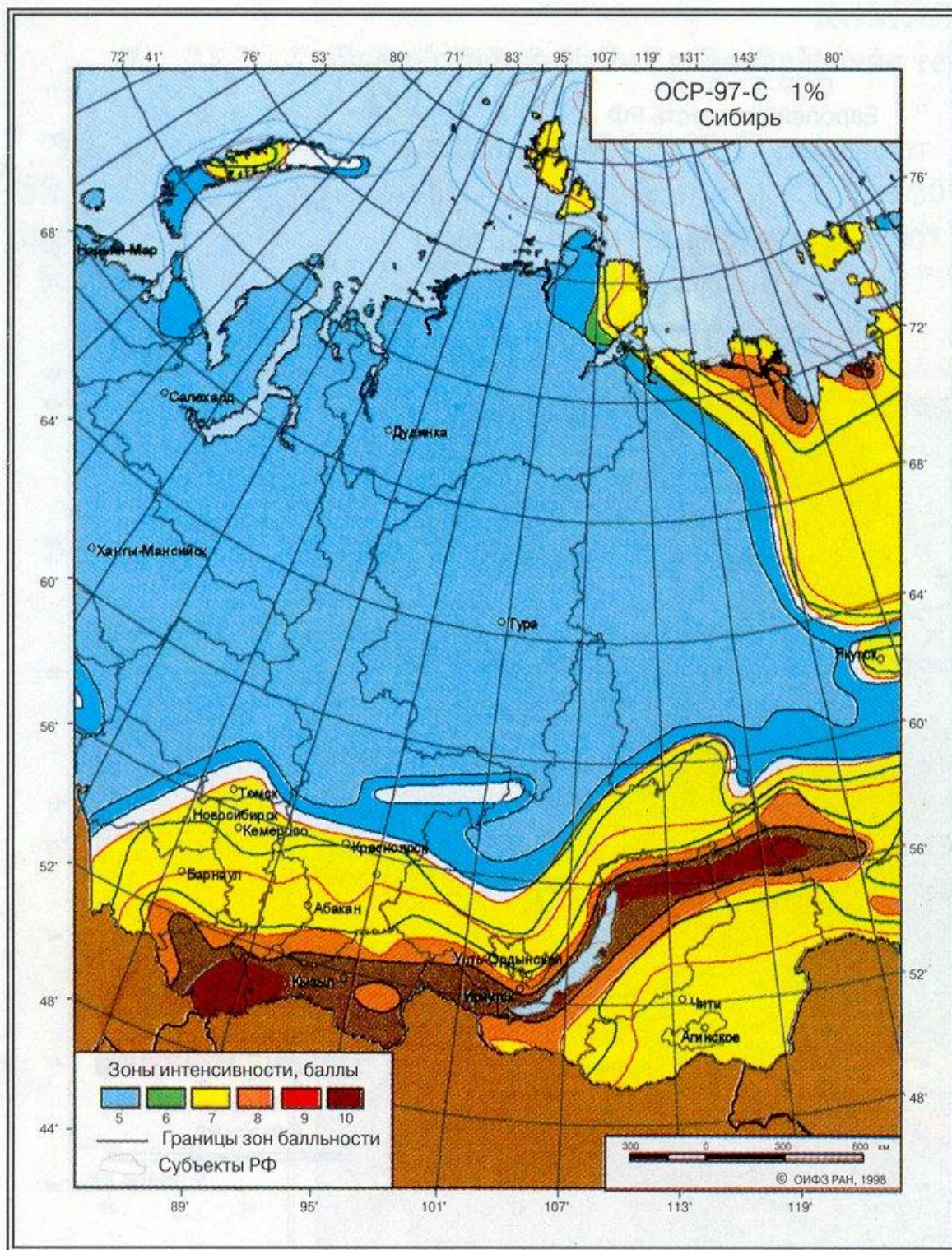


Рис. 3.7. Карта ОСР-97 1 % для территории Сибири (СНиП II-7-81).

Для временного прогноза применяются косвенные признаки и условные приемы.

1. Прогноз повторяемости T сильных землетрясений по наблюдениям за слабыми, путем экстраполяции с использованием методов статистики.

2. Гидрогеологические наблюдения за уровнем режимом, химическим и газовым составом глубоких напорных и минеральных вод (увеличение содержания радона, гелия, изменение температуры).

3. Наблюдения за ростом и перераспределением напряжений и образованием очагов их концентрации предшествующих возникновению глубоких сдвигов в земной коре и землетрясениям в глубоких скважинах.

4. Инструментальные наблюдения в подземных камерах за развитием деформаций и смещений по разломам, наклону блоков пород и др. Подобные наблюдения ведутся во многих районах, где создаются высокие плотины, и на геодинамических полигонах.

5. Наблюдения за геофизическими полями Земли, в том числе и за их изменением при возрастании солнечной активности. Установлено, что перед землетрясением между поверхностью земли и ионосферой меняется электрическое поле, по изменению которого с точностью до 98 %, по данным ученых из Красноярского НПО им. Решетнева [10], можно будет составлять краткосрочные прогнозы. Для этого необходимо развернуть орбитальную группировку из 12 спутников. Это позволит организовать систему раннего оповещения о возможности землетрясения или цунами. Подобная система есть у США для бассейна Тихого океана.

В настоящее время для долгосрочного прогнозирования выполняется экспертная оценка обоснования места, времени и магнитуды

ожидаемого землетрясения; для среднесрочного и краткосрочного прогнозов в нее дополнительно включаются прогноз глубины очага, оценка сейсмического риска. Вероятность ожидаемого события для долгосрочного прогноза должна превышать 0.3, среднесрочного – 0.5, краткосрочного – 0.7 для прогнозируемого интервала времени, соответственно для года, месяца, дня или часа [ГОСТ Р 22.1.06-99].

Для прогнозирования интенсивности землетрясений на конкретной территории обычно используется сейсмическое микрорайонирование. Оно проводится, исходя из общей геологической, тектонической, геоморфологической, мерзлотно-гидрогеологической, геоморфологической и грунтовой обстановки. Сейсмическое микрорайонирование территории начинается с уточнения общей сейсмичности района, с установления связей между интенсивностью, магнитудой, энергетическим классом и глубиной очага в конкретных геологических условиях, с построения карт сейсмической активности, очагов и эпицентров землетрясений, графиков повторяемости и т.д. Оно предполагает, в первую очередь, оценку изменчивости геолого-литологического разреза, разломов и свойств пород на приращение интенсивности землетрясения на разных участках. Для приближенных оценок изменения по сравнению со средними (эталонными) породами используются рекомендации СНиП II-7-81, основанными на типизации и анализе геологического строения территории. С.С. Медведев ("Сейсмическое микрорайонирование", 1977) предложил расчетную эмпирическую формулу

$$\Delta I_o = 1,67 \cdot [\lg(\mathcal{G}_p^3 \cdot \rho^3) - \lg(\mathcal{G}_p^3 \cdot \rho^0)], \quad (3.7)$$

где $\mathcal{G}_p^3, \mathcal{G}_p^0$ – скорости сейсмических волн, км/с, соответственно эталонной и оцениваемой для данного участка пород;

ρ^3, ρ^0 – плотность соответственно эталонной и оцениваемой породы.

Если участок сложен слоистой толщей, то в формулу подставляются средневзвешенные значения ρ^3, ρ^0 .

Приращение интенсивности можно также определить по формуле

$$\Delta I_o = 3,3 \cdot (\lg A_0 - A_3), \quad (3.8)$$

где A_3 и A_0 – максимальные амплитуды колебаний на поверхности пород соответственно эталонного участка и оцениваемого.

Зная свойства пород, можно рассчитывать приращение балльности ΔI_o в зависимости от изменения средней сейсмической жесткости толщ пород $\Delta I_{v_p \cdot \rho}$, глубины залегания грунтовых вод $\Delta I_{УГВ}$ и резонансных явлений в исследуемых породах $\Delta I_{рез}$:

$$\Delta I_o = \Delta I_{v_p \cdot \rho} + \Delta I_{УГВ} + \Delta I_{рез}. \quad (3.9)$$

Сейсмическая жесткость характеризует свойство горных пород сопротивляться распространению возникающих в них деформаций и определяется по формуле

$$v_\rho = v_p \cdot \rho, \quad (3.10)$$

где v_ρ – сейсмическая жесткость;

v_p – скорость распространения продольных волн;

ρ – плотность горных пород.

Характеристика сейсмической жесткости некоторых горных пород и приращение сейсмической балльности представлена в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Характеристика сейсмической жесткости и приращения сейсмической балльности по С.В. Медведеву [18]

Горные породы	Сейсмическая жесткость, ν_ρ	Сейсмическая балльность I_0
1. Скальные	5 - 16.2	0 - 0.8
2. Полускальные	2.4 - 7.2	0.7 - 1
3. Крупнообломочные	1.4 - 4.2	0.9 - 1.3
4. Песчаные	1 - 3.1	1.2 - 1.8
5. Глинистые	1 - 3	1.2 - 2.1
6. Насыпные	0.26 - 0.9	2.3 - 3

Приращение сейсмической балльности наблюдается у водонасыщенных грунтов в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод (табл. 3.6.), при этом повышается скорость продольных волн. Например, у галечников со слабой влажностью $\mathcal{G}_p = 400 \text{ м/с}$, а в водонасыщенных $\mathcal{G}_p^b = 2100 \text{ м/с}$.

Таблица 3.6

Изменение сейсмической балльности от глубины залегания грунтовых вод в мелких песках, супесях и суглинках [18]

Глубина залегания УГВ, м	Сейсмическая балльность, I_0
0-1	1
1-4	0.5
10	0

Оценка категории опасности (риска) землетрясений и цунами принимается в соответствии с СНИП 22-01-95 по табл. 3.7.

Категории опасности сейсмических процессов

Показатели, используемые при оценке степени опасности природного процесса (ОПП)	Категории опасности процессов			
	Чрезвычайно опасные (катастрофические)	Весьма опасные	Опасные	Умеренно опасные
Землетрясения				
Интенсивность, баллы	Более 9	8 - 9	6 – 7	Менее 6
Цунами				
Продолжительность проявления, ч	2	6-7	7-48	48-60
Скорость, км/ч	700	200-500	20-200	10-20
Повторяемость, ед. в год	0,001-0,01	0,01-0,02	0,02-0,05	0,05-0,1

3.8. Возбужденная сейсмичность

Разные виды строительной и хозяйственной деятельности воздействуют на напряженно-деформированное состояние и на сейсмичность верхней части земной коры, к ним относятся :

- создание в горно-сейсмических областях глубоких водохранилищ с большими объемами воды (до нескольких десятков и даже 200 км³);
- извлечение, со снижением пластового давления, подземных вод, нефти и газов в больших количествах (до 0,9 млн м³/сут подземных вод в Москве и т.д.);
- закачивание под высокими давлениями на большие глубины

промышленных стоков и вод при разработке нефтяных месторождений;

– производство мощных взрывов - подземных и на поверхности земли для создания емкостей, камер, карьеров, выемок, планировки поверхности с применением атомных зарядов и ВВ, с энергией, превышающей 7-8 балльные землетрясения. В отличие от землетрясений потенциальную энергию взрывов можно оценить, так как для большинства взрывчатых веществ она составляет $4\div 6 \cdot 10^6$ Дж/кг.

Для проявления возбужденной сейсмичности необходимо также высокое напряженно-деформированное состояние пород близкое к критическому, при котором техногенное воздействие вызывает разрядку напряжений [11]. Такие спровоцированные толчки в большинстве снимают напряжение в земной коре и снижают сейсмический риск.

3.9. Строительство в сейсмических районах

Любой вид строительства в сейсмических районах требует детального сейсмического микрорайонирования и правильной компоновки на выбранной территории. На площадках, сейсмичность которых превышает 9 баллов, возводить здания и сооружения, как правило, не допускается.

Расчет конструкций и оснований зданий и сооружений, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться в соответствии со СНиП II-7-81.

Расчетная сейсмическая нагрузка S_{ik} в выбранном направлении, приложенная к точке k и соответствующая i -му тону собственных колебаний зданий или сооружений (кроме гидротехнических сооруже-

ний), определяется по формуле

$$S_{ik} = K_I S_{oik}, \quad (3.11.)$$

где K_I – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений, изменяющийся от 0.12 до 1;

S_{oik} – значение сейсмической нагрузки для i -го тона собственных колебаний здания или сооружения, определяемое в предположении упругого деформирования конструкций по формуле

$$S_{oik} = Q_k A \beta_i K_\psi \eta_{ik}, \quad (3.12.)$$

где Q_k – вес здания или сооружения, отнесенный к точке k , определяемый с учетом расчетных нагрузок на конструкции;

A – сейсмический коэффициент или коэффициент сотрясаемости, значения которого следует принимать равными 0,1; 0,2; 0,4 соответственно для расчетной сейсмичности 7, 8, 9 баллов;

β_i – коэффициент динамичности, соответствующий i -му тону собственных колебаний зданий или сооружений, изменяющийся от 0.8 до 3;

K_ψ – коэффициент, характеризующий конструкцию сооружения, (от 1 до 1.5);

η_{ik} – коэффициент, зависящий от формы деформации здания при его собственных колебаниях по i -му тону и от места расположения нагрузки, определяемый формуле, приведенной в СНиПе II-7-81.

Для зданий повышенной этажности глубину заложения фундаментов рекомендуется увеличивать. Расчет оснований зданий и сооружений ведется с учетом сейсмических воздействий по первому предельному состоянию, т.е. по несущей способности. Это обеспечивает прочность и устойчивость фундамента, и недопущение его сдвига

по подошве и опрокидывания. Расчет оснований по несущей способности выполняется по условию 3.13

$$N_{\sigma} = \frac{m_c}{k_n} \Phi, \quad (3.13)$$

где N_{σ} – нормальная составляющая нагрузки;

Φ – несущая способность горных пород основания;

k_c – коэффициент надежности, принимаемый равным не менее 1.5;

m_c – сейсмический коэффициент условий работы, принимаемый: для скальных, крупнообломочных, песчаных и глинистых грунтов равным 1.2; для водонасыщенных песков и глинистых грунтов неустойчивой консистенции – 0.7; для всех остальных пород – равным 1.0.

Для повышения устойчивости зданий возможно применение специальных систем активной сейсмозащиты, которые делятся на четыре группы [13]:

1. Системы, реализующие принципы сейсмоизоляции.
2. Адаптивные системы с изменяющимися характеристиками.
3. Системы с повышенным демпферированием.
4. Системы с гасителями колебаний.

Эти системы активной сейсмозащиты наиболее активно реализуются в Японии, где вероятность землетрясений весьма высока и в других странах при создании ответственных сооружений. Следует отметить значительное удорожание строительства при создании сейсмостойких сооружений.

Контрольные вопросы

1. Назовите цели и задачи сейсмического микрорайонирования.
2. Каковы причины возникновения "возбужденной сейсмичности"?
3. Для каких целей изучаются неотектонические и современные тектонические движения?
4. Что такое класс, энергия, магнитуда землетрясения?
5. Какие существуют методы прогноза землетрясений?
6. Причины возникновения землетрясений и их предвестники.
7. Что такое фокус, эпицентр, плейстосейстова область?
8. Какими показателями оценивается интенсивность землетрясений?

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника / С.И. Шерман, К.Г. Леви, В.В. Ружич [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1984. – 208 с.
3. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмология и сейсмическое районирование / В.П. Солоненко, В.В. Николаев, Р.М. Семенов [и др.]. - Новосибирск: Наука, 1985. – 192 с.
4. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. - Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
5. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 416 с.
6. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений: пер. с английского / Т. Рикитаке. – М.: Мир, 1979. – 390 с.

Глава 4. ВЫВЕТРИВАНИЕ

4.1. Понятие процесса и задачи изучения

Выветривание – комплекс физических, физико-химических и биохимических процессов, изменяющих состав, состояние и свойства исходных (материнских) горных пород в верхней части земной коры под влиянием следующих факторов (агентов): колебаний температуры, подземных вод, содержащих кислород, углекислый и другие газы, почвенных кислот, деятельности организмов и техногенеза. Синонимом понятия выветривания является **гипергенез** [23], а комплекс эпигенетических процессов, приводящих к изменениям пород и минералов в коре выветривания, называется **гипергенными** процессами.

Процессы выветривания, разрушая горные породы, формируют новый генетический тип континентальных отложений – элювий (от лат. eluvio – вымывать). Это не испытавший механического смещения продукт выветривания разного возраста, фаций и условий залегания (*ортоэлювий* – формируется на магматических и метаморфических породах, *параэлювий* – на осадочных морских и *неоэлювий* на континентальных породах). Состав и мощность элювия определяется как составом исходных пород, и природно-климатическими условиями, так и временем его накопления. Очень часто граница между элювием и материнской породой нечеткая, с карманами сапролитов. Корой выветривания является не только элювий, но и переотложенный выветрелый материал, в связи с чем выделяются остаточные и аккумулятивные коры [43]. Следует различать современные и древние коры выветривания. Формирование первых связано с современными климатическими условиями, вторых – с палеоклиматическими.

Древние коры могут залегать как с поверхности, так и на значительных глубинах.

Основными задачами при изучения выветривания в инженерно-геологических целях являются следующие:

1) установление строения и закономерностей распространения зон и горизонтов выветривания в разных породах и в тектонических разрывах, на различных геоморфологических элементах и в микроклиматических условиях;

2) обоснование возраста элювия и характеристика скоростей процессов выветривания в сопоставлении с интенсивностью процессов сноса в разных породах и условиях, а также оценка изменения свойств и состояния пород во времени под их влиянием;

3) установление внешних признаков и классификационных показателей состояния и свойств пород с разной степенью выветрелости и выявление корреляционных связей с геофизическими характеристиками, в первую очередь со скоростью упругих волн, v_p ;

4) разработка региональной схемы расчленения коры выветривания на зоны и горизонты с характеристикой (классификацией) физико-механических и фильтрационных свойств пород;

5) выявление приуроченности оползней, обвалов, осыпей, курумов разных типов и объемов к зонам выветривания различного возраста, строения и мощности;

6) оценка пород разной выветрелости в отношении сопротивления их эрозионному и абразионному размыву, развитию процессов выщелачивания и карста, осыпанию, оплыванию и устойчивости в обнаженных откосах и склонах;

7) оценка деформационных свойств различно выветрелых пород для определения глубины их съема в основании сооружений или для

выбора мер по укреплению методами анкерования, технической мелиорации и др.;

8) установление возможности использования различно выветрелых пород в качестве строительных материалов для возведения земляных сооружений (дамб, плотин, насыпей и др.), для создания противодиффузионных экранов и определения эффективных способов их разработки в котлованах и карьерах.

4.2. Закономерности распространения и агенты выветривания

По характеру процессов, происходящих в породах, и действующим агентам различают следующие основные виды выветривания: физическое, химическое и биологическое. Последний вид выветривания – **биологическое** распространено повсеместно, хотя в самостоятельный выделяется редко, и рассматривается совместно либо с физическим, либо с химическим. Наиболее интенсивно оно проявляется в мягком климате. Поэтому обычно выделяют два типа кор выветривания – физические и химические, значительно различающихся по своему составу, строению, физико-механическим свойствам.

Интенсивность действия агентов выветривания определяется широтной зональностью и высотной поясностью. Можно выделить четыре укрупненных подразделения климата [33], в которых происходит выветривание горных пород: тропический, аридный, умеренный и арктический. Л.А. Ярг [44] предложил такое понятие, как термовлажностный климатический тип (ТМК), определяемый по отношению количества атмосферных осадков к величине испарения. Для аридного климатического пояса эта величина составляет < 1 , для суб-

арктического – 1.1-1.4, для умеренного 2.2-3.3, для субтропического до 4.2-4.3.

Процесс выветривания, в зависимости от климатических условий, имеет следующие стадии развития коры выветривания:

1) стадия обломочной коры выветривания. В результате главным образом физических процессов в районах с умеренным и арктическим климатом формируются обломочные породы. Обломочный элювий широко развит в молодых горных странах и областях с сезонным и многолетним промерзанием и оттаиванием горных пород. В условиях Арктики, жарких пустынь он может существовать неопределенно долго [43];

2) стадия обызвесткованной или насыщенной силикатной коры выветривания характеризуется удалением в процессе гидролиза серы и хлора и сопровождается гидратацией минералов и окислением сернистых соединений. Возможно накопление в коре выветривания кальция в виде CaCO_3 с последующим образованием вторичных минералов – гидрослюда и монтмориллонита. Коры такого типа встречаются в условиях сухого континентального (аридного) климата;

3) стадия остаточной кислой, или ненасыщенной коры выветривания наблюдается в районах, где в результате большого количества осадков и высоких температур происходит интенсивное выщелачивание горных пород и накопление минералов группы каолинита. Эта и последующая стадии наблюдаются в субтропических и тропических областях;

4) стадия аллитной коры выветривания является конечной в процессе выветривания. Удаляется SiO_2 , накапливаются Al_2O_3 и гидроокислы железа – формируются латериты.

Величина температуры и количество атмосферных осадков, зависящие от широтной зональности и высотной поясности, определя-

ют возможность или невозможность формирования коры выветривания полного профиля.

Температура на поверхности Земли подвержена суточным, сезонным, годовым и вековым колебаниям. Амплитуда суточных и сезонных колебаний сравнительно невелика. Вековые же колебания температуры связаны с длительными изменениями климатических условий. Такие колебания происходят при материковых оледенениях, трансгрессии моря и т.д. Они приводят к коренным изменениям свойств и состояния пород при их промерзании или оттаивании. Колебания температуры сказываются прежде всего на скорости химических процессов. При повышении температуры на 10°C она удваивается или утраивается.

Температура влияет на растворимость газов: чем меньше температура, тем больше растворимость газов в воде. Так, например, растворимость CO_2 при 20 и 45°C уменьшается соответственно в 2 и 4 раза по сравнению с 0°C .

Колебания температуры вызывают изменения объема минералов, вызывая дезинтеграцию пород и их разрушение, особенно при переходе температуры через 0°C и образовании льда. С глубиной амплитуда колебаний температур уменьшается, и ниже глубины вековых колебаний имеет нулевое значение.

Подземные воды как универсальный растворитель является одним из активнейших агентов выветривания. Кроме того, их присутствие усиливает, а иногда и полностью обуславливает действие других агентов выветривания - кислорода и углекислоты. Передвигаясь в породах, вода вызывает разнообразные механические, физические и химические явления и реакции, приводящие к разрушению и изменению горных пород.

Действие воды на породы выражается главным образом в гидратации, гидролизе, растворении и механическом разрушении.

4.3. Механизмы выветривания

Физическое выветривание выражается в непосредственном раздроблении и разрушении породы, которое влечет за собой уменьшение ее прочности, устойчивости в откосах и увеличение водопроницаемости. Образующийся обломочный материал при физическом выветривании сохраняет минеральный состав коренных пород.

Основными факторами (агентами), обуславливающими физическое выветривание, являются сезонные колебания температуры и связанное с этим оттаивание и замерзание пород и воды в них; увлажнение и высыхание пород; механическое воздействие ветра; размывающая деятельность поверхностных вод; хозяйственная деятельность человека; накопление солей и других минералов, деятельность животных и растений. При прочих равных условиях интенсивность выветривания определяется генезисом горных пород, тектоническими условиями, трещиноватостью и структурно-текстурными особенностями.

Особенно интенсивно физическое выветривание протекает в случае циклического замораживания-оттаивания водонасыщенных пород, которое особенно интенсивно протекает в районах с резко континентальным климатом (Забайкалье, Саяны и др.), где число циклов в год на поверхности (рис. 4.1) достигает 70-120.

Это связано с тем, что объем воды при замерзании увеличивается на 9 %. В условиях закрытой системы при замерзании давление воды может достигать (по расчетным данным) 2000 МПа и является главным фактором разрушения водонасыщенных пород в результате резкого повышения давления воды в геологических системах при их промерзании.

Результаты исследований автора, выполненные в Читинской лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН, показали, что скорость разруше-

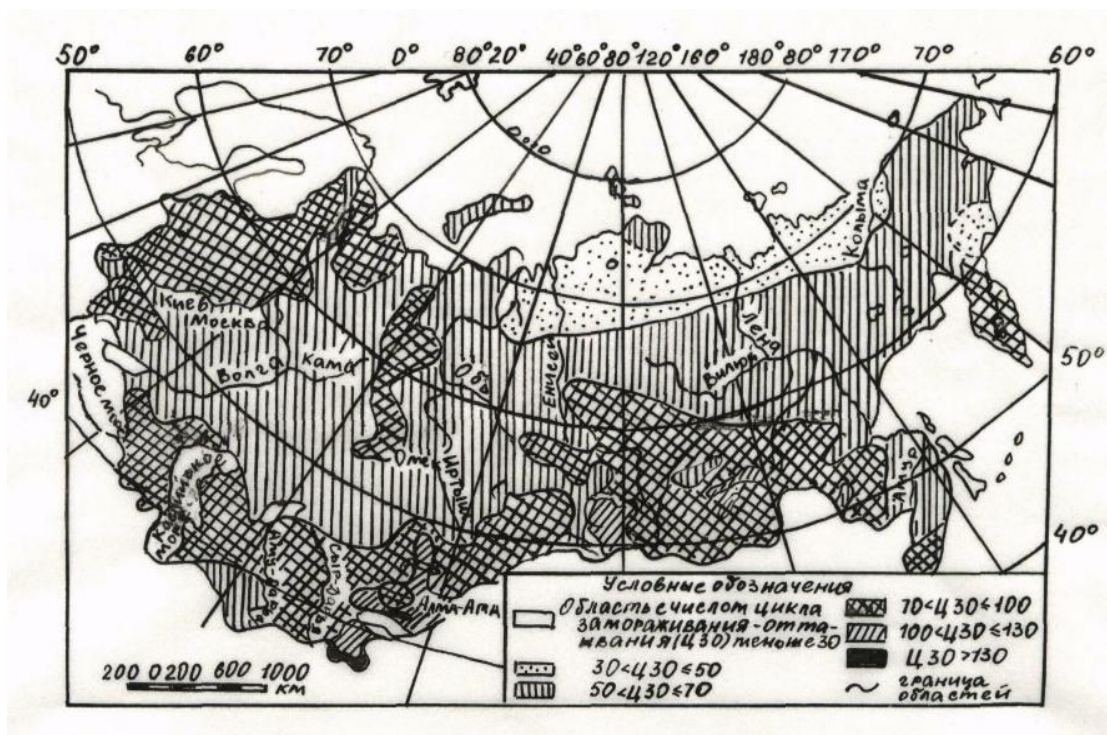


Рис. 4.1. Схема районирования территории бывшего СССР по числу ЦЗО (N) за один год на поверхности почвы по О. К. Воронкову, Л. Ф. Ушаковой и др. [28]

шения образцов в результате циклического замораживания – оттаивания в ходе криогенеза убывает в ряду (AP) аэральные условия (образец предварительно водонасыщен, но замораживается в аэральных условиях) → (AK) аквальные условия (образец перед замораживанием полностью погружен в воду) → (ТУ) метод теплового удара (нивальные условия – охлажденные до $-20 \div -30$ °С породы заливаются водой с температурой $+1 \div 2$ °С и замораживаются) в соотношении примерно как 1(AP):10(AK):20(TУ). Для кварцитовидных метатморфизованных песчаников Намингинской свиты скорость криогенного выветривания составила в мм/г.: 0.074 (AP) → 0.714 (AK) → 1.482 (ТУ) [42].

С глубиной число циклов замораживания-оттаивания N с глубиной убывает, что видно из графика представленного на рис. 4.2.

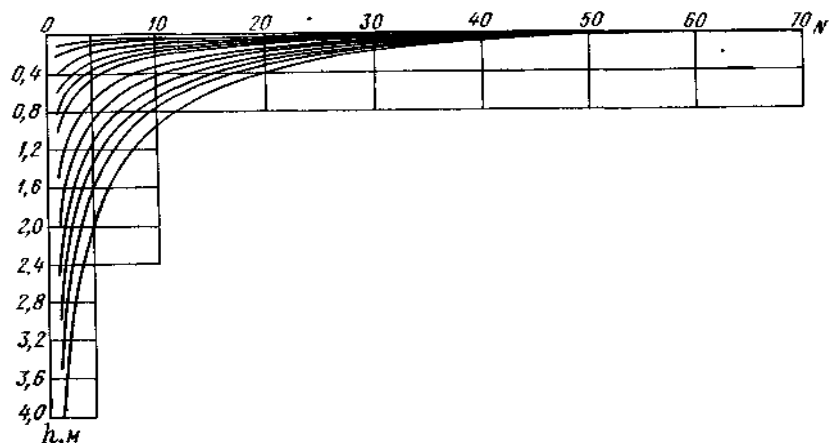
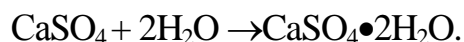


Рис. 4.2. Изменение числа ЦЗО с глубиной для районов со среднегодовым числом $N_{\text{ср. год}} = 70$ [28]

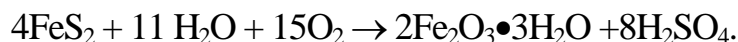
Химическое выветривание протекает за счет процессов гидратации, гидролиза, окисления, карбонатизации и др., взаимодействия и выпадения в осадок продуктов разложения минералов в виде окислов, гидроокислов и простых солей, устойчивых в коре выветривания, и, наконец, в растворении и выносе простых солей кальция, магния, натрия и калия. Эти процессы в большинстве случаев вызывают ослабление прочности пород, разрушают их, и лишь процессы отложения солей железа, кремневой кислоты и других приводят к увеличению прочности вследствие цементации. Процесс химического выветривания имеет большую зависимость от скорости денудации. Если темпы смыва опережают, то процесс полностью не развивается и химическое выветривание останавливается на щелочной стадии не переходя в кислую. Напомним, как происходят некоторые процессы при химическом выветривании

Гидратация – поглощение породой воды. Может происходить как без изменения минералогического состава, так и с образованием новых минералов. Характерной реакцией первого типа является поглощение воды

породой коллоидными и глинистыми частицами (монтмориллонит). Примером реакции второго типа является образование гипса из ангидрита



Гидролиз – реакция расщепления солей с выделением кислоты под влиянием воды. Например, окисление сульфидов с образованием лимонита и выделением свободной серной кислоты



Гидролиз разрушает атомную структуру кристаллических минералов, особенно силикатов, благодаря действию воды и растворенных в ней ионов HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Эти ионы могут замещать атомы в кристаллах или реагировать с ними, нарушая первичную структуру, например:



ортоклаз

каолинит

кремнезем

Растворение связано с гидролизом и заключается в переходе твердого вещества породы в водный раствор, если она содержит воднорастворимые соли и вода не насыщена соответствующей солью.

Карбонатизация – накопление карбонатных солей ниже дневной поверхности в засушливых районах также оказывает разрушающее действие, подобное действию ледяных клиньев.

Сочетание высокой температуры и влажности, например во Вьетнаме, где количество осадков на высотах более 1500 м составляет 4880 мм, а среднегодовая температура превышает 20 °С, обуславливает возрастание гидролиза силикатов в 4 раза, выщелачивание горных пород и разложение растительного опада в 5 раз, по сравнению с умеренными широтами. Двигающаяся на поверхности вода оказывает механическое воздействие на породы – размывает их, раздробляет, измельчает, окатывает обломки и обеспечи-

вает постоянный снос выветрелого материала, облегчая доступ агентов выветривания к горным породам.

Биологическое выветривание – это разрушение пород в процессе жизнедеятельности: 1) высших зеленых растений, синтезирующих органическое вещество; 2) беспозвоночных и позвоночных животных, питающихся готовым органическим веществом; растений; 3) микроорганизмов (бактерий), способных питаться органическим веществом, или образовывать его из неорганического. Имеются сведения, что содержание микроорганизмов достигает 10^8 клеток в 1 г воздушно-сухого грунта, и прослеживаются они до глубины как минимум 800 м [37]. В подземных водах бактерии обнаружены на глубинах до нескольких тысяч метров и их количество изменяется от десятков тысяч до 1 млн клеток в 1 мл. Наиболее часто встречаются аэробные, анаэробные, авто- и гетеротрофные, сульфаторедуцирующие, тионовые и метанообразующие бактерии.

4.4. Трещиноватость массива горных пород как фактор выветривания

В инженерно-геологическом отношении трещиноватость горных пород важна как фактор, определяющий: 1) возможность доступа агентов выветривания; 2) водо- и газпроницаемость пород; 3) прочность и деформируемость массива; 3) развитие опасных для сооружений геологических и инженерно-геологических процессов (обвалов, оползней и др.).

Генезис трещин может быть различен, но, вне зависимости от этого, являясь входами в геосистемы, они вместе с пустотами обеспечивают доступ агентов выветривания и вынос его продуктов. При ин-

женерно-геологическом классифицировании трещин используются следующие признаки [11]: а) генезис трещин (табл. 4.1); б) возраст и последовательность образования, ориентировка, протяженность и ширина (табл. 4.2); г) интенсивность трещиноватости; д) характер поверхности стенок (табл. 4.3); е) заполнитель трещин. По составу заполнителя различают: А) тектонические брекчии в зонах разломов; Б) минеральные образования; В) продукты выветривания; Г) накопления вымывания. Состав и сложение заполнителя влияют на залечивание трещин и укрепление массива.

Таблица 4.1

Схема инженерно-геологической классификации трещин [11]

Группы трещин	Генетические типы трещин	Характерные черты
Остывания или контракционные (первичной отдельности)	в интрузивных породах	Обычно волосные и узкие, протяженные, закономерно ориентированные в трех направлениях
	в эффузивных породах	Преобладают широкие трещины
Литогенетические или напластования	усадки в илах, такырах;	Возникают при высыхании, разной ширины, нередко образуют шестигранные отдельности.
	напластования и объемного уплотнения в литифицированных толщах глинистых пород	Микро- и волосные трещины обнаруживаются при разуплотнении и выветривании
Тектонические (эндогенные)	Разломы: глубинные, региональные и локальные и их сочетания Разрывы	Протяженность измеряется десятками и сотнями километров, ширина многие сотни метров Разного характера, с дроблением и смятием пород, шириной многие метры и десятки метров различного заполнения, обычно вторично измененного; сопровождаются оперяющими трещинами

Продолжение табл. 4.1

Группы трещин	Генетические типы трещин	Характерные черты
Тектонические (эндогенные)	<p>Зоны трещин</p> <p>Трещины, образованные:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) при сдвигах и сколах; б) при сжатии (давлении); в) при растяжении (разрыве); г) при развальцевании и скручивании 	<p>Обычно шириной несколько метров, чаще 1-2 м; заполнены разным материалом; прерывистые; преобладают микро-, волосные, узкие и средние трещины, прерывистые и закономерного простирания; для каждой генерации характерны две основные системы и третья менее четко выраженная; открытые и различно выполненные</p>
Экзогенные; обычно наложены на другие типы трещин	<p>Нетектонического давления – при гидратации ангидритов и других пород, от веса ледяного покрова и т.п.</p> <p>Разгрузки (разуплотнения) естественного-напряженного массива пород, в том числе бортового отпора</p> <p>Выветривания</p> <p>Мерзлотные (температурного напряжения)</p> <p>Оползневые</p> <ul style="list-style-type: none"> а) детрузивные (выдавливания), б) разрыва и бортового сдвига, в) зоны скольжения (перемятия) <p>Сдвигения при обрушении кровли над карстовыми пустотами</p>	<p>Локальное распространение без четкой ориентации, узкие и волосные</p> <p>Обычно наложены на тектонические и первичные, проявляются при эрозионном расчленении</p> <p>Разного характера, выполнения и ориентации в различных горизонтах выветривания</p> <p>Связаны</p> <ul style="list-style-type: none"> А) с переменным оттаиванием и замерзанием пород, температурным сжатием; Б) с буграми пучения, наледями и другими мерзлотно-геологическими явлениями, создающими локальные очаги давлений <p>Разной длины и ширины: приурочены к различным частям оползневого массива; отражают характер распределения напряжений при развитии и движении оползня</p> <p>В плане обычно концентрические, широкие</p>

Группы трещин	Генетические типы трещин	Характерные черты
Экзогенные; обычно наложены на другие типы трещин	Просадочные в лессах и пепловых туфах Суффозионные	Распространение, размер и количество определяется масштабами просадочных явлений и мощностью Обычно наложены на тектонические или лито-генетические, трещины неравномерно расширяя их по простиранию,
Техногенные	Разгрузки: А) в откосах карьеров и котлованов; Б) вокруг подземных выработок; Г) взрыва (сотрясения) Сдвигения – при обрушении кровли подземных выработок Искусственно измененные (закрепленные природные трещины)	Простирание и ширина зависят от размеров и ориентировки бортов карьеров, а также первичным напряженным состоянием и строением массива пород. Распространение характер и ширина зависят от пород, глубины оюрушения и др. Цементация, силикатизация, глинизация, обжиг и др. методы технической мелиорации

Таблица 4.2

Градация трещин по ширине [20]

Наименование	Характеристика
Микротрещины	Шириной до 0.1 мм; их число можно измерит в шлифе большого размера и они частично влияют на механическую прочность и деформируемость пород.
Волосные (тонкие)	Шириной 0.1 - 1 мм; видимые на глаз, обычно закрытые, значительно отражаются на механических свойствах пород и процессах разгрузки.
Узкие (шириной 1 – 5 м)	Открытые или заполненные, влияющие на напряженное состояние пород, механические, фильтрационные свойства массива, на развитие геологических процессов
Средние (шириной 5–20 мм)	
Широкие (шириной 20 – 100 мм)	
Очень широкие (шириной 100–500 мм)	"Рвы отседания" и др.

Градация трещин по шероховатости [20]

Характер поверхности	Высота выступов
Гладкие	Высота бугорков до 0.1 мм
Шероховатые	Высота бугорков до 1 мм
Бугристые	Высота бугорков до 10 мм
Неровные	Ступенчатый характер поверхности

По коэффициенту трещинной пустотности (отношение общей площади трещин к площади изученной поверхности в процентах) породы разделяются на слаботрещиноватые $K_{тр} < 2 \%$, среднетрещиноватые $K_{тр} = 2-5 \%$, сильнотрещиноватые $K_{тр} = 5-10 \%$ и весьма сильно-трещиноватые $K_{тр} > 10 \%$.

4.5. Схемы расчленения кор выветривания, методика изучения и оценки свойств пород

Предложено несколько схем инженерно-геологического расчленения коры выветривания Н.В Коломенского [14], Е.М. Сергеева [33], Л.А. Ярга [43], Г.С. Золотарева [11] и др., различия которых в известной степени связаны с особенностями изучаемых комплексов пород, климатом района и спецификой исследований. В вертикальном разрезе коры выветривания практически все исследователи выделяют от 3 до 5 зон. Например, в схеме Н.В. Коломенского [14] выделяются снизу вверх: I) монолитная зона; II) глыбовая зона; III) зернистая или мелкообломочная зона; IV) зона тонкого дробления.

В настоящее время широкое распространение получила схема Г.С. Золотарева [11] инженерно-геологического расчленения коры выветривания, представленная на рис. 4.3, согласно которой сверху вниз по разрезу выделяются: I – верхняя "дисперсная"; II – средняя "обломочная" и III – нижняя "трещинная" зоны

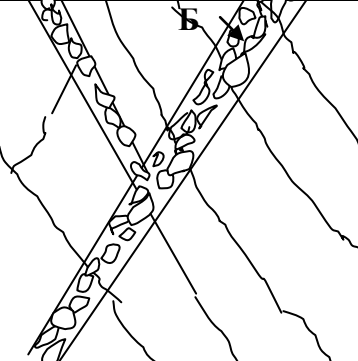
Названия и индексы зон выветривания	Характерные особенности	Принципиальный разрез
"Дисперсная" полного химического преобразования исходных пород	Глины, суглинки, супеси в основании с редкой щебенкой, выщелоченные и ожелезненные, карбонатизированные и т.д. Возможно расчленение на 2-3 горизонта. Слабо изучена в инженерном отношении	
"Обломочная" Преобладание физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород	По степени раздробления и химического разложения, количеству минеральных новообразований и физико-механическим свойствам подразделяются на 4 горизонта, обозначенные "А", "Б", "В" и "Г"	
"Трещинная" Раздробление массива и начало разложения пород по крупным трещинам и тектоническим зонам	Проявление на значительных глубинах. Возможно образование зон выветривания малой толщины вдоль основной трещины	

Рис. 4.3. Принципиальная схема инженерно-геологического расчленения коры выветривания [по Г.С. Золотареву, 1983]

Д и с п е р с н а я зона выветривания характеризуется практически полным преобразованием минерального состава, текстуры и

свойств исходных пород, в зависимости от которых и от климатических факторов преобладают различные вторичные минералы, выносятся или накапливаются гипс, карбонаты, окислы железа и др. По сложению, механическим свойствам, размываемости и водопроницаемости глинистые образования **дисперсной зоны** выветривания являются относительно однородными и обычно целесообразно их подразделение на два инженерно-геологических горизонта, в зависимости от наличия мелкой дресвы, плотности и увлажнения. Эта зона характеризуется большими амплитудами колебаний суточных температур и влажности, процессами почвообразования и биологического выветривания. Глинистые породы дисперсной зоны выветривания легко размываются и оползают.

Для **обломочной зоны** характерны процессы физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород. Она имеет сложное строение, и для нее типичны по разрезу весьма значительные изменения (до десятков раз) прочности, деформируемости и др. В этой зоне возможны значительные колебания годовых амплитуд температур и влажности. Здесь развиты процессы окисления, гидратации и выщелачивания.

Трещинная зона выветривания разнообразна по своему характеру, распространению в массиве и др. особенностям, зависящим от исходных пород, интенсивности и размеров тектонических трещин и разломов, эрозионной расчлененности, разгрузки естественных напряжений, состава и движения подземных вод. Это зона практически нулевых годовых амплитуд колебаний температуры и влажности, но здесь возможны вековые колебания этих характеристик. Выветривание в тектонических разломах протекает на значительно большие глубины, чем в нормальном трещиноватом массиве; вдоль разломов в породах формируются свои зоны экзогенного физического и химического изменения. Таким образом,

мощность современной коры выветривания может достигать 10-25 м, что зависит от климатических условий, а в тектонических зонах до 100 и более метров.

Признаки выветрелости горных пород в каждой из зон могут быть количественными и качественными.

Количественные показатели определяются в лабораторных условиях по стандартным методикам. К ним относятся: гранулометрический состав, влажность, плотность, скорость прохождения упругих волн, прочность на одноосное сжатие, морозостойкость и другие. В частности, для оценки изменения прочности пород на одноосное сжатие возможно использование двух методов – косвенного с использованием скорости прохождения упругих волн и непосредственного испытания на гидравлическом прессе. Схема экспериментальной установки для выполнения этих испытаний, разработанная с участием автора в Читинской лаборатории Института мерзлотоведения СО РАН, приведена на рис. 4.4.

Качественными показателями являются трещиноватость, раздробленность пород, изменение облика и плотности сложения породы, вследствие ожелезнения и выщелачивания, новообразование минералов, образование гумуса. Характеристика качественных показателей дается непосредственно при документации обнажений, горных выработок, керна скважин.

Чем меньше выветрелость породы, тем выше ее прочностные характеристики и тем выше скорости прохождения продольных (v_p) ультразвуковых волн. В то же время существенное влияние на скорость прохождения волн и показатель прочности (R_c) оказывает состояние пород.

Так для Колымских гранитов в сухом, водонасыщенном и льдонасыщенном состоянии эти характеристики представлены в табл. 4.4

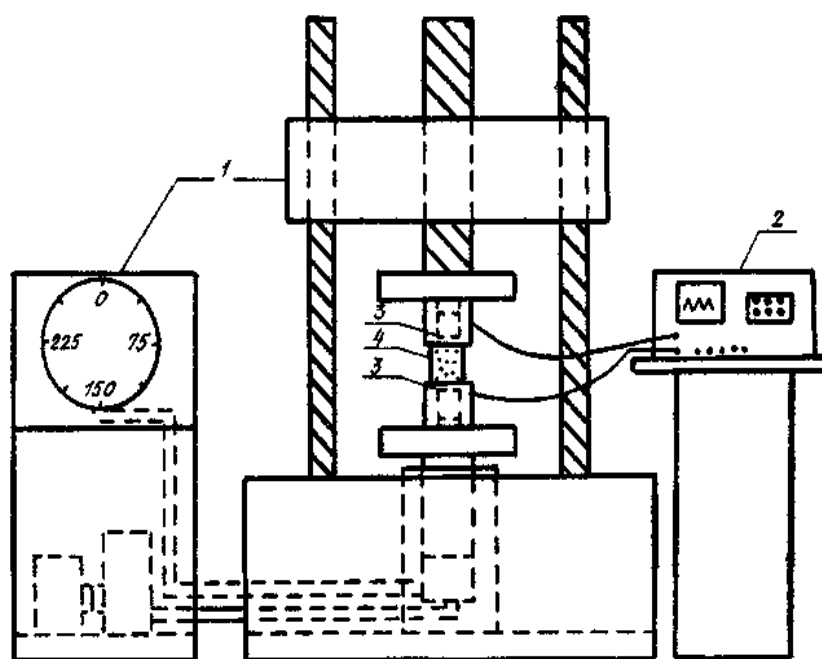


Рис. 4.4. Установка для определения прочности на одноосное сжатие и скоростей продольных ультразвуковых волн [42].

Цифры: 1 – гидравлический пресс ПСУ-250, 2 – прибор для ультразвуковых исследований УК-10П, 3 – металлические обоймы с установленными в них сейсмическими датчиками, 4 – испытуемый образец

Таблица 4.4

Значение скоростей упругих волн и прочности на одноосное сжатие в зависимости от состояния породы [28]

Скорости прохождения продольных волн			Прочность
v_p (сухое состояние), км/с	v_p (водонасыщенное состояние), км/с	v_p (мерзлое состояние), км/с	R_c , МПа
1.5 – 2.0	2.35 – 3.0	4.47 – 4.92	40 – 60
2.0 – 2.5	3.0 - 3.55	4.92 – 5.2	60 – 80
2.5 – 3.0	3.55 – 4.05	5.2 – 5.42	80 – 100
3.0 – 3.4	4.05 – 4.4	5.42 – 5.56	100 – 180
3.5 и более	4.5 и более	5.57 и более	более 200

К числу показателей, которые характеризуют выветрелость и можно определить косвенным (сейсмоакустическим) методом, относится динамический модуль упругости E_d , который рассчитывается по формуле 4.1.

$$E_d = \frac{v_p^2 \cdot \rho \cdot (1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}{1 - \mu}, \quad (4.1)$$

где v_p – скорости прохождения продольных волн, м/с;

ρ – плотность породы (базальты $\rho = 2850$, гнейсы $\rho = 2650$, известняки $\rho = 2750$ и т.д.), кг/м³;

E_d – динамический модуль упругости, Па;

μ – коэффициент Пуассона, значение которого для скальных пород варьирует от 0.03 до 0.3.

Статический модуль упругости (при $2 \cdot 10^3 < E_o < 13 \cdot 10^4$, МПа) можно найти по формуле

$$E_c = 0.135 \cdot E_o^{1.141}. \quad (4.2)$$

Модуль общей деформации E_o находится по следующим формулам для интрузивных и метаморфических: $\lg E_o = -1.45 + 1.28 \lg E_d$; для эффузивных: $\lg E_o = -0.75 + 1.14 \lg E_d$; для осадочных скальных: $\lg E_o = -1.5 + 1.126 \lg E_d$.

Общую пористость сухих скальных пород можно определять по формуле

$$n = \left(\frac{v_m}{v_p} - 1 \right) \cdot \left(\frac{v_m}{v_z} - 1 \right)^{-1}, \quad (4.3)$$

где v_m – скорость продольных волн в твердой (минеральной) части породы;

v_z – скорость продольных волн в заполнителе пор ≈ 360 м/с.

Уравнение среднего времени [Willy, Gregory, Gardner, 1956] используется и для оценки трещиноватости [39]

$$K_m = \frac{v_3(v_m - v_p)}{v_p(v_m - v_3)} \cdot 100, \quad (4.4)$$

где v_3 – скорость в заполнителе трещин, равная 750 м/с;

v_m – скорость в монолитной породе (максимальная) : базальты – 6400 м/с; гнейсы – 6100 м/с; известняки мраморизованные – 6800 м/с;

v_p – скорость продольных волн в исследуемой точке массива.

Прочность массива (R_c) находят по формуле корреляционного уравнения, полученного Л. В. Шаумян [39]

$$R_c = R_{c.макс} \left\{ 1 - \left[1 - \left(\frac{v_p - v_{p_0}}{v_m - v_{p_0}} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}, \quad (4.5)$$

где $R_{c.макс}$ – максимальные значения прочности: базальты – 330 МПа. гнейсы – 280 МПа. известняки мраморизованные – 250 МПа;

v_m – максимальная скорость продольных волн;

v_p – скорость продольных волн в исследуемой точке массива;

v_{p_0} – скорость, при которой прочность массива равна 0.

При классификации структурного видов элювия, характеристика которых дана в таблице 4.5, следует в первую очередь учитывать их прочность (R_c , МПа). Она определяет способность грунтов сопротивляться воздействию внешних (нормальных и касательных) нагрузок без полного разрушения. При внешней весьма хорошей сохранности породы в массиве, прочность ее в результате выветривания может быть очень низкой.

Таблица 4.5

**Изменение прочностных характеристик в зависимости
от выветрелости [СП 11-105-97]**

Наименование видов структурного элювия	Предел прочности на сжатие, R_c , МПа
Сапролит слабый	5-15
Сапролит средней прочности	15-30
Сапролит повышенной прочности	30-50
Рухляк слабый	≤ 30
Рухляк средней прочности	30-50
Рухляк прочный	> 50

**4.6. Показатели динамики выветривания и степени
выветрелости пород (по разным авторам)**

Динамика выветривания осадочных пород может быть оценена через скорость процесса [33] по формуле

$$H \approx a\sqrt{t-t_0} \quad \text{при } t_0 \leq t \leq T, \quad (4.6)$$

где H – мощность зоны выветривания;

a – средняя скорость выветривания в метрах за первый год;

t – время на данный момент после начала выветривания;

t_0 – время проявления первых признаков выветривания;

T – время, необходимое для формирования молодой коры выветривания полного профиля.

Выветрелость изверженных и метаморфических пород характеризуется показателем [41]

$$i = \frac{p_2 - p_1}{p_1} \cdot 100, \quad (4.7)$$

где p_1 – масса образца породы, высушенной при 105 °С;

p_2 – масса того же образца, но водонасыщенного в течение 1,5-2 ч.

Выветрелость пород по В.Б. Швецу [11] характеризуется коэффициентом

$$K_{\epsilon} = \frac{K_t - K_o}{K_t}, \quad (4.8)$$

где K_t – отношение массы частиц размером < 2 мм к массе частиц более 2 мм после испытания на крошимость в специальном барабане;

K_o – то же, в природном состоянии.

Породы сильновыветрелые, если $0.75 < K < 1.0$; слабывветрелые, если $0.5 < K < 0.75$; прочные, если $K < 0.5$.

Степень выветрелости осадочных и магматических пород по Г.С. Золотареву [11] оценивается коэффициентом

$$B_c = \frac{F_n - F_o}{F_n - F_A}, \quad (4.9)$$

где F - характерные показатели элювия, например, объемный вес, пористость, сопротивление одноосному сжатию, динамический модуль упругости, сцепление и др.

Индексы "н", "о", "А" относятся соответственно к невыветрелым, оцениваемым и предельно выветрелым (горизонт "А") породам.

По степени выветрелости выделяются четыре категории пород:

- сильновыветрелые $0.9 < B_c < 1.0$;
- выветрелые $0.7 < B_c < 0.9$;
- средневыветрелые $0.3 < B_c < 0.7$;
- слабывветрелые $0 < B_c < 0.3$.

Показатель интенсивности выветривания [43] K_{ϵ} – есть отношение приращения какого-либо показателя к приращению мощности выветрелых пород:

$$K_{\epsilon} = \frac{R_{i,n} - R_{i(n-1)}}{\frac{h_n}{2} + \frac{h_{n-1}}{2}}, \quad (4.10)$$

где $R_{i,n}, R_{i(n-1)}$ – среднее значение какого-либо i -го показателя для соответствующей зоны выветривания;

h_n, h_{n-1} – мощности зон выветривания.

По ГОСТ 25100-95 коэффициент выветрелости (K_{wr}) для скальных грунтов есть отношение плотности выветрелого грунта к плотности монолитного грунта $\rho_{\text{выв}}/\rho$ и они подразделяются на следующие разновидности согласно табл. 4.6

Таблица 4.6

Подразделение скальных грунтов по степени выветрелости

Разновидность грунтов	Коэффициент выветрелости K_{wr} , д. е.
Невыветрелый	1
Слабовыветрелый	1–0,90
Выветрелый	0,90–1,00
Сильновыветрелый	0,80

Крупнообломочные грунты подразделяют согласно табл. 4.7 [ГОСТ 25100-95].

Таблица 4.7

Подразделение крупнообломочных грунтов по степени выветрелости

Разновидность крупнообломочных грунтов	Коэффициент выветрелости K_{wr} , д. е.
Невыветрелый	0–0,50
Слабовыветрелый	0,50–0,75
Сильновыветрелый	0,75–1,00

Для крупнообломочных пород коэффициент выветрелости K_{wr} определяется по формуле

$$K_{wr} = \frac{K_1 - K_o}{K_1}, \quad (4.11)$$

где K_1 – отношение массы частиц размером менее 2 мм к массе частиц размером более 2 мм после испытания на истирание в полочном барабане;

K_0 – то же, в природном состоянии.

Очевидно, что пользоваться предложенными показателями необходимо очень осторожно, особенно для скальных пород, где оценка выветрелости по методикам разных авторов для одних и тех же грунтов может быть прямо противоположной.

4.7. Прогноз и мероприятия по борьбе с процессом выветривания

Прогноз выветривания горных пород является сложной проблемой, что связано с многофакторностью процесса. Средне- и долгосрочные прогнозы развития процессов физического выветривания основываются на анализе степени выветрелости пород, их трещиноватости, прогнозе изменения климатических характеристик; характеристике состава, и доступности пород для проникновения агентов выветривания. Долгосрочные прогнозы протекания химического выветривания могут составляться для растворимых пород и для объектов, представляющих историческую ценность, расположенных вблизи крупных химических производств.

Комплекс мероприятий по борьбе с выветриванием сводится к:

1) ограничению доступа агентов выветривания путем покрытия пород непроницаемыми и теплоизолирующими материалами (гудроном, бетоном, цементом с известью, песком, суглинком, шлаком и др.); пропитывания пород различными веществами - жидким стеклом, цементацией, тесмолином, фтористыми соединениями;

2) искусственной нейтрализации агентов выветривания путем введения в воду солей, уменьшающих их растворяющую способность, отвод поверхностных вод и т.д.;

3) ограничению масштабов формирования техногенных обнажений и управлению процессом перемещения современного элювия на склонах и откосах; организации геодинамического мониторинга за процессами выветривания.

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте зоны выветривания (по Г. С. Золотареву).
2. Как определяется степень выветрелости?
3. Какие мероприятия используются для борьбы с выветриванием?

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. - Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
3. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург.: Наука, 2001. - 416 с.
4. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании / Л.А. Ярг. – Москва: Недра, 1974. – 144 с.
5. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания / Л.А. Ярг. – Москва: Недра, 1991. – 139 с.

Глава 5. ЭОЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

5.1. Понятие и общая характеристика

Под **эоловыми процессами** понимают процессы дефляции (лат. deflare – выдувать) и развевания пылеватых и песчаных частиц, их перенос и аккумуляцию под действием ветра, а также корразию (лат. corrāsus –обтачивать), являющуюся следствием абразивной деятельности воздушного потока, переносящего твердые частицы.

Известно, что при скорости ветра в 4 м/с начинается перенос пылеватых частиц, 6.5 м/с – пыли и песчаные частиц диаметром менее 0.25 мм, при 10 м/с – частиц до 1 мм, при 20 м/с – гравия размером 4-5 мм. При 20 м/с ветер срывает крыши с домов, вырывает деревья. При скорости в 25 м/с ветер считается ураганом, Максимальная скорость ветра может достигать 50-60 м/с (или около 200 км/час).

Циклоны, тайфуны, штормы, ураганы, смерчи (торнадо) – прямое следствие деятельности ветра. Например, скорость ветра в торнадо достигает 480 км/час или 133 м/с. Ежегодное количество жертв этого опасного явления в США составляет 60 чел., а материальный ущерб составляет сотни миллионов долларов. Торнадо образуются при столкновении теплых влажных воздушных масс с океана и воздушных масс суши. Перепад давления в воронке атмосферного вихря может достигать 100 миллибар.

По данным Смитсоновского института, с 1947 по 1970 гг. прямыми жертвами процессов, связанных с ветрами на Земле, стало 760 тыс. чел., что сопоставимо с количеством жертв от землетрясений. В инженерной геодинамике процессы, обусловленные деятельностью

ветра (эоловые процессы), рассматриваются только с позиции их воздействия на геосреду.

5.2. Пространственное распространение

Эоловые процессы наиболее распространены в тундре, лесостепных, степных и пустынных районах, к которым в России относятся Прикаспий, южные районы Западной Сибири, Забайкалье, некоторые районы Якутии. Известны периодически дующие ветры, например – Каспийская моряна, фён на Алтае, баргузин на Байкале, Новороссийская бора, при которой половину зимы ветры, дующие с суши на море, имеют скорость до 20-25 м/с.

В Прибайкалье и Забайкалье (Чарской, Баргузинской, Тункинской и других межгорных впадинах) и на аласных поверхностях в Центральной Якутии, сложенных озерными и зандровыми песками, на оголенных участках сформировался типичный пустынный рельеф в виде барханов высотой до 25 м, расположенных перпендикулярно направлению господствующих ветров. Так урочище "Чарские пески" в Чарской впадине имеет длину более 10 км и ширину 3-4 км при высоте барханов до 40-50 м (рис 5.1).

В Верхнеангарской впадине, после начала строительства БАМ, ранее закрепленные лесом пески были оголены, и началось интенсивное развитие эоловых процессов вдоль автодорог. Здесь при сильных ветрах формируются пыльные бури, образуются котловины выдувания, песком заносятся дороги, что требует дополнительных затрат по их очистке от песка [6]. Эти же проблемы характерны и для степной части южного Забайкалья. Незакрепленные пески, образующие дюны, барханы известны в среднем течении р. Онон, в районе пос. Убугуя,

мелкие эоловые формы отмечаются в пределах Читино-Ингодинской и Оловской впадин. Здесь высота песчаных дюн составляет 1-3 м, а протяженность по длинной оси 5-10 м [26].



Рис. 5.1. Урочище "Чарские пески"
(на заднем плане хр. Удокан)

В зонах степей дефляция приобретает характер пыльных бурь, которые наблюдаются в отдельные годы и в пределах черноземной полосы России. Черная буря в России и на Украине в 1960 г. привела к тому, что пахотный слой был сдут до глубины 5-12 см. На Северном Кавказе во время пыльных бурь 1969 и 1970 гг. был зафиксирован снос пахотного слоя мощностью до 70 см [36]. В США отмечен унос пахотной земли за один шторм до 300 млн т., при этом 36 млн га пришли в негодность [1].

В Читинской области эоловая деятельность в больших масштабах проявляется в районе г. Борзя, где песчаные бури причиняют зна-

чительный ущерб сельскому хозяйству и коммунальному хозяйству, работникам которого приходится убирать большие массы переносимого бурями песка [26]. Длительное время продукты с нерекультивированного хвостохранилища Шерловогорского ГОКа переносились ветром в пос. Шерловая Гора, резко ухудшая экологию населенного пункта. Закрепление пылящих поверхностей значительно уменьшило заносимость поселка.

5.3. Факторы, определяющие процесс

Основной агент эолового процесса – движение воздушных масс. Наиболее благоприятными факторами начала дефляции являются [11]:

- 1) обнаженная выровненная поверхность, сложенная сухими пылеватыми супесями или мелкозернистыми песками;
- 2) длительно действующий ветровой поток со скоростями более 4 м/с;
- 3) открытая местность не создающая преград переносу пылеватопесчаных масс;

Ветровой поток – это в примерно в 300 раз более слабый транспортирующий агент, чем любая река, но имеющий гигантские размеры. При ширине 300 – 500 км и скорости более 60 км/ч он переносит в десятки тысяч раз больше обломочного материала. В пыльной буре на высоте до нескольких десятков сантиметров движутся щебень и грубый песок, тонкий песок летит до высоты человеческого роста, пыль до 12 км. Перенос пыли осуществляется на расстояния до 6 тыс. км. Длительность пыльных бурь составляет от 1 часа до 3-5 дней. Ветер при своем движении захватывает мелкий материал, оставляя на месте

более крупный. Так формируются каменистые пустыни или гамма-ды, представляющие собой щебневую пустыню с пустынным загаром. В зависимости от состава пород, подвергающихся **дефляции** и переносимых в воздушном потоке, возможно формирование песчаных, лессовых, глинистых (такыров), солончаковых (шоров), гипсовых пустынь. Расстояние, на которое переносятся взвешенные в воздушном потоке частицы, зависит как от скорости и продолжительности действия ветра, так и от наличия восходящих потоков на пути движения. Пыль пустынь Африки достигает США и Западной Европы. В Забайкалье переносятся значительные массы пыли из пустыни Гоби.

Ускоренное эоловое разрушение горных пород стоит на втором месте по масштабам после эрозии. Так в Сахаре незакрепленные барханные пески занимают более 1 млн км². Особенно интенсивно ускоренная дефляция проявляется на неполивных землях, находящихся в засушливых районах, в том числе на нерекультивированных хвостохранилищах, отвалах, золоотвалах. Например, золоотвал Читинской ТЭЦ-1 оказывает значительное загрязнение территории города при действии ветров северо-восточного, восточного и юго-восточного направлений.

В сельском хозяйстве выдувание почв в 0.2 мм/г допустимо, так как на такую же величину увеличивается мощность почвенного слоя. Критическая скорость, при которой начинается дефляция почв: черноземы - 5.5 – 8.6 м/с, каштановые почвы – 6.1 – 7.8 м/с, солонцы – 12 м/с. Среднегодовые потери почвы (E) с поля функционально зависят от ряда факторов

$$E = f(I, K, C, L, V),$$

где I – показатель податливости к дефляции;

K – коэффициент шероховатости;

C – показатель климата (зависит от влажности и скорости ветра);

L – показатель длины поля;

V – показатель растительного покрова.

Процесс **корразии** осуществляется в основном песчаными частицами, перемещающихся на небольших высотах до 8-10 м и коррадирующих нижние части скал, образуя ниши, борозды, ячеи. Автор наблюдал, как после песчаной бури, продолжавшейся около 3 дней в юго-восточном Казахстане в октябре 1973 г., прозрачные стекла окон здания конторы совхоза превратились в матовые.

5.4. Механизм процесса

Движение пылеватых и песчаных частиц происходит под силовым воздействием ветра в результате:

- 1) лобового давления;
- 2) при отрицательном перепаде давлений в потоке (отрыв первого рода);
- 3) ударного импульса (отрыв второго рода).

Для оценки расхода перемещенных песчаных масс используется формула 5.1, предложенная Б. Н. Сенкевичем [32].

$$Q = \left[\frac{1}{(1-\nu) \cdot g \cdot \rho_n} \cdot V_{1.0} \right]^n, \quad (5.1.)$$

где Q – твердый расход песка в полосе 1 см за 1 с, г/см²·с;

V – скорость ветра на высоте 1 м, см/с;

ν – кинематический коэффициент вязкости потока воздуха, см²/с;

g – ускорение силы тяжести, см/с²;

ρ_n – плотность грунта, г/см³;

n – показатель распределения частиц по размеру, массе и форме.

Для грунта, содержащего частиц крупнее 0.05 мм 60-70 %

$$n = 2 + \lg(g) + \lg(\rho_n),$$

а если их более 60-70 %, то

$$n = 1 + \lg(g) + \lg(\rho_n).$$

Пылеватые частицы и мелкие пески обычно переносятся во взвешенном состоянии, а крупные песчаные зерна перемещаются по земле прыжками (сальтация) или путем перетекания (соскальзывания) Схема развития бархана или дюны представлена на рис. 5.2.

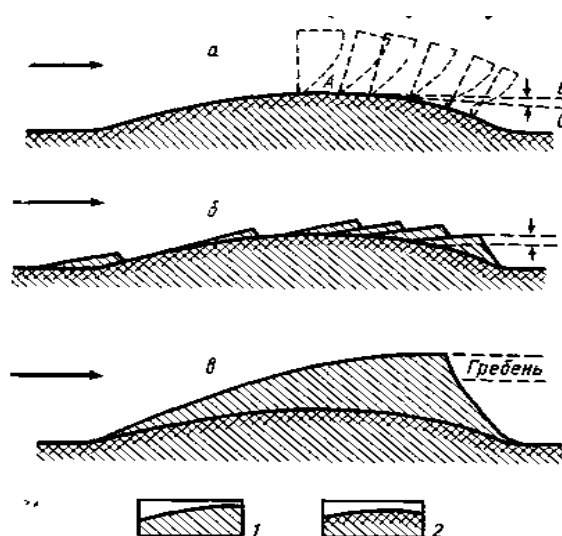


Рис. 5.2. Схема развития песчаной волны [32]:

а – профиль фиксированной полосы (2) и графики скоростей ветра; б – рост песчаной волны (1) за счет песчаной ряби; в – полный профиль песчаной волны

В результате дефляции, переноса и последующей аккумуляции пылевато-песчаного материала формируются эоловые континенталь-

ные отложения, представленные песками и лёссами. Эоловые пески образуются в результате перевевания аллювиальных, морских, озерных, элювиальных песков. Для эоловых отложений характерно: размер частиц от 0.05 до 0.25 мм (до 90 %), хорошая окатанность, пылинный загар, лучшая сортированность, наличие устойчивых минералов (кварц), желтый и желтовато-коричневый цвет, косая неправильная слоистость, специфические формы рельефа: барханы, дюны, грядовые и ячеистые пески, бугристые, кучевые. Формы эолового рельефа зависят от режима ветров, динамики атмосферы и ее циркуляции. Мощность песков в пустынях достигает нескольких десятков метров.

Например, барханы образуются в результате резкой потери скорости насыщенного песком воздушного потока на открытых и уплотненных поверхностях. Ветровой режим определяет простираание эоловых форм, колебательный и колебательно-поступательный характер движения. Турбулентный характер движения воздушного потока, внутренние пульсации приводят к образованию характерной песчаной ряби на поверхности бархана. Скорость перемещения барханов достигает 30-40 м/г.

В барханах уровень грунтовых вод находится, как правило, на глубине 20-25 м. Пески их слагающие имеют естественную влажность 2-3 %, близкую к максимальной молекулярной влагоемкости, в верхней части барханов пески сухие [11].

Крупные горные массивы, оказывая большое влияние на вихревые потоки, вызывают аккумуляцию пылеватого материала, переносимого воздушными потоками на большие расстояния, в предгорных частях или на склонах. Здесь формируется особый генетический тип континентальных отложений – лёссы, подробная характеристика которых будет дана в главе "Просадочность лёссовых пород".

5.5. Прогноз и методы управления и защиты

При изучении эоловых процессов требуются данные о ветровом режиме за 10-15 лет и более. Оценка опасности ветров для развития эоловых процессов может быть сделана по СНиП 22-01-95 (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Категории опасности эоловых процессов

Показатели, используемые при оценке степени опасности природного процесса (ОПП)	Категории опасности процессов			
	чрезвычайно опасные (катастрофические)	весьма опасные	опасные	умеренно опасные
Ураганы, смерчи				
Площадная пораженность территории, %	20	30	30-70	70-100
Продолжительность проявления, ч	До 1	1-3	3-5	5-10
Скорость перемещения, м/с	700-100	50-70	35-40	25-40
Повторяемость, ед. в год	0,001-0,01	0,01-0,02	0,02-0,05	0,05-0,1

Исходными для развития эоловых процессов являются синоптические процессы в тропосфере. Заблаговременность прогноза определяется видом тропосферного процесса (ураган, шквал, пыльная буря и др.) и обычно не превышает 2-3 сут., а для смерчей (торнадо) возможен только оперативный прогноз по мере возникновения явления.

Для борьбы с песчаными заносами и ветровой эрозией используются различные методы.

1. Агролесомелиорация – закрепление подвижных песков по-

садами древесной, кустарниковой и травяной растительностью (лесополосы).

При штормовых ветрах дальность защитного действия лесополос примерно равна 15-40 высотам деревьев [36]. Аккумуляция за счет полос составляет от 30 до 110 м³/м полосы. Расчет окупаемости Затрат O_k на полезащитные лесные полосы имеет вид [36]

$$O_k = \frac{K(1+0.12)^t + N_y}{\Pi - (P_э + A)},$$

где K – затраты на посадку лесных полос и уход за ними;

0.12 – коэффициент приведения численно равный среднему нормативному коэффициенту капиталовложений;

t – время (в годах) нужное для достижения лесополосой заданной высоты;

N_y – потери урожая на площади занятой лесополосой, за t лет;

Π – ежегодная чистая прибыль от прибавки урожая;

$P_э$ – эксплуатационные расходы;

A – амортизационные отчисления.

Опыт показывает, что лесомелиоративные работы окупаются за 1-3 года [33].

2. Искусственные преграды – установка щитов вдоль железных и автомобильных дорог, препятствующих их засыпанию подвижными песками.

3. Закрепление верхнего слоя движущихся песков битумной эмульсией и другими материалами.

4. Замена верхнего слоя грунта путем добавления торфосодержащих компонентов с последующей вспашкой и лесопосадками.

5. Покрытие пылящих поверхностей (отвалов, хвостохранилищ) крупнообломочными породами.

Контрольные вопросы

1. Какие факторы способствуют развитию эоловых процессов?
2. Что такое "коррозия", "дефляция"?
3. Каковы особенности строения эоловых отложений?
4. Охарактеризуйте мероприятия по борьбе с эоловыми процессами.
5. Как оценивается эффективность агролесомелиорации?
6. Назовите категории опасности эоловых процессов.

Рекомендуемая литература

1. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
2. Золотарев Г. С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. – Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
3. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург.: Наука, 2001. – 416 с.
4. Сергеев Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. – Москва: МГУ, 1978.– 384 с.
4. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / под общ. ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Недра, 1985. – 259 с.

Заключение

Предложенная читателю первая часть учебного пособия по курсу «Инженерная геодинамика» раскрывает некоторые вопросы, включенные в Государственный образовательный стандарт по данной дисциплине. Отдельные задачи, например по инженерно-геологической оценке трещиноватости горных пород, подробно рассмотрены в «Учебном пособии по инженерной геологии» [39] и поэтому в данную работу не вошли.

По результатам собственных исследований, а также, используя новую информацию по ЭГП, автор постарался значительно глубже рассмотреть проблемы инженерной геодинамики. Большое место в работе уделено закономерностям распространения и развития рассмотренных процессов на территории Читинской области, что будет полезно студентам при работе над курсовыми работами и магистерскими диссертациями, а специалистам при оценке риска возникновения и развития опасных природных процессов.

В пособии значительное внимание уделено новой нормативной литературе, сведения о которой отсутствуют в ранее выпущенных учебниках по "Инженерной геодинамике". В основном эти материалы имеют экологическую направленность, то есть действительно инженерная геодинамика все больше становится экологической геодинамикой [13].

Автор будет весьма признателен читателям за высказанные замечания и пожелания и учтет их при работе над второй частью пособия.

Глоссарий

Авария – опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

Примечание – крупная авария, как правило, с человеческими жертвами, является катастрофой.

Безопасность в чрезвычайных ситуациях – Состояние защищенности населения, объектов народного хозяйства и окружающей природной среды от опасностей в чрезвычайных ситуациях.

Вероятность – это мера объективной возможности наступления случайного события.

Интенсивность – (лат. intensio – напряжение, усиление) – признак, характеризующий активность экзогенных и эндогенных геологических процессов по скорости их протекания, энергии, объему и частоте повторяемости.

Источник техногенной чрезвычайной ситуации - источник техногенной ЧС: опасное техногенное происшествие, в результате которого на объекте, определенной территории или акватории произошла техногенная чрезвычайная ситуация.

Примечание – к опасным техногенным происшествиям относят аварии на промышленных объектах или на транспорте, пожары, взрывы или высвобождение различных видов энергии.

Контроль за окружающей средой – сопоставление полученных данных о состоянии окружающей среды с установленными кри-

териями и нормами техногенного воздействия или фоновыми параметрами с целью оценки их соответствия.

Магнитуда землетрясения М – количественная характеристика (по шкале Рихтера) излучаемой очагом сейсмической энергии, пропорциональная нормированному на эпицентральное расстояние десятичному логарифму амплитуды наибольших колебаний грунта, записанных при прохождении сейсмических волн.

Моделирование – это исследование объектов познания на их моделях, иначе – построение и изучение моделей замещающих реально существующие предметы, явления, процессы и т. п.

Мониторинг опасных природных процессов и явлений – система регулярных наблюдений и контроля за развитием опасных природных процессов и явлений в окружающей природной среде, факторами, обуславливающими их формирование и развитие, проводимых по определенной программе, выполняемых с целью своевременной разработки и проведения мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций, связанных с опасными природными процессами и явлениями, или снижению наносимого их воздействием ущерба.

Примечание – опасные природные процессы и явления подразделяют на опасные геологические, гидрологические и природные пожары по ГОСТ Р 22.0.03.

Объект мониторинга – природный, техногенный или природно-техногенный объект или его часть, в пределах которого по определенной программе осуществляются регулярные наблюдения за окружающей средой с целью контроля за ее состоянием, анализа происходящих в ней процессов, выполняемых для своевременного выявления и прогнозирования их изменений и оценки.

Опасный природный процесс – изменение состояния, состава и свойств окружающей среды и (или) ее компонентов, которое по своей интенсивности, масштабу и продолжительности приводит или потенциально может привести к ухудшению состояния окружающей среды, условий обитания человека, а также развитию чрезвычайной ситуации и нанести ущерб его хозяйственной деятельности.

Парагенезис – (греч. γένεσις - происхождение) – совместное нахождение, возникающее в результате одновременного или последовательного образования.

Последствия природных чрезвычайных ситуаций – социальный, экономический и экологический ущербы в результате воздействия источников природных ЧС на население, территорию и окружающую природную среду.

Предупреждение природных чрезвычайных ситуаций – совокупность мероприятий, направленных на снижение риска возникновения природных чрезвычайных ситуаций.

Прогнозирование антропогенных воздействий на окружающую среду – заблаговременное предсказывание видов, форм, величины и возможных масштабов антропогенных воздействий на окружающую среду, основанные на изучении тенденции развития системы природопользования и перспектив хозяйственного и научно-технического развития общества.

Прогнозирование опасных геологических процессов и явлений – система мероприятий по определению возможности возникновения, развития опасных геологических процессов и явлений, их характера, масштабов и продолжительности, вероятности возникновения природных чрезвычайных ситуаций, а также возможных последствий в зоне их воздействия.

Примечание – прогнозирование может носить долгосрочный, краткосрочный или оперативный характер.

Просадка в лессовых грунтах – уплотнение и деформирование при увлажнении (замачивании) лессов с образованием просадочных деформаций (провалов, трещин проседания, воронок).

Риск возникновения источников природных чрезвычайных ситуаций – риск возникновения источников природных ЧС: вероятность (частота) возникновения в течение определенного промежутка времени источника природных чрезвычайных ситуаций.

Риск возникновения природных чрезвычайных ситуаций – вероятность возникновения неблагоприятных (негативных) последствий воздействия поражающих факторов источников природных ЧС на население, территорию и окружающую природную среду.

Смягчение последствий природных чрезвычайных ситуаций – снижение негативных последствий природных ЧС путем проведения комплекса правовых, организационных, экономических, инженерно-технических, природоохранных, санитарно-гигиенических, санитарно-эпидемиологических и специальных мер.

Снижение риска возникновения природных чрезвычайных ситуаций – снижение вероятности возникновения природных чрезвычайных ситуаций путем проведения комплекса организационных, инженерно-технических, природоохранных, санитарно-гигиенических, санитарно-эпидемиологических и специальных мероприятий, направленных на организацию наблюдения и контроля за состоянием окружающей природной среды, прогнозирование и подготовку к чрезвычайным ситуациям.

Субдукция – поддвиг океанической литосферы под континентальную в пределах активных континентальных окраин – зонах

ВЗБ (Вадати – Заварицкого – Беньофа).

Урбанизация – (лат. urbanus – городской) – процесс сосредоточения промышленности и населения в крупных городах.

Ущерб социальный – безвозвратные и санитарные потери людей, материальные потери личной собственности, затраты на лечение пострадавших и на восстановление трудоспособности, морально-психологические издержки и снижение уровня жизни.

Ущерб экологический – ущерб, нанесенный окружающей природной среде.

Ущерб экономический – материальные потери и затраты, связанные с повреждениями (разрушениями) объектов производственной сферы экономики, ее инфраструктуры и нарушениями производственно-кооперационных связей.

Чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Экзогенные геологические процессы – процессы экзодинамического преобразования горных пород, происходящие на поверхности Земли и в приповерхностном слое — в зоне действия факторов выветривания, эрозии, склоновых и береговых деформаций, вызванные в большей части внешними по отношению к литосфере силами (солнечной энергией, атмосферными, гидросферными, гравитационными).

Экстенсивность – (лат. extensivus – расширяющий, удлиняющий) – признак, характеризующий активность экзогенных и эндо-

генных геологических процессов по характеру распространения их по площадям и проценту занятости территории процессом.

Эндогенные геологические процессы - процессы эндодинамического преобразования горных пород, происходящих главным образом внутри Земли, в зоне действия сеймотектонических и термодинамических факторов и вызванные в основном внутренними силами Земли.

Библиографический список

1. Аллисон А. Геология: пер. с англ./ А. Аллисон, Д. Палмер – Москва: Мир, 1984. – 568 с.
2. Бондарик Г.К. Инженерная геодинамика / Г.К. Бондарик, В.В. Пендин, Л.А. Ярг. – Москва: КДУ, 2007. – 440 с.
3. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии / Г.К. Бондарик. – Москва: Недра, 1981. – 256 с.
4. Верхотуров А.Г. Научно-методические основы организации мониторинга экзогенных геологических процессов на территории Забайкалья / А.Г. Верхотуров // Вестн. Чит. гос. ун-та: Спец. вып., посвященный 30-летию Горного ин-та. – Чита, 2004. – Вып. 37. – С. 186-191.
5. Геологические стихии / Б.А. Болт, У.Л. Хорн, Г.А. Макдональд, [и др.]. – Москва: Мир, 1978. – 440 с.
7. Геология зоны БАМ: Т.2. Гидрогеология и инженерная геология / под общ. ред. Е.А. Козловского.– Ленинград: Недра, 1988. – 447 с.
8. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Инженерная геология и сейсмология / О.В. Павлов, В.И. Джурик, А.Ф. Дреннов [и др.] – Новосибирск: Наука, 1985. – 192 с.
9. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника / С.И. Шерман, К.Г. Леви, В.В. Ружич [и др.] – Новосибирск: Наука, 1984. – 208 с.
10. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмология и сейсмическое районирование / В.П. Солоненко, В.В. Николаев, Р.М. Семенов [и др.] - Новосибирск: Наука, 1985. – 192 с.

11. Спутниковые технологии мониторинга опасных сооружений / А.В. Гребенников, Ш.Ш. Катарашвили, Ю.Л. Казанцев [и др.] // Новосибирск: Сибирь: Экспорт-Импорт Инвест.– 2002. – № 13. – С. 94-95.
12. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. – Москва: МГУ, 1983. – 328 с.
13. Иванов И.П. Инженерно-геологические исследования в горном деле / И.П. Иванов. – Ленинград: Недра, 1987. – 255 с.
14. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – Санкт-Петербург: Наука, 2001. – 416 с.
15. Коломенский Н.В. Специальная инженерная геология / Н.В. Коломенский. – Москва: Недра, 1969. – 336 с.
16. Королев В. А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев, под ред. В.Т. Трофимова. – Москва: МГУ, 1995. – 272 с.
17. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. – Ленинград: Недра, 1977. – 479 с.
18. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых / В.Д. Ломтадзе. – Ленинград: Недра, 1986. – 272 с.
19. Медведев С.В. Инженерная сейсмология / С.В. Медведев. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 283 с.
20. Методы долговременных региональных прогнозов экзогенных геологических процессов / под ред. А.И. Шеко, В.С. Круподерова. – Москва: Недра, 1984. – 167 с.
21. Нейштадт Л.И. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватых горных пород / Л.И. Нейштадт, И.А. Пирогов. – Москва, 1969.

22. Основы геокриологии: Ч.4. Динамическая геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. – Москва: МГУ, 2001. – 688 с.
23. Панюков П.Н. Инженерная геология / П.Н. Панюков – Москва: Недра, 1978. – 296 с.
24. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов / А.И. Перельман. – Москва: Недра, 1965. – 272 с.
25. Попов И.В. Инженерная геология / И.В. Попов. – Москва: Геолиздат, 1951. – 444 с.
26. Попов И.В. Инженерная геология / И.В. Попов. – Москва: МГУ, 1959. – 510 с.
27. Портнова В.П. Инженерно-геологические условия Центрального и Восточного Забайкалья / В.П. Портнова. – Москва: Недра, 1976. – 232 с.
28. Потапов В.А. Общая и инженерная сейсмология: учеб. пособие / В.А. Потапов, А.Г. Дмитриев. – Иркутск: ИрГТУ, 2004. – 128 с.
29. Рекомендации по изучению влияния морозного выветривания на состояние и механические свойства скальных пород // ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева / под ред. Н.Ф. Кривоноговой, Д.Д. Сапегина . – Ленинград, 1989. – 68 с.
30. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений: пер. с английского / Т. Рикитаке. – Москва: Мир, 1979. – 390 с.
31. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии / Ю.В. Ризниченко // Избр. Труды. – Москва: Наука, 1985. – 408 с.
32. Савренский Ф.П. Инженерная геология / Ф.П. Савренский . – Москва: ОНТИ, 1939. – 488 с.
33. Сенкевич Б.Н. О генезисе основных форм эолового рельефа песчаных пустынь / Б.Н. Сенкевич. – Ашхабад, 1976.

34. Сергеев Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. – Москва: МГУ, 1978. – 384 с.
35. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. – Москва: Стройиздат, 2000. – 44 с.
36. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / под общ. ред. акад. Е. М. Сергеева – Москва: Недра, 1985. – 332 с.
37. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / под общ. ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Недра, 1985. – 259 с.
38. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / под общ. ред. акад. Е.М. Сергеева. – Москва: Недра, 1985. – 288 с.
39. Уломов В.С. Сейсмотектоника и вероятностное сейсмическое районирование Северной Евразии / В.С. Уломов, Л.С. Шумилина. // Геофизика на рубеже веков. – Москва: ОИФЗ РАН, 1999. – С. 216-236.
40. Учебное пособие по инженерной геологии / под ред. Г. С. Золотарева. – Москва: МГУ, 1990. – 294 с.
41. Хазанов М.И. Искусственные грунты, их образование и свойства / М.И. Хазанов. – Москва: Наука, 1975. – 159 с.
42. Хеморол А. Классификация выветрелости и выветриваемости пород / А. Хеморол // Проблемы инженерной геологии. – 1964. – № 3.
43. Шестернев Д.М. Криогипергенез и его геотехнические свойства пород криолитозоны / Д.М. Шестернев. – Новосибирск: СО РАН, 2001. – 266 с.
44. Ярг Л.А. Изменение физико-механических свойств пород при выветривании / Л.А. Ярг. – Москва: Недра, 1974. – 144 с.

45. Ярг Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания / Л.А. Ярг. – Москва: Недра, 1991. –139с.

Список нормативной литературы

1. ГОСТ Р 22.0.01-94. Основные положения. – Введ. 01.01.1995. – Москва: Изд-во стандартов, 1994. – 6 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

2. ГОСТ Р 22.0.02-94. Термины и определения основных понятий. – Введ. 01.01.1996. – Москва: Изд-во стандартов, 1996. – 18 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

3. ГОСТ Р 22.0.05-94. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – Введ. 01.01.1996. – Москва: Изд-во стандартов, 1996. – 9 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

4. ГОСТ Р 22.0.06-95. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. – Введ. 01.07.1996. – Москва: Изд-во стандартов, 1996. – 4 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

5. ГОСТ Р 22.0.11-99. Предупреждение природных чрезвычайных ситуаций. Термины и определения. – Введ. 01.01.2000. – Москва, 2000. – 5 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

6. ГОСТ Р 22.1.01-95 Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. – Введ. 01.01.1997. – Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 5 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

7. ГОСТ Р 22.1.02-95 Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения. – Введ. 01.01.1997. – Москва: Изд-во стандартов, 1997.

– 5 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

8. ГОСТ Р 22.1.06-99 Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования.. – Введ. 01.01.1997. – Москва: Изд-во стандартов, 1997. – 5 с. (Система стандартов безопасности в чрезвычайных ситуациях).

9. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – Москва: Минстрой России, 1997. – 44 с.

10. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. – Москва: Минстрой России, 1992. – 40 с.

11. СНиП 22-01-95. Геофизика опасных природных воздействий. – Москва: Минстрой России, 1996. – 6 с.

12. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. – Москва: Минстрой России, 2000. – 44 с.

13. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства. – Москва: Минстрой России, 1997. – 43 с.

14. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. 1. Общие правила производства работ. – Москва: Минстрой России, 1998. – 49 с.

15. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. – Москва: Минстрой России, 2001. – 102 с.

16. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов. – Москва: Минстрой России, 2000. – 83 с.

СПИСОК НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ
Бурятского АО и Читинской области с указанием расчетной
сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 для
средних грунтовых условий и трех степеней сейсмической
опасности - А (10 %), В (5 %), С (1 %) в течение 50 лет (по ОСР –
97)

Название	А	В	С
Агинский Бурятский АО			
Агинское	6	6	8
Дульдурга	6	7	8
Могойтуй	6	6	8
Читинская обл.			
Аксеново-Зиловское	6	7	8
Акша	6	7	8
Александровский	6	7	8
Амазар	7	7	8
Атамановка	6	7	8
Балей	6	7	8
Борзя	6	7	8
Букачача	6	7	8
Верх-Усугли	6	7	8
Вершино-	6	7	8
Дарасунский			
Вершино-	6	7	8
Шахтаминский			
Гуля	7	7	8
Гутай	7	8	9
Давенда	7	7	8
Дарасун	6	7	8
Даурия	6	7	8
Доронинское	6	7	8
Забайкальск	6	7	8
Зеленое Озеро	7	7	8
Итака	7	7	8
Кадая	6	7	8
Калакан	7	8	9

Продолжение прил. А

Название	А	В	С
Калангуй	6	7	8
Карымское	6	7	8
Ключевский	7	7	8
Кокуй	6	6	8
Краснокаменск	6	7	8
Красный Чи- кой	7	8	9
Ксеньевка	7	7	8
Куанда	9	9	10
Курорт- Дарасун	6	7	8
Кыкер	6	7	8
Кыра	6	7	8
Менза	7	7	8
Могзон	6	7	8
Могоча	7	7	8
Моклакан	7	7	8
Надежный	6	7	8
Нарасун	6	7	8
Неляты	9	9	10
Нерчинск	6	7	8
Нерчинский Завод	6	7	8
Ниж. Цасучей	6	7	8
Нов. Чара	9	9	10
Новопавловка	7	8	9
Оловянная	6	6	8
Первомайский	6	7	8
Приаргунск	6	7	8
Сред. Калар	8	9	9
Сред. Олекма	7	8	9
Сретенск	6	6	8
Тунгокочен	7	7	8
Тупик	7	7	8
Улеты	6	7	8
Урейск	6	7	8
Усть-Каренга	7	7	8

Окончание прил. А

Название	А	В	С
Усть-Карск	6	6	8
Хапчеранга	6	7	8
Хилок	7	7	8
Холбон	6	7	8
Чапо-Олого	9	9	10
Чара	9	9	10
Чернышевск	6	7	8
Чита	6	7	8
Шелопугино	6	6	8
Шерловая Гора	6	7	8
Шилка	6	7	8
Шимбилик	7	7	8
Шумунда	6	7	8
Юмурчен	7	7	8
Яблоново	6	7	8
Ямаровка	7	7	8

Оглавление

Предисловие.....	3
Введение.....	4
Глава 1. Теоретические основы инженерной геодинамики.....	5
1.1. Становление и развитие инженерной геодинамики.....	5
1.2. Объект, предмет и метод инженерной геодинамики.....	9
1.3. Элементы теории экзогенных геологических процессов.....	11
1.4. Понятие геологический процесс.....	14
1.5. Условия, причины и факторы развития ЭГП.....	15
1.6. Литомониторинг и его функционирование.....	17
1.7. Проблемы прогнозирования и управления ЭГП.....	22
Контрольные вопросы.....	26
Рекомендуемая литература.....	27
Глава 2. Классификация геологических и инженерно-геологических процессов и явлений.....	28
Контрольные вопросы.....	40
Рекомендуемая литература.....	40
Глава 3. Эндогенные геологические процессы и явления.....	41
3.1. Роль неотектонических движений в формировании современных инженерно-геологических условий.....	41
3.2. Инженерно-геологический анализ современной тектоники и методы изучения.....	43
3.3. Сейсмичность – общее понятие, краткая характери-	

стика и оценочные показатели.....	45
3.4. Сейсмические зоны России.....	51
3.5. Причины и механизм процесса.....	54
3.6. Методы изучения и оценки.....	59
3.7. Прогноз землетрясений и методика сейсмического микрорайонирования.....	63
3.8. Возбужденная сейсмичность.....	70
3.9. Строительство в сейсмических районах.....	71
Контрольные вопросы.....	74
Рекомендуемая литература.....	74
Глава 4. Выветривание.....	75
4.1. Понятие процесса и задачи изучения.....	75
4.2. Закономерности распространения и агенты выветривания.....	77
4.3. Механизмы выветривания.....	80
4.4. Трещиноватость массива горных пород как фактор выветривания.....	84
4.5. Схемы расчленения кор выветривания, методика изучения и оценки свойств пород.....	88
4.6. Показатели динамики выветривания и степени выветрелости пород (по разным авторам).....	95
4.7. Прогноз и мероприятия по борьбе с процессом выветривания.....	98
Контрольные вопросы.....	99
Рекомендуемая литература.....	99
Глава 5. Эоловые процессы.....	100
5.1. Понятие и общая характеристика.....	100
5.2. Пространственное распространение.....	101

5.3. Факторы, определяющие процесс.....	103
5.4. Механизм процесса.....	105
5.5. Прогноз, методы управления и защиты.....	108
Контрольные вопросы.....	110
Список рекомендуемой литературы.....	110
Заключение.....	111
Глоссарий.....	112
Библиографический список.....	118
Список нормативной литературы.....	123
Приложение 1.....	124

Верхотуров Алексей Геннадьевич

Инженерная геодинамика

Учебное пособие

Часть 1

Издание 2 дополненное

Лицензия ЛР №020525 от 02.06.97

Редактор

Сдано в производство

Форм. бум. 60x84 1/16

Печать офсетная

Уч. - изд. л. 5.7

Тираж 30 экз.

Бум. тип. №2

Гарнитура литературная

Усл. печ. л. 5.3

Заказ №

Забайкальский государственный университет

672039 Чита, ул. Александрово-Заводская, 30

РИО ЗабГУ

672039, Чита, ул. Александрово-Заводская, 30

www.rik@chitgu.ru