

Министерство образования Российской Федерации
Владивостокский государственный университет
экономики и сервиса
Дальневосточное отделение Российской Академии наук
Тихоокеанский институт географии
Биолого-почвенный институт

В.С. ПУШКАРЬ, М.В. ЧЕРЕПАНОВА

**ЭКОЛОГИЯ:
ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ
И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ**

Учебное пособие

Владивосток
Издательство ВГУЭС
2003

Рецензенты: Б.И. Семкин, д-р биол. наук,
профессор
Бровка П.Ф., д-р геогр. наук,
профессор

Пушкарь В.С., Черепанова М.В.

П 91 ЭКОЛОГИЯ: ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ И
ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ / Отв. ред.
И.С. Майоров Учебное пособие. – Владивосток: Изд-во
ВГУЭС, 2003. – 84с.

Цель работы – сформировать у студентов правильный подход к оценке влияния стихийных природных катастроф на развитие экосистем, включая и такую сложную экосистему как антропоэкосистему. В ходе знакомства с предлагаемым курсом студенты должны усвоить основные понятия о природных катастрофах, их причинах и последствиях, а также познакомиться с возможным их прогнозом, позволяющим принять соответствующие меры по уменьшению риска экологической опасности. На конкретных примерах показана разрушительная сила природных катастрофических явлений, зачастую приводящая к изменению ландшафтов и к исчезновению экосистем. Предлагаемое учебное пособие по природным катастрофам поможет получить студентам достаточно информативный уровень базовых знаний, который необходим при изучении специальных экологических дисциплин.

Предназначено для студентов, изучающих проблемы взаимодействия человека и природы.

ББК 26

© Пушкарь В.С., Черепанова М.В., 2003

© Издательство Владивостокского
государственного университета
экономики и сервиса, 2003

ОТ РЕДАКТОРА

Учебное пособие «Природные катастрофы и их экологические последствия» подготовлено преподавателями кафедры экологии и природопользования ВГУЭС д-р геогр. наук профессором В.С. Пушкарем и канд. геол.-минерал. наук. доцентом М.В. Черепановой, являющихся также сотрудниками Тихоокеанского института географии и Биолого-почвенного института ДВО РАН. В своей научной работе они непосредственно сталкиваются с изучением стихийных природных явлений. Данный курс читается студентам кафедры экологии и природопользования Социально-психологического института Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. Он призван помочь будущим экологам правильно анализировать причины стихийных бедствий и катастроф, обусловленных как самой природой Земли, так и являющихся следствием антропогенной деятельности. Поэтому значительное место в работе принадлежит объяснению причин различных катастроф, пониманию динамики их процесса и оценке биологических и социальных последствий.

Огромное значение для познания причин возникновения природных катастрофических явлений имеет изучение строения, свойств и закономерностей развития геологической, географической и биологической оболочек планеты, которые в структурном отношении следует рассматривать как взаимодействие различных по составу, строению и по особенностям функционирования систем, обладающих эмерджентностью. Выделяемые при этом разномасштабные географические, геологические, биологические и экологические системы характеризуются тесной связью и взаимодействием между собой. Происходящие в геологических системах эндогенные (землетрясения, вулканизм) и экзогенные процессы (сели, оползни, обвалы), а в географической среде – гидрологические и стихийные атмосферные бедствия непосредственно оказывают отрицательное воздействие на экосистемы различного уровня, зачастую приводя их к разрушению равновесного состояния и исчезновению. И если происходят резкие нарушения в стабильном состоянии одних систем, то, несомненно, это отразится и на динамике развития других.

Особую опасность представляют антропогенные катастрофы, имеющие тенденцию к усилению своей разрушительной силы по мере стремительного развития научно-технического потенциала. Это и разрушение озонового слоя, и массовые вырубki лесов, приводящие к изменению ландшафтов и почвенного покрова, и интенсивное и *нерациональное* освоение земных недр и шельфовых зон океана, и глобальное потепление климата, а в последнее время и ядерные угрозы, которые

уже представляют опасность существованию человека как биологического вида. Высказывание А. Эйнштейна о том, что четвертая мировая война будет осуществляться дубинками, в настоящее время не отражает действительных последствий. Развитие ядерной физики и мощи современного ядерного оружия таково, что после тотальной ядерной войны и воевать-то, и решать экологические проблемы будет уже некому.

Природные катастрофы влекут за собой не только разрушение человеческих творений, но и вносят серьезные изменения в динамику экосистем и биосферы планеты в целом, что ведет к исчезновению многих видов живых организмов и сокращению биоразнообразия Земли. Особенно важно уметь правильно оценивать возможные последствия и причиненный ущерб природе и человеку, а также прогнозировать развитие регионов после крупных катастроф. Эта проблема также раскрыта в предлагаемом учебном пособии.

Следует отметить, что проблема изучения природных катастрофических и стихийных явлений чрезвычайно актуальна, что привело к разработке соответствующих курсов лекций во многих учебных заведениях. Но если изучение катастрофических явлений на естественных факультетах два десятилетия назад осуществлялось в основном на специальных курсах по общей геологии, физической географии и т.п., то в настоящее время назрела необходимость подготовки учебных пособий собственно по причинам и последствиям природных катастроф, адаптированных к различным специальностям. В этом отношении учебник или учебное пособие по природным катастрофам, написанные для геологов, должны существенно отличаться по степени сложности и своей структуре от учебника, написанного для биологов или экологов, не изучающих столь глубоко геологию как сами студенты-геологи. Существующие ныне учебники или чисто научные издания по природным катастрофам, например, Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990; Гилмор Р. Прикладная теория катастроф (кн. 1-2). М.: Мир, 1984. и др. весьма сложны для студентов-экологов, не имеющих соответствующей подготовки по математике и физике. С другой стороны, подобные учебные пособия, выходящие за рубежом, упрощены и ограничиваются лишь описанием катастроф и стихийных бедствий на соответствующей территории. В качестве удачного примера следует назвать прекрасный учебник профессора географического факультета Московского государственного университета Г.С. Ананьева «Катастрофические процессы в рельефообразовании» (М.: МГУ, 1998), в котором в достаточно информативной и доступной форме изложены основные понятия о природных катастрофах, их причинах и последствиях. Но этот учебник написан для географов и основной акцент в нем сделан на процессах возникновения и разрушения форм рельефа при таком факторе, как природные катаст-

рофы, возникающие при напряжениях во взаимодействии геологических и географических систем.

Подготовка и публикация настоящего учебного пособия представляется весьма полезным и своевременным. Оно может с успехом использоваться при чтении лекций не только биологам или экологам, но и студентам других специальностей, где в той или иной мере рассматриваются стихийные явления природы (инженерное строительство, туризм, менеджмент, охрана природы и др.), что придает ему междисциплинарное значение.

Зав. кафедрой экологии
и природопользования ВГУЭС
канд. геогр. наук доцент
И.С. Майоров

ВВЕДЕНИЕ

Значение курса. Основные понятия. Экосистема. Устойчивость экосистем. Экологический кризис и катастрофа и их последствия. Классификация катастроф.

Природные катастрофы играли и играют огромную роль в развитии органического мира нашей планеты. Обычно при слове «катастрофа» нам всегда представляется бедствие и несчастье. Неистовство быстротекущих природных катастроф наносит огромный вред человеческой цивилизации, разрушает эко- и антропоэкосистемы различных рангов. Но, как ни парадоксально, катастрофы прошлых геологических эпох привели к возникновению жизни на Земле и влияли на общий ход ее эволюции. Например, с вымиранием динозавров связывается быстрое развитие млекопитающих. Гибель одних экосистем являлась причиной появления и развития других. Созидательная роль геологических катастроф очевидна. Но роль человечества, если оно перешагнет пределы своей сегодняшней психики, как потенциальной причины глобального экологического кризиса и катастрофы, не имеет созидательной основы. Ядерная война и, если уцелеет планета, последующая ядерная зима уничтожат жизнь как уникальное явление, порожденное миллиарды лет тому назад. Какая горькая ирония кроется в том, что катастрофа глобального уничтожения природы и цивилизации будет вызвана самим порождением природы – человечеством! Сохранять природу будет уже никому, да и не для кого. Ибо ядерная катастрофа впитает в себя все возможные разгневанные природные явления, обрушившихся на Землю в одно мгновение и, поэтому, несоизмерима ни с катаклизмами геологического прошлого вместе взятыми, ни с их последствиями.

Прежде чем приступить непосредственно к характеристике тех или иных природных катастрофических явлений, влиявших на развитие экосистем различного уровня, необходимо правильно определить понятие «*экосистема*», потому, что именно реакция экосистем на воздействие извне может являться свидетельством свершившегося экологического кризиса.

Под *экосистемой* мы будем понимать единство биотопа и биоценоза, т.е., использовать ту трактовку, которая была предложена лимнологом Вольтереком и обоснована А. Тенсли в 1935 г. Понятно, что такое единство определяет тесную взаимосвязь и взаимозависимость живых организмов друг с другом и окружающей средой в пределах той или иной экосистемы. Это взаимодействие носит как экологический (абиотические и биотические факторы), так и энергетический характер (потоки энергии и вещества), тем самым, формируя единую, целостную сис-

тому, способную к саморегуляции. Еще одна особенность – это способность экосистем противостоять воздействию экстремальных факторов среды обитания, которая называется *устойчивостью экосистем*. Если система после воздействия на нее какого-либо фактора возвращается в свое первоначальное состояние, то можно говорить, что эта система является устойчивой. В термодинамическом и информационном аспекте живые системы всегда открыты, так как их важной информационной составляющей является среда на выходе и среда на входе. Для функционирования экосистемы и сохранения ее целостности из окружающей среды поступает необходимое количество энергии и вещества. В свою очередь, экосистема возвращает обратно в окружающую среду переработанные в экосистеме вещество и энергия, часто изменяя при этом сам вход (петля обратной связи). Если экосистема не находит возможности вернуться в свое первоначальное состояние, говорят об экологическом кризисе данной экосистемы. Под *экологическим кризисом* в широком смысле слова понимается значительное региональное или локальное нарушение условий среды, которое приводит к полному или частичному нарушению местных экологических систем. Сами же катастрофические природные явления представляют собой те факторы среды, которые в конечном результате своего воздействия приводят к экологическим кризисам экосистем.

Катастрофа (от греч. *katastrophe* – переворот, гибель) – это внезапное событие, неуправляемый быстротекущий природный процесс, влекущий тяжелые последствия, разрушения, жертвы. Причиной таких изменений могут служить как внешнее воздействие на систему, так и разрядка ее внутренних напряжений, превысивших прочность экологической структуры.

Подобные процессы, приводящие к резкому преобразованию большего или меньшего количества компонентов природного комплекса, происходили и происходят в истории Земли постоянно. Свидетельствами этих процессов могут служить громадные массивы вулканогенных горных пород, излившихся из жерл древних вулканов; разломы земной коры, уходящие на многие километры в чрево нашей планеты; метеоритные кратеры, как примеры воздействия космических факторов; запечатленная в ископаемых остатках эволюция органической жизни планеты и т.д. Причем, по-видимому, в силу постепенного замедления процессов внутреннего преобразования планеты – релаксации, – в далеком прошлом катастрофы происходили гораздо чаще и были значительнее по своим масштабам.

Таким образом, катастрофы представляют собой закономерные этапы формирования системы, способствующие ее прогрессивному развитию. Этот академический взгляд на катастрофы позволяет признать их естественность и неизбежность.

По своему происхождению катастрофы делятся на:

1) эндогенные, связанные с внутренней энергией и силами Земли. К ним относятся землетрясения, цунами, извержения вулканов;

2) экзогенные, обусловленные, главным образом, солнечной энергией и солнечной активностью, атмосферными, гидродинамическими и гравитационными процессами. Это циклоны и ураганы, наводнения, грозы, оползни, засухи и песчаные бури и т.д.;

3) в отдельную группу выделяют антропогенные катастрофы, которые возникают в результате деятельности человека. Они вызваны человеком, но силы, приведшие к ним, являются по своей природе или эндогенными или экзогенными.

Катастрофы также подразделяются по времени своего протекания, т.е. по времени своего воздействия на природные системы:

1) резкие стихийные кратковременные бедствия. Все те же землетрясения, извержения вулканов, лавины и т.д.

2) стихийные бедствия, возникающие в результате протяженного во времени накопления результата воздействия какого-либо негативного явления. Это, прежде всего, техногенное воздействие на окружающую среду, связанное с загрязнением атмосферы, гидросферы, литосферы и т.д. К этому типу кризисов можно отнести рост численности населения нашей планеты, что и порождает проблему голода и нехватки воды. Относительно длительный по времени этот процесс уже вызывает негативное разноплановое воздействие на нашу планету, которое ведет к глобальному экологическому кризису. Если в начале XX века численность населения составляла 1,5 млрд человек, то сейчас она насчитывает 6 млрд. Такое количество население надо накормить, обогреть, удовлетворить массу бытовых и моральных потребностей. В результате усиливается давление на окружающую среду через интенсивное заселение и освоение новых территорий, добычу полезных ископаемых и пищевых ресурсов, стремительное развитие промышленности, распашку земных угодий, катастрофический рост мегаполисов и т.д.;

3) протяженные во времени стихийные бедствия, когда поражение является длительным, постепенно затухающим последствием чрезвычайной ситуации, катастрофы, например взрыва на атомной электростанции. Масштаб таких поражений объективно может быть не меньше катастрофических воздействий. Отрицательные экологические и социальные последствия Чернобыльской катастрофы несопоставимы по своему размаху ни с одной из известных природных катастроф. Последст-

вия второй мировой войны (десятки миллионов жертв, тысячи разрушенных городов и поселков, уничтожение пахотных земель и т.д.) проявляются до сих пор в демографическом и экономическом аспектах.

Катастрофические явления могут также классифицироваться *по площади*, охваченной их воздействием. С этих позиций катастрофы бывают: локальные, затрагивающие лишь отдельные участки крупных экосистем; региональные, охватывающие отдельные регионы, например, Европу; и, наконец, глобальные, которые касаются нашей планеты в целом, всего живого и неживого на ней. К таким катастрофам можно отнести пандемии. Вспомним пандемии гриппа в первой половине XX века, распространившуюся на всю Европу и унесшую миллионы человеческих жизней, «азиатского» гриппа в 1957–1958 гг., которым переболело 2 млрд человек. В XVIII в. оспа уносила в Западной Европе ежегодно десятую часть населения. Она дает о себе знать и сейчас. В 1962 году в Пакистане было зарегистрировано примерно 170 тыс. больных оспой, которая проникла даже в Швецию и Польшу.

Еще один критерий существующих классификаций – *количество жертв* той или иной катастрофы, хотя жизнь даже одного человека – это уже катастрофа, катастрофа для тех, кто живет рядом с ним. Тем не менее, такая классификация существует. В этом случае говорят о мелких и крупных катастрофах.

Можно классифицировать катастрофы *по принесенному материальному ущербу*. Соответственно, можно говорить о значительных и менее значительных катастрофах и измерять результат их воздействия в денежном эквиваленте.

Конечно, точно определить к какому классу или типу относится та или иная катастрофа, довольно сложно. Потому, что это многофакторное и много причинное явление (например, цунами, причиной которого может стать или землетрясение, или извержение вулкана). И зачастую, говоря о катастрофах, мы из области чисто научного анализа переходим в область этическую, так как чаще всего катастрофы связаны с человеческими жертвами, с моральным и материальным ущербом, который очень трудно порою оценить.

Есть особые типы катастроф, на краткой характеристике которых хотелось бы остановиться отдельно. К катастрофам этого типа можно отнести войны. Это воздействие и на ландшафт районов, где происходят военные действия, и на биологические объекты, в том числе и людей, проживающих на данной территории. И если в период первой и второй мировых войн это воздействие носило региональный характер, то в настоящее время, когда многие страны имеют на вооружении атомное оружие, такое воздействие может стать глобальными и привести к гибели не только органического мира, но и планеты в целом.

Катастрофами, как уже говорилось, являются болезни, перерастающие в эпидемии и пандемии. Раньше страшными заболеваниями были тиф, чума, которые регулярно поражали население многих районов Европы, Азии. Сейчас – это ВИЧ-инфекция. И говоря об этом заболевании, мы опасаемся не за отдельные регионы, а за все человечество, которое представляет панойкуменный биосоциальный вид. Таким образом, речь уже идет о глобальной катастрофе.

Огромную озабоченность человечества вызывает количество наследственных заболеваний, которые, как ни странно, именно благодаря развитию современных медицинских диагностических и лечебных технологий и здравоохранения в целом активно развиваются в настоящее время. Если раньше больные с подобными заболеваниями умирали, и как это, может быть, не кощунственно звучит в отношении человека, но человек – это биологический вид, даже в человеческом обществе существовал естественный отбор. Сейчас людям с такими заболеваниями современная медицина сохраняет жизнь. Таким образом, наследственные заболевания передаются из поколения в поколение, накапливая в генофонде отрицательные мутации и все больше усиливая их роль в поколениях. Это, в частности, проявляется в развитии аллергических реакций, ведущих к ряду тяжелых заболеваний не только кожного покрова, но и к нарушению общей физиологии организма. Определенную тревогу вызывает общее увеличение психических заболеваний, сказывающихся на социальном статусе человечества и связанных с потреблением наркотических веществ. Подобное замечание касается и хронических заболеваний, которые тоже в настоящее время очень активно поражают человечество (рост сердечно-сосудистых заболеваний, рака). Важно, что такие заболевания могут приобретать наследственный характер (предрасположенность). А если учесть, что обновления нашего генофонда за счет вливания извне не происходит, а эволюция человечества как биологического вида уже завершена, то проблема ухудшения генофонда с каждым поколением будет стоять все острее, требуя ускоренного развития генной инженерии.

Предпосылкой для защиты от природных катастроф является познание причин и механизма их возникновения. Зная сущность катастрофического явления, можно найти подходы к его прогнозу и проведению защитных мер, значительно уменьшая последствия. Особенно важна эта проблема для государств альпийского складчатого пояса, где в настоящее время интенсивно проявляются тектонические движения, вызывая землетрясения и активный вулканизм.

Вполне очевидно, что человечество должно радикально пересмотреть свой взгляд на взаимоотношения с природой. Природа терпелива, но ее терпение не безгранично. Природа легко ранима, но умеет и жес-

токо отомстить. Примером тому – непродуманное выкачивание нефти на шельфе Сахалина и в районе п. Нефтегорск, обернувшееся гибелью тысяч людей и самого поселка. Окупятся ли эти жертвы стоимостью нефти, даже если она станет золотой!

Контрольные вопросы

1. Что такое природные бедствия и катастрофы?
2. Принципы классификации катастроф.
3. Антропогенный кризис – угроза существования человечества.
4. Что является предпосылками для защиты от природных бедствий и катастроф?
5. Основные меры защиты от природных катастроф.
6. Возможен ли прогноз стихийных бедствий?

ТЕМА 1. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Сейсмология – наука, занимающаяся изучением землетрясений. Основные понятия. Изучение землетрясений. Частота землетрясений и их энергия. Карты сейсмической активности. Геологические условия возникновения землетрясений. Прогноз землетрясений, сейсмическая разведка.

Землетрясения представляют собой самое мощное и чрезвычайно опасное катастрофическое природное явление. Ни по площади проявления, ни по разрушительной силе, ни по количеству жертв и экономическому ущербу эта разрушительная катастрофа не имеет аналогов. В результате землетрясений может резко измениться рельеф местности, что может привести к таким опасным вторичным явлениям как наводнения, обвалы, лавины. Изменение ландшафтных ситуаций часто приводит даже к полному исчезновению локальных экосистем. Землетрясения, как опустошительные природные катастрофы, влекут за собой весьма тяжелые последствия в социальном и демографическом плане (гибель целых городов и населения), экономическом потенциале (разрушение промышленности, транспортных и энергетических коммуникаций, земельных угодий), изменении и разрушении экосистем (уменьшение биоразнообразия, появление вторичных сукцессий). Важно отметить, что землетрясения часто вызывают вторичные катастрофы (например, цунами, обвалы, оползни).

По огромному количеству человеческих жертв землетрясения занимают ведущее место среди природных катастроф, являясь очевидным показателем мощи и активности эндогенных сил и энергии Земли. Они связаны с процессами развития мантии и земной коры, с движением слоев земной коры и формированием тектонических нарушений, с образованием горных цепей. Они – свидетельство непрерывного накопления упругой потенциальной энергии в толще Земли, которая неоднократно и высвобождается в форме землетрясений различной мощности каждый год. *В среднем на планете происходит ежегодно одно катастрофическое и десяток сильных землетрясений.*

Сильные землетрясения, уносившие тысячи жизней, сохранились в памяти человечества. Многие из них отмечались в летописях и исторических хрониках. Среди крупнейших землетрясений можно назвать: Китайское (1556 г., разрушен г. Шаньси, 830 тыс. погибших, обвал стен узких долин, в результате чего были погребены сотни сел со своими жителями), Индийское (1737 г., погибло 300 тыс. человек), Лиссабонское (1755 г., разрушен г. Лиссабон, 60. тыс. погибших), Мессинское (1908 г., полностью разрушен город Мессина в Италии, погибло 40 тыс.

жителей), Токийское (1703 г., смерть настигла 200 тыс. горожан; 1902 г. – то же количество жертв и полностью разрушены города Токио и Иокогама; 1923 г., погибло 143 тыс. человек), Чилийское (1939 г., 1960 г., сотни тысяч погибших, разрушение городов и значительные экономические потери), Ашхабадское (1948 г., разрушен г. Ашхабад, погибло около 100 тыс. человек), Монгольское (1957 г., горы Бага-Богдо, разрушены десятки деревень, массовая гибель скота), Иранское (1962 г., уничтожен ряд городов и сотни деревень, погибло около 20 тыс. человек), Аляскинское (1964 г., разрушения на площади 20 тыс. км², ущерб в 310 млн долларов), Ташкентское (1966 г., полностью разрушен город, сотни тысяч жертв), Югославское (1969 г., разрушен г. Баня-Лука, осталось без крова около 30 тыс. человек, уничтожена развитая промышленность), Калифорнийское (1971 г., 65 тыс. жертв, ущерб в 550 млн. долларов), Китайское (1976 г., г. Таньшань, уничтожен город и близлежащие поселки, 655 тыс. погибших), Спитакское (Армения, 1988 г., уничтожен г. Спитак, погибло 25 тыс. человек), Турецкое (1999 г., район Мраморного моря, 16 тыс. погибших и 35 тыс. тяжелораненых) и многие другие. Этот краткий список заставляет содрогнуться, ибо человечество пока бессильно перед землетрясениями. Эти природные катастрофы сопровождалась сильнейшими разрушениями городов, потерей сельскохозяйственных угодий, разрушением транспортных коммуникаций, изменениями гидросети, что также приводило к разрушительным наводнениям, и потерей миллионов человеческих жизней. Если учесть, что все упомянутые землетрясения могут повториться, а регионы их проявлений в высокой степени урбанизированы, то легко себе представить социально-экономические последствия после землетрясений.

По предварительным оценкам за последние два тысячелетия землетрясения унесли около 15 млн человеческих жизней. Были разрушены сотни городов и тысячи деревень. Уничтожены сотни миллионов гектаров сельскохозяйственных площадей. Подводные землетрясения являются причиной такой разрушительной стихии как цунами – гигантские морские волны, достигающие нескольких десятков метров в высоту. В океане эти волны почти незаметны, но на мелководьях у берегов они обладают огромной энергией и способны причинить огромный ущерб прибрежным экосистемам, поселкам, промышленности.

Изучением землетрясений занимается такая отрасль геологии как *сейсмология*, изучающая причины возникновения землетрясений и их последствия.

Каковы же геологические причины возникновения землетрясений? *Под землетрясением понимаются всякие колебания земной коры и подземные удары, вызванные естественными причинами.* Землетрясения

продолжаются обычно несколько секунд и выражаются в подземных толчках большей или меньшей силы или в волнообразных колебаниях земной поверхности. При сильных землетрясениях здания и другие сооружения испытывают повреждения или даже полностью разрушаются. На поверхности Земли возникают трещины, с крутых склонов гор происходят обвалы или оползни, отдельные участки поверхности приподнимаются или опускаются, а также перемещаются и в горизонтальном направлении.

Очаг (гипоцентр, фокус) землетрясения – место в земной коре, или в верхней мантии, где возник подземный удар, и откуда во все стороны расходятся упругие колебания. Очаги большинства землетрясений располагаются в земной коре, но во многих местах известны очаги более глубокие – до 300 и даже 700 км. Очаг не точка, а определенный объем в тоще Земли, тем больший, чем сильнее землетрясение.

Плейстосейстовая область – такая область на дневной поверхности, в пределах которой колебания почвы, вызванные подземными ударами, достигают наибольшей интенсивности.

Эпицентр – место, расположенное в центре плейстосейстовой области, являющееся проекцией очага землетрясения на дневную поверхность.

Изосейсты – линии на поверхности Земли, соединяющие точки, в которых данное землетрясение проявилось с одинаковой интенсивностью.

Изосейсмальная область – участок на поверхности Земли, ограниченный двумя соседними изосейстами.

Сила (интенсивность) подземных толчков и землетрясений в целом изменяется в очень широких пределах, от самых слабых, которые человеком не ощущаются и могут быть отмечены только чувствительным приборами, и до катастрофических. Наибольшей силы землетрясение достигает в эпицентре. Во все стороны от эпицентра сила подземных толчков уменьшается. Изосейста наивысшего балла будет окружать эпицентр, остальные изосейсты будут более или менее концентрически окаймлять первую, отражая картину распространения упругих колебаний от эпицентра в стороны.

Как известно, земная кора состоит из различных по своим физическим свойствам пород, а ее структура очень сложна. Кроме этого, очаги землетрясений различны по своей форме и механизму и возникают на различных глубинах. Поэтому изосейсты приобретают очень сложную конфигурацию.

Для определения силы землетрясений были предложены различные *шкалы*. Наибольшее распространение получила 12-балльная шкала

(MSK-64). Основой для определения интенсивности землетрясений по ней служи степень повреждения зданий, остаточных деформаций грунта и т.п.

Таблица 1

Шкала балльности землетрясений

Баллы	Краткая характеристика интенсивности землетрясений
1	Колебания почвы отмечаются приборами
2	Ощущаются в отдельных случаях людьми, находящимися в спокойном состоянии
3	Отмечаются немногими людьми
4	Отмечаются многими людьми. Возможно дребезжание стекол
5	Качание висячих предметов. Многие спящие просыпаются
6	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке
7	Трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах
8	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб
9	В некоторых зданиях обвалы: падение стен, перекрытий, кровли
10	Обвалы во многих зданиях, трещины в грунтах до 1 м
11	Многочисленные трещины на поверхности Земли, большие обвалы в горах, разрушение большинства зданий
12	Изменение рельефа в больших размерах, катастрофические разрушения

Изучение землетрясений. Непосредственные визуальные наблюдения последствий землетрясений, определение силы подземных толчков с помощью сейсмических шкал и составление карт изосейст – это один способ изучения землетрясений. Другого характера сведения доставляют *сейсмические станции*.

На сейсмических станциях устанавливаются приборы, *сейсмографы*, которые регистрируют землетрясения, записывая приходящие на станцию колебания Земли, возникшие в очаге. Сейсмографы сконструированы так, чтобы усиливать в сотни и тысячи раз амплитуду колебаний, и поэтому способны отмечать очень слабые колебания, приходящие от очень удаленных очагов.

Запись землетрясения, получаемая на станции с помощью сейсмографа, носит название *сейсмограммы* и имеет форму волнистой линии, которая повторяет в увеличенном виде пришедшие на станцию слежения упругие колебания, или сейсмические волны.

На каждой сейсмической станции устанавливается обычно три сейсмографа. Один из них регистрирует вертикальную составляющую колебательного движения, а два других – горизонтальные составляющие (в меридиональном и широтном направлениях). Таким образом, получается три сейсмограммы, три составляющие колебательного движения частиц земной коры. Изучение сейсмограмм позволяет определить местоположение эпицентра, глубину гипоцентра, величину энергии, освобожденной в гипоцентре, и многие другие параметры землетрясения.

Упругие колебания, возникающие в очаге землетрясения, состоят из волн нескольких типов.

Продольные волны – представляют собой колебательные движения частиц вещества вдоль сейсмического луча, т.е. в направлении от очага или к очагу. Эти колебания приводят к попеременному сжатию и разряжению вещества; другими словами, продольные волны есть реакция среды на изменения объема вещества. Продольные волны распространяются с различной скоростью в разных средах: в воде – около 1500 м/сек, в горных породах – 5–7 км/сек.

Поперечные волны – представляют собой колебательные движения частиц вещества поперек сейсмического луча. Они являются реакцией среды на изменение формы. Поперечные волны возникают только в твердых телах (жидкие и газообразные вещества не сопротивляются изменению формы), но распространяются с меньшей скоростью, чем продольные (3–4 км/сек).

Поверхностные волны – возникают на границе двух различных сред. Например, волны, образующиеся на воде при падении в нее камня. Поверхностные волны распространяются с небольшой скоростью и быстро затухают. Но при землетрясениях, особенно в эпицентре, они достигают большой амплитуды и причиняют большой вред.

Один из способов определения местоположения эпицентра состоит в изучении последствий землетрясения непосредственно на месте, определении силы подземных толчков в каждом пункте и вычерчивании карт изосейст. В центре площади, оконтуренной изосейстой самого высокого балла, будет располагаться эпицентр. Для слабых землетрясений пользуются математическими методами определения эпицентров на основе анализа записей амплитуд составляющих упругих колебаний.

Карты эпицентров составляются для всех сейсмических районов и представляют важный документ, позволяющий судить о пространственном распределении землетрясений.

Частота землетрясений. В сейсмических районах землетрясения происходят часто. За год на всем земном шаре регистрируется несколько сот тысяч землетрясений. Наибольшей частотой отличаются слабые землетрясения; реже возникают сильные.

Какой-либо правильной периодичности в появлении землетрясений нет, но в целом сейсмический режим на протяжении веков и тысячелетий почти не меняется. Освобождение энергии в форме землетрясений сохраняет почти постоянный ритм.

Повторные толчки (афтершоки) – интересная особенность каждого сильного землетрясения. Они исходят из того же очага, что и основное землетрясение, или же из соседних с очагом участков. Количество и сила их со временем падает, но все же в некоторых случаях они ощущаются в течение многих месяцев, до 3–4 лет. Афтершоки свидетельствуют о том, что главное землетрясение, породившее их, не сняло всех напряжений, накопившихся в зоне очага; кроме того, перераспределение масс, вызванное землетрясением, в свою очередь ведет к появлению новых напряжений, которые также разряжаются посредством афтершоков.

Энергия землетрясений. При каждом землетрясении в недрах Земли высвобождается определенное количество энергии, которая накапливалась в результате тектонических процессов, причем накопление происходило в течение длительного времени. Породы, слагающие земную кору или верхнюю часть мантии, обладают определенной прочностью и способны выдержать напряжение, создающееся в результате тектонических процессов, но лишь до известного предела. Если напряжение превысит предел прочности горных пород, в толще этих пород возникает разрыв, потенциальная энергия перейдет в кинетическую, и произойдет землетрясение; тем самым часть упругих напряжений снимается и выделяется энергия, которая распространяется во все стороны в форме упругих сейсмических волн.

Энергию землетрясений можно вычислить, хотя это и сложно. Полученные же цифры показывают, что при землетрясениях выделяется огромное количество энергии, а для катастрофических землетрясений порядка 10^{25} эргов.

Понятие о магнитуде. Под магнитудой понимается условная величина M , пропорциональная логарифму энергии землетрясения и оцениваемая по расстоянию, на котором данное землетрясение записывается сейсмографами. По этой величине проводят количественную оценку землетрясения. Зависимость магнитуды и балльности землетрясений определяется так: чем больше магнитуда, тем выше балльность. Но

здесь большую роль играет глубина очага. Чем глубже располагается очаг, тем меньше балльность землетрясения. Известное максимальное значение магнитуды равно 9. Например, Камчатское землетрясение 1952 г. имело магнитуду 8,5, Ашхабадское землетрясение 1948 г. – 7,3, Спитакское 1986 г. – 6,9.

Карты сейсмической активности. Для построения этих карт вычисляется коэффициент, характеризующий количество землетрясений определенного энергетического класса, происходящих на данной площади в избранный промежуток времени.

Одним из примеров таких карт может служить карта удельной сейсмической мощности. Составляется подобная карта следующим образом. Суммарная энергия землетрясений ΣE , очаги которых располагаются в данном участке земной коры, делится на объем V этого участка коры и на время T , в течение которого эти землетрясения происходили, т.е.:

$$E_M = \Sigma E / V \cdot T.$$

Глубина очагов. Очаги землетрясений располагаются на различных глубинах в земной коре и в верхней части мантии. Точно определить глубину очага довольно трудно, но существует ряд методов, с помощью которых, используя сейсмограммы, можно вычислить глубину. Расчеты показывают, что большая часть очагов землетрясений располагается в земной коре, чаще всего на глубинах порядка 40 км.

Динамические параметры очага. Что же происходит в очаге в момент землетрясения? Сейсмограммы показывают, что в некоторых случаях первыми приходят на станцию продольные волны сжатия, затем растяжения. Об этом можно судить по тому, в каком направлении от нейтрального положения отклоняется линия записи землетрясения на сейсмограмме – вверх (сжатие) или вниз (растяжение). В физическом смысле такого рода смещения относятся к категории простого сдвига, в геологическом смысле это чаще всего надвиги, сбросы и сдвиги.

Землетрясения возникают при внезапном смещении масс вдоль тектонического разрыва, крылья которого перемещаются при этом в противоположных направлениях. Подобные разрывы и связанные с ним землетрясения располагаются на различной глубине. В некоторых случаях они выходят на поверхность, и тогда можно видеть результаты такого смещения, так называемые эскарпы, т.е. уступы в рельефе, образовавшиеся во время землетрясения.

Географическое распределение землетрясений. Землетрясения распределены по земному шару неравномерно. В некоторых местах они происходят часто и достигают большой силы. В других происходят редко и проявляются слабо. Места на поверхности Земли, к которым при-

урочены частые и сильные землетрясения называются сейсмическими областями. К ним относятся горные системы Тихоокеанского и Средиземноморского поясов. Средиземноморский протягивается от Гибралтара на восток: Атлас, Пиренеи, Альпы, Апеннины, Балканы, Карпаты, горные цепи Малой Азии, Кавказ, Копетдаг, Гиндукуш, Гималаи, горные цепи Бирмы, острова Индонезии. Тихоокеанский пояс включает в себя Камчатку, Алеутские острова, Кордильеры, Анды, Антарктиду, Новую Зеландию, Филиппины, Японию, Курильские острова. В стороне лежат Тянь-Шань, горные сооружения Монголии и Китая, Прибайкалья, область Великих озер в Африке. Все эти районы принадлежат к области альпийской складчатости.

Области без землетрясений называются асейсмичными. Это Русская платформа, западно-Сибирская низменность, Сибирская платформа, Северная Европа, большая часть Африки, равнинная часть Индии, почти вся Австралия, Канадская и Бразильская платформы, обширные пространства дна океанов.

В истории Земли известно много периодов интенсивного проявления тектонических движений, например, эпоха каледонской (в раннем палеозое), варисцийской (в конце палеозоя), мезозойской (в середине мезозойской эры) складчатости. В результате этих древних складчатостей были созданы могучие складчатые системы, земная кора подвергалась энергичному сжатию, но эти движения давно закончились. Наблюдаемые же в наше время землетрясения могут быть непосредственно связаны только с теми движениями, которые развиваются сейчас, т.е. с движениями современными, которые относятся к последней, современной фазе наиболее молодой альпийской складчатости (кайнозойской). Таким образом, первым условием проявления землетрясений должно быть *нахождение региона в области современных тектонических движений*.

Другое условие – *движения должны быть достаточно интенсивными*. Тектонические движения происходят всюду и всегда. Например, на Русской платформе имеются признаки новейших поднятий и опусканий, но землетрясениями они почти не сопровождаются.

И, наконец, *они должны быть дифференцированными*, контрастными. Например, Тибет. За современный этап это плоскогорье испытало поднятие очень крупного масштаба, но оно поднималось все, целиком, дифференцированные движения здесь играют подчиненную роль. Поэтому и землетрясения в этой области относительно слабые. Другое дело Тянь-Шань – типичная страна глыбовой тектоники, где земная кора разбита на множество блоков, приподнятых на разную высоту и разделенных крупными разрывами, поэтому здесь часты землетрясения и они довольно сильны.

Итак, землетрясения генетически связаны с участками современных интенсивных дифференцированных тектонических движений. Но в каждом конкретном случае землетрясения обусловлены развитием каких-то определенных структур. Особенно наглядно это проявляется, когда очаги лежат на небольшой глубине. В таких случаях смещения, видимые на поверхности, могут достигать многих метров.

Прогноз землетрясений. Проблему эту нужно разделить на три части: прогноз места, силы и времени возникновения землетрясения.

Предсказать момент наступления землетрясения пока не удастся. Но некоторые пути к разрешению этого вопроса намечаются. Землетрясение не есть нечто неожиданное, случайное. Каждое землетрясение подготавливается, и дело заключается лишь в том, чтобы найти способы обнаруживать какие-то предвестники о грядущем ударе. Перед сильными землетрясениями земная кора испытывает деформации – наклоны, изгибы; можно пытаться обнаружить такие предварительные деформации. Происходят предварительные толчки – форшоки. Постепенно изменяются упругие свойства земной коры в той ее части, где будет очаг землетрясения, можно попытаться обнаружить эти изменения, измеряя скорости распространения сейсмических волн через зону предполагаемого очага. Наконец, можно искать какие-то эмпирические закономерности в повторяемости землетрясений и экстраполировать этот режим на десятилетия вперед. Такого рода исследования ведутся. Но пока не удалось найти надежного способа предсказания землетрясений.

Другая сторона дела – предсказать место и силу будущих землетрясений. Эта задача составляет сущность сейсмического районирования. В тех местах, где уже отмечались сильные землетрясения они, очевидно, будут происходить и в последующее время. Для тех же мест, где сильных землетрясений пока не отмечалось, задачу решить труднее. Для этого необходимо сопоставить геологическое строение сейсмоопасной зоны с геологическим строением интересующего нас района. И если геологическая обстановка одинакова, то можно предположить, что и сейсмический режим будет одинаковым. Проблемы сейсмического районирования решаются при сопоставлении сейсмических и геологических данных.

Но, выделив крупный сейсмоопасный район, необходимо еще уже в его пределах определить все перечисленные элементы события. Такого рода прогноз будет вестись по следующей схеме: сначала в пределах сейсмического региона выделяется некая достаточно обширная область, где в течение нескольких лет или десятилетий можно ожидать крупного землетрясения. Последующими исследованиями область ожидаемого события сужается, определяется возможная сила толчка и опасный пе-

риод времени. На следующей стадии разработок уточняется место предстоящего толчка, а время ожидания события сокращается до нескольких дней и часов.

Помимо результатов инструментальных наблюдений и их последующего анализа указанием на проявление геофизических аномалий может служить поведение животных. Так в зонах землетрясений наблюдали пассивных пресмыкающихся – змей, лягушек, ящериц (Алайская долина, 1978; северо-восточный Китай, 1975), за несколько часов до землетрясений выли собаки, мыши из подвалов поднимались на чердаки зданий или выбегали на открытые пространства, отмечалось ~~необычное поведение других домашних животных и птиц.~~

Перед землетрясениями наблюдается изменение уровня воды в опытных скважинах. За несколько дней до землетрясений он падал, а накануне падение его приостанавливалось. Землетрясение происходило либо во время наиболее низкого стояния воды, либо в начале подъема уровня.

При прогнозировании возможных землетрясений необходимо ответить на три вопроса, касающихся места, времени и силы толчков. В связи с этим проводится сейсмораионирование территорий по частоте проявления этого грозного явления. Современная лазерная техника способна регистрировать в недрах Земли малейшие тектонические движения, что позволяет предвидеть возможность землетрясения. Но, в принципе, до сих пор еще не разработаны способы предвидения точного места и времени землетрясений в пределах сейсмически опасных регионов. В соответствии с картой сейсмического районирования и проектируются антисейсмические мероприятия, выраженные в особых типах строительства, укреплении грунтов, особом типе подземных коммуникаций. Своевременно должна проводиться эвакуация населения.

Контрольные вопросы

1. Причины и механизм возникновения землетрясений.
2. Структурные элементы землетрясений.
3. Сила и энергия землетрясений. Шкала бальности землетрясений.
4. Принципы сейсмического районирования и наиболее опасные территории в России.
5. Какие крупнейшие землетрясения Вы знаете?
6. Каковы последствия землетрясений (экологический и социально-экономический аспекты)?
7. Меры предосторожности при землетрясениях.

ТЕМА 2. ВУЛКАНИЗМ

Вулканизм в пространстве и во времени. Продукты извержений. Наземная вулканическая деятельность. Подводная вулканическая деятельность.

Не менее грозной и разрушительной, хотя, возможно, и не такой обширной по площади своего воздействия, является вулканическая деятельность. Вулканические явления принадлежат к величественным и в то же время грозным, катастрофически быстрым процессам, перед которыми человек часто бывает бессилён. Не удивительно поэтому, что на заре своей истории человек обожествлял огнедышащие горы или населял их богами, поклонялся им, создавал о них мифы и легенды. Само название вулкана было дано в честь Vulcanus – бога огня и кузнечного дела в римской мифологии. Наука, изучающая процессы и причины образования вулканов, их развития, строение и состав продуктов извержения, закономерности размещения вулканов на планете, изменения характера их деятельности во времени, называется *вулканологией*.

Научный интерес к вулканическим явлениям возник очень давно. Так, греческий философ Эмпедокл, живший за 450 лет до нашей эры, с целью систематических наблюдений за вулканом Этна поселился на склоне этой огнедышащей горы. Географ Страбон в I в. до н.э. описал деятельность вулканов Средиземного моря. Интерес к вулканическим явлениям и их причинам отразили в своих произведениях философы Аристотель (IV в. до н.э.), Сенека (I в. до н.э.) Широко известно описание Плинием Младшим (79 г. до н.э.) катастрофического извержения Везувия, во время которого погибли римские города Геркуланум, Помпея, Стабия и Оплантис. Более страшным было извержение вулкана Мон-Пеле на о-ве Мартиника в 1902 г. Город Сен-Пьер у подножия этого вулкана был в течение нескольких минут полностью уничтожен палящей тучей. Погибло от жары и удушья почти мгновенно около 30 тыс. жителей. Извержение на о-ве Ява в 1931 г. унесло с собой более 300 жизней. Извержения вулкана Мерапи в 1664, 1678 и 1768 гг. повлекло гибель нескольких десятков тысяч человек. Большие социально-экономические и биологические потери очень часто испытывает Япония, находящаяся в зоне активной вулканической деятельности. Однако народ Японии оказался способным противостоять столь грозной силе, воспитывая в себе терпеливость, настойчивость и выносливость. О мощи японских вулканов можно судить на таком примере: в 1888 г. произошло катастрофическое извержение вулкана Бандай-Сан, в результате которого была снесена его вершина, и высота вулкана уменьшилась на 640 м. Не менее опасны вулканы Индонезии. Так в 1883 г. произошло

катастрофическое извержение вулкана Кракатау, в результате которого в воздух было поднято 20 км^3 породы, т.е. сам остров Кракатау взлетел в воздух, а пепел был поднят на высоту 80 км. Пылевая завеса была распределена по всем нижним слоям атмосферы Земли и держалась несколько лет, влияя на климат планеты в целом. Возникшая в результате взрыва приливная волна, отмеченная во всех морях мира, передвигалась со скоростью 800 км/час и стала причиной гибели 36417 человек. Детонация была слышна на расстоянии 5000 км. Воздушная волна взрыва опустошила г. Джакарту, погибло 40 тыс. человек. Взрывная волна была зарегистрирована всеми метеорологическими обсерваториями мира. Необходимо заметить, что в результате взрыва Кракатау исчез не один только остров Кракатау. Исчезли и некоторые другие со своими поселками и жителями. Было отмечено и появление новых островов. В 1963 г. произошло мощное извержение вулкана Агунг на о-ве Бали. В результате извержения погибло 2 тыс. человек. Самым страшным извержением, по-видимому, было катастрофическое и внезапное извержение вулкана Тамборо на маленьком островке Сумбава вблизи о. Ява в 1815 г. В результате взрыва первоначальная высота вулкана в 4000 м была уменьшена до 2850 м, а в воздух было поднято 100 км^3 пород. Образовавшийся кратер имел размеры $6 \times 6,5 \text{ км}$, глубиной 700 м. Уникальная экосистема островка погибла.

Вулканические катастрофы являются причиной полного разрушения экосистем, засыпая толстым слоем пепла (вплоть до нескольких десятков метров) леса и луга. Раскаленная лава, способная передвигаться на сотни километров, сжигает все на своем пути. Для появления первичных пионерных сукцессий на этих местах требуется не один десяток лет, а для достижения такими сукцессиями климаксных стадий – сотни и тысячи лет. Нередко поток лавы или пеплопад изменяет русла рек, запруживает их, вызывая наводнения. Взрывная деятельность вулканов, наряду с землетрясениями, являются причиной цунами (например, взрыв Кракатау в 1882 г. или землетрясение на Аляске в 1964 г.). Опасность катастрофических извержений заключена в разрушении городов, засорением атмосферы пылью и газами. Пеплопады, как правило, удобряют почву и поэтому часто поселки, особенно на островах юго-западной части Тихого океана, расположены в зонах действия вулканов. Это увеличивает их риск быть уничтоженными во время сильных извержений.

На земном шаре, как уже отмечалось, существует два активных складчатых пояса – Средиземноморский (Тетис) и Тихоокеанский пояс, в пределах которых проявляются три главных признака деятельности внутренних сил планеты – большие разломы, вулканизм и землетрясения. В некоторой мере сходные признаки характеризуют срединные подводные хребты в океанах. Современные и молодые вулканы распо-

ложены в зонах, вытянутых на тысячи километров, параллельно молодым горным хребтам и в разломных поясах на материках и океаническом дне. Вулканы образуются в местах сопряженных глубинных продольных и поперечных нарушений в земной коре, что хорошо видно на древних платформах, например, в Африке, и в современных островных дугах. Тектонические нарушения в земной коре создают пути выхода магм на поверхность.

Вулканы представляют собой отдельные возвышенности и состоят из магматического очага, жерла, кратера и продуктов извержения мощных накоплений лав и вулканогенно-обломочных пород, формирующих конус вулкана. Различают континентальные, подводные и островные вулканы. Всего в настоящее время насчитывается немногим больше 500 континентальных и островных действующих вулканов. Большое количество действующих и потухших вулканов размещено на дне океанов, особенно Тихого океана.

Островными дугами называются цепи островов, к которым приурочены многочисленные вулканы. Островные дуги сопровождаются со стороны океана глубокими впадинами – желобами, или трогами, глубиной 9–11 км. Такие дуги с глубоководными впадинами образуют Курильские и Алеутские острова, Японские, Филиппинские и Индонезийские, Соломоновы острова, Тонга и Кермадек. В Атлантическом океане цепь вулканов сосредоточена в Исландии, Канарских и Азорских островах, островах Зеленого мыса.

Действующие вулканы России сосредоточены на северо-востоке страны, на Камчатке и Курильских островах. Наиболее примечательными на Камчатке является Ключевская группа вулканов (12 конусов). Главные конусы группы: Ключевская Сопка высотой 4750 м и Безымянная высотой около 5000 м. На Курильских островах, образующих дугу длиной около 1200 км, наиболее активны Алаид, Сарычева, Парамушир, Менделеева, Креницына и Эбеко.

Установлены признаки недавнего (250–200 лет назад) извержения базальтов вулкана в бассейне реки Б. Анюй и молодые вулканы в бассейне реки Яна (на северо-востоке России). Недавно потухшие вулканы известны в области озера Байкал.

Геологические данные указывают на то, что еще совсем недавно, в конце третичного – начале четвертичного периодов, вулканическая деятельность была более интенсивной, чем сейчас в Восточной Африке, в Сибири, в Индии, Австралии и Западной Европе. И нет уверенности в том, что молодые вулканы, которые считаются потухшими, действительно потухли. В деятельности вулканов можно выделить *периоды*

извержений и относительного покоя. Последние могут быть или короткими или измеряются тысячелетиями.

К непрерывно (в течение всего исторического времени) действующим относятся Ключевская Сопка, Стромболи, Этна. У этих вулканов периодически (у Ключевской Сопки через 7–8 лет, у Этны – через 3–5 лет) происходят более сильные извержения с излияниями лав, уничтожающими находящиеся поблизости экосистемы.

В развитии вулканов можно установить этапы молодости, зрелости и угасания. При этом в ходе эволюции магмы питающего очага обычно происходит изменение состава лав, чаще всего от основных к кислым. Крупные перерывы в активной деятельности вулканов как раз и бывают связаны с резкой сменой состава лав.

При наличии больших перерывов сведения о прежней деятельности вулканов в памяти человека могут отсутствовать и внезапно возобновляющееся извержение вызывает катастрофы (например, Везувий). Наряду с этим известны вулканы, которые образовались на глазах человека, например Парикутин в Мексике. Он возник в 1943 г. прямо на маисовом поле и в течение трех дней достиг высоты 400 м.

Среди продуктов извержений различаются газообразные, жидкие и твердые. Вулканы извергают огромные *массы газов*, среди которых одни, несомненно, имеют ювенильное (глубинное) происхождение, а другие представляют результат взаимодействия вулканических газов и глубинных вод с грунтовыми водами. Во время извержения в составе газов преобладают пары воды, углекислоты, а также иногда водород, азот, хлористый водород, а после извержения выделяются сернистые газы (SO_2 , H_2S). Кроме того, в газах установлено присутствие HF , метана, аммиака, аргона. Газы создают восстановительную среду, при соприкосновении с кислородом они окисляются и сгорают. Газы выносят с собой небольшие количества цинка, железа, меди, молибдена, олова, никеля, цинка и других элементов, которые входят в состав минеральных отложений около выхода газовых струй.

Газы и пары, находящиеся на больших глубинах, способны растворяться в лавах, и при подъеме лав к поверхности начинают выделяться из них. Кислые магмы (липаритовая и дацитовая) отличаются высокой вязкостью, и газы выделяются из них с сильными взрывами. Эта взрывная (эксплозивная) деятельность вызывает резкое преобладание мощных накоплений глыб, бомб и вулканического песка в составе *твердых продуктов* извержений. Взрывы могут также отрывать обломки горных пород, слагающих стенки каналов вулканов.

Твердые продукты извержений весьма разнообразны и рассеиваются вокруг вулканических центров, сортируясь по крупности материала в пространстве. Самые мелкие частицы обломочного, пирокластического

материала называются *вулканическим пеплом* и *вулканическим песком*. Они могут быть представлены осколками вулканического стекла и минералов. Обломки величиной с горошину до грецкого ореха называются *лапилли*, а более крупные, более 3 см, – *бомбами*. Вулканические бомбы – это куски выброшенной пластической лавы, которые в полете могут скручиваться и принимать различную форму.

Самая тонкая вулканическая пыль может переноситься в атмосфере на многие сотни и тысячи километров. Около вулканов накапливаются толщи вулканических брекчий, образованные бомбами, и туфов, сложенных лапиллями, вулканическим песком и пеплом.

Значительно меньшее количество пирокластического материала дают основные, маловязкие, жидкие лавы, которые оказывают слабое сопротивление вырывающимся газам.

Лавы представляют жидкие продукты вулканической деятельности. Формы застывших лавовых потоков зависят от состава лав и являются функцией вязкости, содержания газов, углов наклона рельефа местности, по которой перемещались лавы, и скорости их охлаждения.

Содержание кремнезема в лавах определяет их вязкость. Основные, базальтовые лавы с содержанием кремнезема 45–52% очень жидкие и подвижны, и поэтому продукты их извержения представлены нагромождениями потоков, с практически полным отсутствием пирокластов. Потоки базальтовых лав в пересеченной местности могут двигаться со скоростью до 50 км в час, а длина их достигает 80 км.

Объемы лав отдельных извержений могут быть очень большими. Базальты, излившиеся из вулкана Гекла (Исландия, 1783), заняли площадь 565 км², уничтожив все живое. Мощность их местами достигает 3 км.

Для базальтовых лав, изливавшихся в море, характерно развитие подушечной отдельности, возникающих в потоках лав, под охлаждающим влиянием морской воды. При остывании движущихся базальтовых потоков в их фронтальных и краевых частях накапливаются нагромождения глыб – *глыбовые лавы*. Глыбы образуются за счет разрушения отвердевших частей потока, под действием еще движущейся внутри него жидкой лавы.

Остывание лав в верхней, тонкой корке происходит довольно быстро. Затвердевание лав начинается при понижении температуры до 600–900⁰С. При очень быстром охлаждении лав они превращаются в вулканически стекла. Чем кислее лавы, тем чаще они представлены стекловатыми и полукристаллическими породами.

Во внутренних частях мощных потоков лавы остывают очень медленно. Остывание лав сопровождается сокращением объема и возникновением системы трещин.

Средние по кислотности лавы – андезитового состава, обладают различной вязкостью, зависящей от большего или меньшего содержания SiO_2 и количества летучих веществ в магме.

Кислые вязкие лавы (дациты, липариты) образуют значительно меньшие потоки глыбовых лав небольшой длины. Очень вязкие полустывшие, но еще пластичные лавы могут выжиматься сквозь кратерные отверстия, создавая обелиски и иглы, высота которых в известных случаях достигала 375 м, при поперечнике около 100 м. При остывании они растрескиваются и быстро разрушаются, превращаясь в нагромождение обломков.

Различаются следующие проявления наземной вулканической деятельности:

– эффузивная деятельность с образованием вулканических аппаратов, состоящих из накоплений лавы и пирокластических толщ;

– фумарольная деятельность, включающая горячие фумарольные струи с серной и соляной кислотами (фумаролы), сероводородные струи (сульфатары), углекислые и паровые струи (мофетты).

– гидротермальная деятельность – горячие источники и гейзеры.

Различают четыре главных типа *эффузивной деятельности*.

Гавайский тип характерен для отлогих, часто огромных вулканических построек, составленных преимущественно основными, базальтовыми породами, с крутостенными кратерами, заполненными лавовыми озерами, которые могут существовать многие десятки лет. Поддержание температурного режима в таких озерах происходит за счет экзотермической реакции сгорания водорода и других вулканических газов. Лава в таких вулканах часто извергается из боковых (паразитических) кратеров, раскрывающихся на склонах вулкана.

Стромболианский тип характерен для более вязких и более богатых газами и парами лав, еще способных давать длинные потоки. Извержения сопровождаются интенсивной взрывной деятельностью. Извержения пара и газов могут длиться иногда годами. Периоды выбросов глыб, бомб и песков происходят с перерывами. Лавы часто переливаются через край. Вулканы Стромболи Везувий, Этна, Парикутин и др.

Вулканический тип извержений характерен для кислых, вязких, богатых газами лав. Извержения сопровождаются огромными количествами пеплового материала. Потоки лав короткие и образуются не часто. В промежутках между извержениями лав большие вулканы продолжают выделять громадные массы паров и газов. Во время усиленного выхода паров из кратеров вырываются тучи пеплов, глыбы.

Пелейский тип извержений имеет особенно катастрофический характер, когда после закупоривания вулканического канала застывшей лавой напор газов и паров вызывает гигантские взрывы с образованием

раскаленных туч пирокластического материала. Падая на землю, этот горячий материал спекается и образует спекшиеся туфы. Вулканы: Кракатау, 1883; Безымянный, 1956.

К числу явлений, связанных с извержениями, относятся грязевые потоки. Они возникают как результат ливневых и грозовых явлений, часто сопровождающих извержения, при быстром таянии ледников, снежников у высоких кратеров.

Фумарольная деятельность, выходы газовых и паровых струй характерны для вулканических областей. Вместе с тем они присутствуют и в тех областях, где собственно вулканическая деятельность давно прекратилась, и где выходы струй паров и газов являются ее последними проявлениями. Вулканические области характеризуются также усиленной теплоотдачей и потерей глубинного тепла.

Газовые струи состоят из перегретых паров воды, серной и соляной кислот, к которым примешаны газы. Самые горячие газовые струи, температура которых достигает 900°C , встречаются только в кратерах и на склонах действующих вулканов. Около выходов фумарол в большом количестве отлагаются возгоны хлоридов и сульфатов щелочей и тяжелых металлов.

Выходы водяного пара, содержащие сероводород, с температурой $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$, представляют сольфатары. При окислении сероводорода кислородом воздуха образуется серная кислота и как промежуточный продукт самородная сера. Более низкотемпературные выходы водяного пара – мофетты ($80\text{--}90^{\circ}\text{C}$) – обычно содержат только углекислоту и типичны для областей затухающей вулканической деятельности.

Воды горячих источников и гейзеры выносят огромное количество SiO_2 , которое частью отлагается в виде гейзеритов и кремнистых накипей с примесью сульфидов тяжелых металлов. Гейзерами называются периодически фонтанирующие горячие источники.

Периодичность работы гейзеров связывают с нагревом подземных вод в системе сложных каналов – трещин. Струи подземных вод доводятся до состояния кипения и перегрева смешением с раскаленными вулканическими газами. Накапливающаяся в подземной камере перегретая вода, преодолевая давление вышележащего столба воды, в некоторый момент мгновенно превращается в пар, что приводит к извержению воды на поверхность.

Типы и формы вулканических аппаратов разнообразны и зависят от состава лав, частоты извержений, относительного количества лав и пирокластов и характера извержений – *трещинные* или *центральные*.

Различают вулканы *моногенные* – результат одноактного извержения – и *полигенные* – возникшие в ходе многих извержений.

Выделяются следующие морфологические типы вулканов:

– конусовидные – результат частых извержений без сильных взрывов;

- щитовые, плоские вулканы – аппараты излияния жидких лав;
- вулканические хребты, возникшие при перемещении центров излияния вдоль трещин;
- кальдерные вулканы;
- вулканы с соммой, возникшие в пределах кальдер, после их обновления;
- купольные вулканы.

По относительной роли лав и пирокластов вулканических аппаратов следует различать: 1) лавовые вулканы; 2) вулканы лавово-пирокластические; 3) вулканы пирокластические.

Лавовые вулканические постройки характерны для жидких базальтовых лав. К моногенным центральным вулканам этого типа можно отнести Парикутин (Мексика), а также паразитические вулканы на склонах больших полигенных вулканов.

Щитовые вулканы Исландии представляют собой пологие возвышенности.

Трещинные излияния известны среди платобазальтов Декана (Индия), Аравии, Эфиопии, вулканы Лаки и Гекла (Исландия) и т.д.

Лавово-пирокластические вулканы типичны для лав среднего и кислого составов. Они характеризуются значительным участием в их составе пирокластических продуктов (до 90%). Для этих вулканов характерны стратовулканы – слоистые конусы, высоты которых колеблются в широких пределах (до 4 км).

В связи с исчерпанием магматических очагов во время перерывов могут происходить оседания значительных участков (кальдеры оседания) в пределах которых, при возобновлении вулканических процессов, возникают новые вулканические постройки. Известны кальдеры с высотой крутых бортов до 800 м.

Особенно резкие изменения в морфологии вулканов происходят после перерывов, когда после извержения сравнительно основных лав начинаются излияния кислых лав и катастрофические взрывы уничтожают вершинные части старых конусов, с образованием вершинных кальдер (получивших название сомма), внутри которых возникают новые конусы.

Подводные извержения, по-видимому, распространены шире, чем они регистрируются. С ними и сопровождающими их сейсмическими толчками связано образование огромных волн – цунами. На меньших глубинах на поверхности океана появляются столбы газов и паров. При подводных извержениях, так же как и при наземных, возникают конусы, которые могут выступать из-под уровня морской воды в виде вулканических островов. Продолжительность существования таких островов различна. Одни, обра-

званные лавами, могут сохраняться долго, другие, состоящие из рыхлых пирокластических продуктов, быстро разрушаются.

Вулканизм океанов. В результате детального изучения дна Мирового океана были обнаружены многочисленные подводные вулканы. Главным образом, они концентрируются в восточной и северо-восточной частях Тихого океана, в то время как самые большие островные вулканы (Гавайи, Самоа и др.) образуют широкий пояс в западной его части.

Существуют доказательства, что многие вулканы Тихого океана возникли сравнительно недавно, причем наиболее интенсивно вулканическая деятельность проявилась в палеогене и в конце неогена.

Группы больших вулканических островов: Гавайские, Галапагос и Самоа – представляют надводные вершины самых больших вулканов. Кроме того, существует множество вулканов, которые никогда не были островными. Были и такие вулканические острова, которые в результате размыва приобрели плоские вершины, а затем погрузились под уровень вод океана. Такие возвышенности получили название *гуйо* (или *гайоты*).

Подводные вулканы представлены одиночными подводными горами с довольно крутыми склонами. Им приписывается щитовое строение. Связь этих вулканов с разрывными нарушениями не вызывает сомнений.

Наблюдения над характером подводных извержений позволили выделить два типа извержений – спокойные, с образованием подушечных лав, и взрывные, с образованием пеплового материала, глыбовых лав и пеплово-шлаковых островов.

На больших глубинах давление столба воды должно оказывать большое влияние на характер извержений. На глубине 5 км давление составляет 500 атмосфер, поэтому можно думать, что проявления эксплозий (извержений) в глубинах океана будут затруднены.

Уже упоминавшиеся островные дуги в типичном представлении развиты на границах океанов с континентом. Вокруг Тихого океана насчитывается 24 островные и вулканические дуги, локализованные вдоль границы материков. Островные дуги представляют дугообразные цепи островов с широко развитой вулканической и сейсмической деятельностью. Некоторые из дуг, (например Курильская имеет продолжение на Камчатке, Алеутская дуга продолжается на Американском континенте и др.). На восточной окраине Тихого океана мы имеем только континентальные вулканические дуги, приуроченные к обоим континентам Нового Света.

При прогнозировании возможных вулканических взрывов необходимо вести контроль над активизацией тектонических процессов, частотой и периодичностью извержений, сейсмической активностью. Образована государственная сеть сейсмических станций, которая и проводит эти наблюдения, предупреждая население о возможном вулканическом взрыве.

Однако точное предсказание времени и силы извержения еще остается тайной. При первых признаках начинающегося извержения необходима эвакуация населения. Не рекомендуется возводить поселки и города у подножий вулканов, особенно активных. Но, нередко, и «спящий» вулкан может «проснуться» (например, Везувий). Но, как правило, особенно на Тихоокеанских островах с активной вулканической деятельностью, поселки и сельскохозяйственные угодья расположены вблизи вулканов, ибо здесь наиболее плодородна почва. Этим человек подвергает себя большой опасности. Как ни парадоксально, но человек пренебрегает своей безопасностью в угоду получения максимально ~~прибыльного использования плодородных земель.~~

Контрольные вопросы

1. Что такое вулканизм и в чем заключаются причины его проявления?
2. Назовите крупнейшие извержения вулканов.
3. Назовите области наибольшей частоты вулканических извержений. С чем это связано?
4. Элементы строения конуса вулкана.
5. Типы вулканов и вулканических извержений.
6. Связано ли происхождение жизни на Земле с вулканизмом?
7. Можно ли предсказать катастрофические извержения и каковы меры предосторожности?

ТЕМА 3. ЦУНАМИ

Цунами во времени и пространстве. Классификация цунами. Повторяемость цунами. Наблюдения за цунами, возможность предупреждения об их приближении. Районирование опасности цунами.

Среди явлений природы, катастрофических по своим последствиям для человека и творений его рук, особое место занимают разрушительные морские волны, причина которых подводные землетрясения и, изредка, вулканические извержения. Цунами часто описывается как приливная волна. Чтобы устранить путаницу, с середины XX века за ними закрепился японский термин «цунами», в переводе на русский язык – «волны в гавани».

Очаги сильных подводных землетрясений кольцом охватывают Тихий океан. Этот пояс тянется по островным дугам – Алеуто-Аляскинской, Курило-Камчатской, Японской (Хонсю) и др. – располагающимся в так называемой зоне субдукции, где согласно теории тектоники плит, одна литосферная плита поддвигается под другую. Пояс продолжается в подобных зонах на западе и юго-западе Тихого океана и затем вдоль побережий Южной и Центральной Америки. Ответвлениями Тихоокеанского кольца землетрясений и цунами можно считать часть Индонезии в Индийском океане и острова Карибского моря в Атлантическом. Сильные подводные землетрясения, сопровождающиеся цунами изредка происходят и в других местах Индийского и Атлантического океанов, например, в Аравийском и Средиземном море, но все же цунами – явление, прежде всего, свойственное Тихому океану. На его долю приходится более 80% цунами Мирового океана.

Цунами известны человечеству с глубокой древности. Древнейший рассказ о цунами был найден археологами при раскопках поселка Ра-Шамра в Сирии. На глиняных табличках клинописью рассказывается об уничтожении столицы государства Угарит неожиданной волной невиданной высоты. По-видимому, речь идет о катастрофическом цунами, образовавшейся в Восточном вулкана Санторин в 1400–1500 г. до н.э.

На Камчатке, Курильских и Алеутских о-вах цунами стали известны сразу после открытия, исследования и присоединения к России этих территорий. В октябре 1737 года катастрофическое цунами обрушилась на Тихоокеанское побережье юга Камчатки и севера Курильских островов. В июле 1788 года сильнейшее землетрясение возникло у юго-восточного побережья Алеутских островов и Аляски. Один из первых исследователей Аляски И. Вениаминов писал в 1840 году, что при наводнении 1788 года на о-ве Унге погибло много алеутов, и что вода вышалаась до 50 сажень (более чем на 100 м).

В Центральной и Южной Японии сохранились записи о цунами с VII в., в Центральной и Южной Америке и на Филиппинах – со времен открытия и завоевания побережий испанцами, т.е. с XVI и XVII вв., в Индонезии со времени появления там голландцев, т.е. с XVII в. Цунами на Тихоокеанском побережье США и на Гавайских о-вах стали описываться практически с начала XIX в., на юго-западе Тихого океана (от Новой Гвинеи до Новой Зеландии) и в Канаде – со второй половины XIX в. Помимо упомянутых выше можно назвать еще десятки сильных цунами.

Для классификации цунами рядом специалистов предложена полуколичественная шкала интенсивности цунами, исходящая из высоты подъема волны на берегу. При увеличении средней (вдоль берега) высоты наводнения вдвое интенсивность цунами возрастает на 1 балл.

Катастрофическим цунами соответствует максимальная *интенсивность 4*. При таком цунами на участке побережья 400 и более километров средний подъем воды достигает 8 м. Местами волны имеют чудовищную высоту – 20–30 м. Такие цунами разрушают практически все сооружения на берегу, выкорчевывают деревья, смывают почву, увлекают за собой на сушу или в океан суда любых размеров, стоящие у берега. Побережье затапливается, особенно по долинам рек, на многие километры. Иногда на месте поселений остаются ровные площадки, покрытые песком или глиной. Цунами с интенсивностью в 4 балла фиксируются по всему побережью Тихого океана.

Интенсивность 3 соответствует очень сильным цунами. На участке побережья протяженностью 200–400 км вода в среднем поднимается на 4–8 м, а местами до 11 м. При таком цунами все строения повреждаются, наименее прочные полностью разрушаются. Затопление суши значительно, хотя и не так велико, как в предыдущем случае. Почвенный покров размывается. Суда, кроме самых крупных, цунами выбрасывает на берег или увлечает в океан. Все побережье захламляется обломками сооружений, покрывается морскими животными. Эти цунами наблюдаются на значительной части акватории океана.

Сильные цунами имеют *интенсивность 2*. Средний подъем воды на побережье длиной 80–200 км равен 2–4 м, а в отдельных местах 3–6 м. Повреждаются непрочные строения вблизи берега, например, вымываются первые этажи легких каркасных зданий. Размывается грунт, переносятся на берег или в море все мелкие суда и большие парусники. Заметно затопляется берег. Цунами регистрируется приборами (мареографами) в большей части океана.

Интенсивность 1 характеризует умеренные цунами. Вода поднимается на высоту порядка 1–2 м на протяжении 20–80 км. Как правило, эти цунами замечаются по обратному течению рек. Затапливаются только низменные участки побережья. Сооружения не разрушаются, но

легкие постройки у берега могут повреждаться. С берегов смываются разные предметы, на берег выбрасываются легкие суда и лодки. Вдали от очага цунами не наблюдаются и не регистрируются.

Интенсивность 0 имеют слабые цунами с высотой подъема воды около 1 м. Прочие цунами, не замечаемы человеком и регистрируемые только мареографами, с высотой от 30–40 см до 1мм имеют *интенсивность от –1 до –5*.

Очевидно, чем сильнее цунами, тем реже они происходят, и наоборот.

Как показали наблюдения, тенденция образования цунами в Тихом океане не ослабевает, а, возможно, даже усиливается. В среднем цунами с интенсивность 4 происходит в Тихом океане 1 раз в 10 лет, с интенсивностью большей или равной 3 – раз в три года, с интенсивностью большей или равной 2 – раз в год, с интенсивностью равной 1 – два раза в год, с интенсивность равной 0 – четыре раза. К сожалению, сеть мареографов на побережье Тихого океана, следящих за колебаниями его уровня, недостаточно густа, и, видимо, далеко не все слабые цунами, с высотой в сантиметры, регистрируются приборами. Даже многие цунами с высотой в десятки сантиметров проходят незамеченными.

Обобщение накопленных данных позволяет считать, что чаще всего цунами появляются на Камчатке, Курильских о-вах, о-ве Хоккайдо, северо-востоке о-ва Хонсю, о-ве Новая Британия, севере Соломоновых о-вов, затем на Аляске и Алеутских о-вах, на юге Японии, юге Филиппин, в ряде мест Индонезии, в Чили и Перу и т.д. На Тихоокеанском побережье России с начала XVIII в. по 1980 г. отмечено 60 достоверных случаев цунами, в том числе 30 разрушительных или потенциально разрушительных (с подъемом воды на берегу более 1 м).

Самым сильным из них, несомненно, было уже упоминавшееся цунами 1737 года, а самым тяжелым по последствиям – во многом похожее на него – цунами в ночь с 4 на 5 ноября 1952 года на юге Камчатки и севере Курильских о-вов, смывшее г. Северо-Курильск и другие поселения.

Неизбежность и в будущем возникновения цунами, внезапность появления волн, огромная разрушительная сила быстро движущейся водяной стены заставляет энергично разрабатывать защитные меры против цунами, несмотря на большую редкость этого катастрофического явления. Но для этого нужно знать механизм образования цунами.

Считается, что преобладающий механизм возбуждения сильных цунами состоит в подвижках крупных блоков земной коры по тектоническим разломам или системам разломов. При этом могут сместиться – не величину от миллиметров до десятков метров – и протяженные участки морского дна. Если при сильном землетрясении сколько-нибудь заметных подвижек земной коры не наблюдается, то такое землетрясе-

ние не вызывает цунами. Существует также мнение, что цунами порождаются мутьевыми потоками, возникающими при землетрясениях, но это предположение считается малообоснованным.

Точно также как от брошенного в спокойную воду камня расходятся концентрическими кругами волны, от эпицентров подводных землетрясений распространяются волны цунами. В открытом океане цунами ведут себя подобно мелководным волнам. Скорость распространения волн по глубокой воде равна 800 км/час, а по мелководью – 200 км/час. При вступлении на мелководье цунами начинает тормозиться: при глубине 100 м ее скорость снижается до 31 м/сек, а при глубине 50 м – до 22 м/сек. Теряя скорость, цунами начинает расти в высоту. Если в открытом океане на глубине 4000 м цунами имеет высоту 5,3 м, то на глубине 20 м высота ее достигает 20 м.

Для предупреждения населения о приближающейся опасности можно использовать то небольшое время, которое протекает между появлением возмущения воды над очагом землетрясения и приходом фронта цунами к берегу.

Иногда до того момента, когда разрушительные волны достигают побережья, остаются десятки минут (если очаг землетрясения находится недалеко), а иногда часы. Этого времени вполне достаточно, чтобы обнаружить цунами и оповестить население.

Узнать о возникновении цунами можно двумя способами. Первый, традиционный путь – сделать заключение о том, что землетрясение может вызвать цунами по особенностям записи землетрясения на берегу. Упругие волны бегут от очага землетрясения сквозь недра Земли до станции оповещения в 30 раз быстрее цунами.

По каким же особенностям сигналов землетрясения можно судить о том, вызвало ли оно цунами? В службах предупреждения о цунами используется пока один параметр землетрясения – его энергия (та самая магнитуда, о которой мы говорили на прошлом занятии). Слабые землетрясения не в состоянии вызвать цунами; все сильные подводные землетрясения магнитудой более 7,5 обязательно возбуждают цунами той или иной интенсивности.

В переходном диапазоне (от 6,5 до 7,5) точно предсказать возникновение цунами невозможно и прогноз землетрясения носит сугубо статистический характер. Так, в Курило-Камчатской зоне при принятом пороговом значении магнитуды 7,0 на одну оправдавшуюся тревогу в среднем приходится три ложных и на 150 предсказанных цунами одно пропущенное.

Второй путь обнаружения цунами состоит в прямой регистрации волн в открытом океане, на границе очага цунами. Для этого используются специальные донные датчики: один из них, фиксирует изменения

величины гидростатического давления, зависящей от уровня океана, другой – скорость массового переноса, так как цунами по существу представляют собой течения, охватывающие всю толщу воды от ее поверхности до дна.

Наряду с оперативным оповещением населения и флота о приближении цунами с целью эвакуации людей на возвышенные места и отвода судов от берега, большое значение имеет оценка максимально возможного подъема воды в данной точке побережья в целях правильного планирования и осуществления застройки побережья, в частности строительства сооружений, снижающих разрушительную силу цунами. Сеть таких сооружений и волнорезов практически охватывает все океанические (со стороны окраинных морей опасности цунами нет) берега Японии. Чтобы надежно давать такие оценки, нужно научиться аккуратно и правильно моделировать процессы возникновения и распространения цунами от сейсмического очага до выхода волн на берег.

Аналитическое описание цунами весьма сложно, так как не существует бассейнов одинаковой глубины. Вместе с тем существует пакеты программ, позволяющие просчитать цунами вплоть до выхода волны на берег. На основе расчетов, полученных с использованием этих программ, проводятся работы по районированию цунами и проектированию и сооружению защитных конструкций.

Контрольные вопросы

1. Что такое цунами?
2. Причины возникновения цунами.
3. Почему по мере приближения к берегу высота цунами стремительно растет?
4. В каких областях планеты наиболее часты цунами?
5. Энергия цунами и как подсчитать разрушительную силу цунами?
6. Способы обнаружения цунами.
7. Прогноз и меры предосторожности при цунами.

ТЕМА 4. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ

Айсберги, их распространение и катастрофическое влияние. Льды и их значение. Наводнения. Определение и причины наводнений: природные и антропогенные. Классификация наводнений. Последствия наводнений

Широко известна опасность айсбергов. Площадь распространения айсбергов в Мировом океане составляет 63,5 млн км², что соответствует 18,7% акватории океана. Айсберги сильно выпаживают отмели, что опасно для подводных экосистем, а также различных подводных сооружений, трубопроводов, кабелей и т.д. Широко известна опасность айсбергов для судов. Столкновение с айсбергами было причиной трагической гибели многих судов (например, крупного пассажирского судна «Титаник» в 1912 г., судна «Хедтофт» в 1959 г.).

Айсберг – ледяная гора, крупная глыба ледникового льда, плавающая в море, приледниковом озере или сидящая на мели. Айсберги – обломки материкового или шельфового льда (шельфовые ледники Антарктиды и северных о-вов Канадского Арктического архипелага, ледники Гренландии, Шпицбергена, Земли Франца Иосифа, Северной Земли и т.д.) Под водой находится до 90% объема, над поверхностью воды айсберги возвышаются на 70–100 м. Морские течения уносят их в более низкие широты, где они постепенно тают. В Северном полушарии айсберги иногда встречаются на широте Азорских и Бермудских о-вов.

Большое значение имеют речные, **озерные и морские льды**. Образование льда на поверхности водоемов препятствует полному их промерзанию. В результате образования льда формируется относительно теплый слой воды, в котором обитатели водоемов переживают неблагоприятный период. Вместе с тем льды могут играть и отрицательную роль. Так, в суровые зимы покрытие льдами огромных участков морей и океанов отрезает обитателей этих водоемов от привычных кормовых пастбищ, что приводит к гибели рыб, ластоногих и т.д.

Проблемы, обусловленные действием льдов, для человека заключаются в препятствии судоходству (особенно в тех районах, где ледостав – редкое явление), осложнении работ водо-эксплуатационных систем и воздействии на гидротехнические сооружения. Основная опасность для судоходства обусловлена сжатием льдов.

Наводнение – это значительное затопление водой местности в результате подъема уровня в реке, озере или море, вызываемое различными причинами.

Существуют и другие формулировки, различающиеся, главным образом, трактовкой того, что понимать под «значительным затоплением».

Например, одни авторы считают, что наводнение начинается тогда, когда река выходит из своего обычного русла в межень. Другие предлагают вести точку отсчета лишь с того момента, когда вода поднимается выше уровня поймы. Третьи предлагают рассматривать затопление местности с социально-экономических позиций и считать его наводнением лишь в том случае, когда население и хозяйство потерпели ощутимый урон. Видимо, в каждом конкретном случае должны быть свои критерии, учитывающие природную и социально-экономическую ситуацию.

Актуальность изучения наводнений всегда была очень большой, потому что они издавна накладывали свой отпечаток на развитие хозяйства. По масштабности разрушительных действий наводнения стоят на четвертом месте после землетрясений, вулканизма и цунами. Возможно, в прошлом наводнения оказывали большее воздействие на жизнь общества, чем сейчас, учитывая, что древние цивилизации и угодья сложились на берегах крупных рек, и что человечество в прошлом располагало гораздо меньшими возможностями борьбы с наводнениями, чем сейчас.

Сильнейшее наводнение, которое произошло примерно 5600 лет т.н. в долине Тигра и Ефрата в Месопотамии, имело столь серьезные последствия, что нашло отражение в Библии как Всемирный Потоп. И в последующем в различных районах мира неоднократно происходили катастрофические наводнения, приводившие к многочисленным человеческим жертвам и разрушениям. Поэтому наводнения по своим разрушительным последствиям стоят в первом ряду среди природных катастроф. По данным ЮНЕСКО, за последнее столетие в мире от них погибло 9 млн чел., в то время как от землетрясений и ураганов – 2 млн чел. Помимо неисчислимых человеческих жертв, огромен материальный ущерб, наносимый наводнениями. В некоторых странах среднегодовые убытки могут составлять до 15% валового продукта, в целом же по миру они исчисляются миллиардами долларов.

Наводнения происходят во все сезоны года и практически повсеместно. От них страдают жители речных долин и морских побережий, горных районов и, как не удивительно на первый взгляд, пустынь. Поэтому сокрушительному воздействию водной стихии подвержены как обширные сельские районы, так и крупнейшие столицы мира.

На одной и той же территории наводнения могут происходить каждый год и даже несколько раз в году. Большая опасность заключается в том, что часто они начинаются внезапно, и люди не успевают к ним подготовиться. Наводнениями могут быть затоплены сотни и тысячи км² и вода на них может стоять месяцами.

По имеющимся данным, от 2 до 10% общей площади стран, на которых сконцентрировано 1–5% населения, подвержены периодическим затоплениям, наводнениям. В США наводнения могут происходить на 3% территории, в Индии – на 7,6%, в Бразилии – на 3,5%, во Франции – на 1,8%. Тяжелые последствия наводнений связаны не только с природными причинами, но и с хозяйственной деятельностью человека.

Природные причины наводнений. *Половодье* – ежегодно повторяющееся сезонное длительное и значительное увеличение водности рек, сопровождающееся повышением уровня воды в русле и затоплением поймы, – одна из основных причин наводнений. Длительность половодья зависит от длины и ширины русла рек, высоты снежного покрова, дружности весны и ряда др. причин. Большой объем половодья наблюдается в долинах высокогорных районов, где весенне-летний сток формируется за счет таяния высокогорных снегов и ледников. Особо тяжелые последствия имеют половодья в том случае, если период таяния снега и льда в горах совпадает с таянием снежного покрова в долинах.

Дождевые паводки представляют собой меньшую опасность, чем половодья. В отличие от половодья они могут повторяться несколько раз в году. Их частота и интенсивность зависят от частоты и интенсивности дождей в весенне-осенний период или оттепелей зимой, приводящих к таянию снега и льда и выпадению осадков. Особо следует выделить такие типы наводнений, которые порождаются внезапными паводками. Причиной их служат ливни, вызываемой циклональной деятельностью. Наиболее мощные ливни приносят тропические циклоны. В нашей стране от дождевых паводков страдают практически все регионы. В этом отношении весьма неблагоприятны районы с муссонным климатом (Китай, Вьетнам, Индия), к которым можно отнести и южную часть Дальнего Востока России (Приморский край).

Заторно-зажорные наводнения. В конце осени и в начале зимы на реках Северного полушария часто происходит образование внутриводного льда во время ледостава. Всплывая на поверхность, он образует рыхлые скопления – *шугу*. Ранее образованная шуга, приносимая течением, всплывает, задерживается и нарастает под ледяным покровом. Такое явление называется *зажором*. Вследствие зазора вышележащие участки поймы могут подвергаться затоплению из-за повышения уровня воды. В отличие от зажорных наводнений затопления, вызываемые *заторами* льда, длятся обычно не более недели. Заторы происходят во время ледохода. Наводнения заторного типа происходят на крупных реках, впадающих в Северо-Ледовитый океан.

Морские нагонные наводнения. Сильные ветры при прохождении циклонов вызывают усиленное движение морских вод в сторону наветренного берега. В результате наблюдается подъем уровня воды. Кроме

того, в центре циклона образуются длинные волны. Высота волны значительно возрастает при прохождении в шельфовой зоне. Одновременно последствием циклонов могут быть *сейши*, представляющие собой свободные колебания воды без ее перемещения вдоль поверхности, происходящие по инерции после ослабления ветра. В том случае, когда берег низкий и пологий, подъем уровня воды при нагоне приводит к очень большим затоплениям. В устьях рек, имеющих небольшой уклон в сторону моря и большую глубину, нагонные волны могут распространяться на значительные расстояния (несколько десятков километров), вызывая подъем воды, а, следовательно, – наводнения (например Амазонка).

Наводнения, вызванные цунами. Приближающаяся к берегу, волна представляет собой водяной вал высотой от 15 до 50 м. Это бурлящая стена с почти вертикальным фронтом, обладающая громадной кинетической и потенциальной энергией. Он обрушивается на берег, создавая ударную волну, которая обладает значительной разрушительной силой. Затопляя прибрежную зону, океанская волна при обратном движении создает водовороты в береговых понижениях рельефа, в которые затягивает все, что попадается на ее пути. Наводнения, порождаемые цунами, характеризуются неожиданностью, цикличностью, быстротечностью и колоссальной разрушительной силой.

Антропогенные причины наводнений. Причины наводнений, обусловленные антропогенными факторами, можно разделить на прямые и косвенные. Такие виды хозяйственной деятельности на водосборах, в речных долинах и поймах, как сведение лесов, осушение болот, промышленная и жилищная застройка, ведут к изменению гидрологического режима рек. В результате происходит увеличение поверхностной составляющей стока, что непосредственно не приводит к наводнениям, но в период прохождения пиков паводков и половодий угроза наводнений значительно возрастает. Эти причины являются косвенными.

В результате сведения лесов уменьшается инфильтрационная способность почв и увеличивается интенсивность их смыва. Увеличению стока способствует также сокращение суммарного испарения в связи с прекращением перехвата осадков лесной подстилкой и кронами деревьев, задерживающих до 30% суммы осадков. Установлено, что после полного ведения лесов в зависимости от географических условий максимальный поверхностный сток возрастает на 250–300%.

На почвах с легким и средним механическим составом в результате периодической распашки развивается эрозия, также ведущая к увеличению максимального стока. Продольная распашка склонов, переуплотнение полей при использовании тяжелой техники, переполив – все это факторы, усиливающие интенсивность паводков и половодий.

Уменьшение инфильтрационных свойств почв – одна из основных причин усиления поверхностного стока в городах. Это связано с ростом водонепроницаемых покрытий и застройки.

К существенным изменениям гидрологического режима приводит и усиленное освоение пойм рек – естественных регуляторов стока. Осушение болот – естественных аккумуляторов стока – также приводит к его возрастанию.

К прямым причинам относятся: неправильное проведение паводкозащитных мероприятий (например, Тиса на венгерской территории), разрушение искусственных плотин, дамб, др. защитных сооружений (плотина Мальпассе во Франции, выход более чем 25 млн. кубометров воды).

По высоте подъема уровня воды в реках, размерам площади затоплений и величине наносимого ущерба различают: 1 – низкие, охватывающие небольшие территории и отличающиеся небольшим подъемом воды (1 раз в 5–10 лет); 2 – высокие, охватывающие значительные территории и имеющие большим подъемом уровня воды (1 раз в 20–25 лет); 3 – выдающиеся, охватывающие целые речные бассейны, возникает необходимость эвакуации населения (1 раз в 50–100 лет); 4 – катастрофические, вызывающие затопления в пределах нескольких крупных речных систем (национальное бедствие).

Контрольные вопросы

1. Основные типы гидрологических катастроф.
2. Причины образования айсбергов.
3. Причины возникновения наводнений.
4. Назовите основные типы наводнений.
5. Специфика антропогенных наводнений.
6. Какие области планеты подвержены наиболее сильным и частым наводнениям?

ТЕМА 5. ЛЕДОВЫЕ КАТАСТРОФЫ

Ледники, их распространение и геологическая роль. Ледовые подвижки и их катастрофическое воздействие на окружающую среду. Признаки пульсирующих ледников. Закономерности динамики пульсирующих ледников

Ледниками, или глетчерами, называют движущиеся естественные скопления льда, возникающие на поверхности суши при постепенном уплотнении и перекристаллизации многолетних накоплений снега. Под давлением накопившихся масс ледники благодаря пластичности льда движутся по своему ложу, преобразуя его рельеф, перенося и перекладывая в виде ледниковых отложений большие массы обломочного материала.

Для возникновения ледников необходимо, чтобы годовое накопление, или аккумуляция, твердых атмосферных осадков превышала их годовой расход на испарение и таяние, или абляцию.

Уровень, на котором приход снега для горизонтальной незатененной поверхности оказывается равным его расходу, называется климатической снеговой линией. Выше нее приход снега больше расхода и поднимающиеся на эту высоту вершины покрыты вечными снегами и ледниками. Высотное положение снеговой линии зависит от климата. Ниже всего она располагается в приполярных зонах и выше всего в жарком климатическом поясе.

Накапливающаяся снежная толща – это неустойчивая смесь ледяных частичек, воздуха и водяных паров. Выпавшие из атмосферы снежинки весьма недолговечны и быстро теряют свою звездчатую форму. Часть из них оплавляется под действием солнечных лучей еще на поверхности снежного покрова. Однако основные преобразования происходят внутри снежной толщи вследствие постоянно происходящей там сублимации (превращение водяных паров в лед, минуя жидкую фазу) водяных паров. В результате сублимации происходит наращивание тела снежинок, они округляются и превращаются в зерна льда. К этому присоединяется еще и образование льда при замерзании просачивающейся с поверхности талой воды. Эти преобразования снежной толщи носят название фирнизации.

Следующая стадия преобразования – это собственно льдообразование. Под давлением верхних слоев нижние слои фирна постепенно уплотняются, пронизывающие их поры постепенно сдавливаются, воздух из них вытесняется, а составляющие фирн ледяные сростки перекристаллизовываются и укрупняются. В конце концов, фирн превращается в чистый прозрачный голубой ледниковый, или глетчерный, лед.

В основе движения ледников лежит свойство льда становиться пластичным уже под умеренной нагрузкой, в связи с чем, при наличии сдвигающих напряжений, начинается его пластическое течение. Главным источником напряжений в ледники является параллельная уклону составляющая веса льда. Ледник стекает вниз по уклону под собственной тяжестью. Однако крупные ледники могут двигаться против уклона ложа. Обычно ледники подразделяются на две большие группы – горные и покровные.

У ледников есть область питания, которая расположена у основания стенок кара и в которой происходит накопление снега за счет низвергающихся снежных лавин, а также процессы фирнизации и льдообразования. Ближе к выходу поверхность понижается и начинается область абляции, где ледник тает и может существовать за счет постоянного притока новообразованного льда из области питания.

Ледники совершают огромную работу по преобразованию поверхности Земли. Работу ледников по разрушению своего ложа и сносу образующегося обломочного материала принято называть ледниковой *эрозией*, либо *экзарацией*. К ледниковым формам рельефа относятся бараньи лбы, курчавые скалы, ледниковые цирки, или кары, трог (ледниковые долины). Помимо этого ледники переносят огромное количество обломочного материала. Этот материал называется моренами. Различают внутреннюю, поверхностную, боковую, срединную, донную морены, а также конечную морену.

В связи с детальным изучением и хозяйственным освоением высокогорных территорий человеку все чаще приходится сталкиваться с грозными явлениями природы, одним из которых являются внезапные продвижения ледников. Причем гораздо большую опасность представляет не сам ледник, который продвигается лишь на несколько километров. Дело в том, что при продвижении такой ледник нередко перегораживает боковые долины, и за ледяными запрудами образуются озера. Большая масса воды накапливается в них и прорывает непрочную плотину, и тогда огромная волна воды, смешанной со льдом и валунами, со скоростью курьерского поезда устремляется вниз по долине, сметая все на своем пути.

Современными средствами человек не может предотвратить катастрофические подвижки ледников. А чтобы можно было заранее принимать меры для защиты населения и хозяйственных объектов, необходимо изучить механизм ледниковых подвижек, выяснить их причины и разработать методику прогноза времени и масштабов продвижений ледников.

О быстрых подвижках отдельных ледников, которые не имели прямой связи с общим изменением климата, было известно давно. Сохранились драматические описания ледовых катастроф.

В начале прошлого века газеты и журналы Российской Империи сообщили о катастрофическом ледяном обвале на Кавказе, в верховьях реки Геналдон. По свидетельству местных жителей, с первых чисел мая 1902 г. со стороны ледника Колка слышались постепенно усиливавшийся треск льда и шум камнепадов. К вечеру 3 июля ледник начал быстро двигаться и превратился в гигантский ледово-каменный селя, со страшным грохотом прокатившийся вниз по долине и сметавший все на своем пути. Было разрушено 17 мельниц и местечко Темникау, куда собирались больные, лечившиеся на Кармадонских горячих источниках. Погибло 36 человек и более 1500 голов скота. Дно долины на протяжении 12 км было завалено сплошным слоем льда, снега и камня толщиной до 50–70 м. Объем переместившихся масс составил 70–75 млн м³. Эту катастрофу исследователи связывали с известным Шемахинским землетрясением. Но прошло 67 лет, и осенью 1968 г. ледник Колка вновь дал о себе знать, хотя на этот раз землетрясения поблизости отмечено не было. Конец ледника, представлявший собой хаотическое нагромождение обломков льда, камней и грязи, за 3 месяца продвинулся на 4,6 км, создав реальную угрозу курорту Кармадон и селениям в долине р. Геналдон. К счастью, эта подвижка не вызвала катастрофического селя, так как произошла осенью, когда таяние было незначительным и в это время не было ливневых дождей, которые предшествовали подвижке 1902 г.

В 1953 г. ледники Куранкар, Нан и Кутсумбур, расположенные в горах Каракорума, начали быстро двигаться и, слившись, заполнили дно долины р. Кутьях, образовав новый ледниковый язык – ледник Кутьях, который продолжал продвигаться вниз по долине со средней скоростью 113 м в сутки, сметая росшие в долине деревья и постройки. За 3 месяца конец ледникового языка продвинулся на 12 км и перегородил р. Стак. В долине этой реки образовалось достаточно большое озеро, прорыв которого вызвал большие разрушения.

В Исландии периодически, каждые 80–90 лет, наступает большой ледник Бруарйекулдль. Конец ледника продвигается и во время общего климатического оледенения и когда большинство ледников Северного полушария отступает. Ледник двигался в 1625, 1720, 1810, 1880 и 1963–1964 гг. За время между подвижками край ледника возвращался в исходное положение, а его поверхность выравнивалась. В 1963 г. скорость движения льда здесь временами достигала 4 м/час, движение было неравномерным, резкие толчки чередовались с задержками. Вся область расхода ледника и большая часть области аккумуляции были раздроблены многочисленными трещинами на призматические блоки. К августу 1964 г. фронт ледника протяженностью 45 км продвинулся на 8,3 км. Общая масса льда, вовлеченная в эту подвижку, составила 70 м³.

Наиболее значительное известное продвижение ледника произошло на Северо-Восточной Земле (Шпицберген), когда между 1936 и 1938 гг. часть склона Южного ледяного поля сползла на 20 км в море, образовав сильно разбитый трещинами ледниковый язык шириной 30 км, площадью 400–500 км², который получил название «Бразвельбре» (быстро растущий ледник).

Аналогичных подвижек выявлено довольно много. Только на территории Северной Америки обнаружено 204 случая быстрого продвижения ледников, в том числе 35 подвижек произошло после 1960 г. Насчитывается около 70 ледников в горно-ледниковых районах Средней Азии, Кавказа и Камчатки, на которых в разное время замечено продвижение концов. Подвижки ледников зарегистрированы в Исландии, на Шпицбергене, в Южной Америке, в Альпах, Гималаях, Каракоруме и Новой Зеландии; не исключена возможность подвижек ледников в Гренландии и Антарктиде.

Естественно, при более детальном исследовании горно-ледниковых районов будет обнаружено большее число периодически продвигающихся ледников.

Хотя внезапные быстрые продвижения ледников и катастрофические последствия издавна обращали на себя внимание исследователей, до недавнего времени они имели лишь самые общие описания таких подвижений и их последствий. Большинство исследователей связывало подвижки ледников с землетрясениями, горными обвалами, перехватами верховий соседних ледников, с выходами под ледниками теплых вод, с аномально многоснежными зимами и другими внешними факторами. Их относили к числу случайных явлений, прогнозировать которые невозможно.

В настоящее время существует другая точка зрения, согласно которой периодические быстрые подвижки ледников считаются явлением закономерным, обусловленным неустойчивым динамическим состоянием самих ледниковых систем и от внешних факторов зависящим лишь косвенно. Скачкообразные продвижения концов таких ледников с увеличением скорости движения льда в 10–100 раз, сопровождающиеся резкими изменениями их морфологии, – это лишь внешнее выражение разрядки напряжений, длительное время накапливавшихся в теле самого ледника. Когда такие напряжения достигают критических значений, превышающих сопротивление льда на разрыв и сдвиг, ледник начинает разламываться по системе сколов и трещин на отдельные крупные пластины и блоки. Это резко меняет условия движения льда: медленное ламинарное течение сменяется быстрым глыбовым скольжением ледяных пластин и блоков по ложу и внутриледниковым разрывам и сколам. Ускорению скольжения льда способствует смазка плоскостей скольжения водно-глинистой эмульсией, которая образуется в результате по-

верхностного, фрикционного и геотермического таяния льда, содержащего золую пыль и морену. При резком увеличении скоростей движения льда происходит перераспределение вещества внутри ледниковой системы без изменения его общей массы. Морфологически это выражается в понижении поверхности ледника в зоне выноса, в повышении ее в зоне привноса и в продвижении конца ледникового языка по долине.

Признаки пульсирующих ледников. Ледники, которым свойственны периодические подвижки, называются пульсирующими ледниками. Ледники этого класса пульсируют повторно примерно через равные промежутки времени, хотя на разных ледниках период пульсации может быть самым различным – от нескольких лет до нескольких десятилетий и сотен лет. Причем большинство пульсаций, для которых есть данные во времени, – равномерно периодические и не вызываются какими-либо из внешних факторов.

Собственно подвижка пульсирующего ледника относительно кратковременна, ее продолжительность в 10–100 раз меньше продолжительности подготовительной фазы, а скорости движения льда во время активной фазы всегда в 10–100 раз больше, чем скорости движения льда в тех же местах в периоды между подвижками. Во время активной фазы лед обычно смещается на несколько километров, но не всегда горизонтальные перемещения льда вызывают продвижения конца ледника, поскольку пульсации – равномерно периодические и при каждой последующей подвижке ледник достигает положения предыдущей. Положение может измениться лишь при изменении общего приходно-расходного баланса ледника.

Области выноса и привноса льда во время подвижек легко различаются: в первой поверхность льда понижается, во второй – повышается. Амплитуда изменения высоты поверхности колеблется от нескольких десятков до 150–200 м. В период между подвижками об изменении уровня поверхности ледника можно судить по следам, оставленным ледником на склонах долины. Зоны повышения и понижения поверхности могут смещаться вниз по течению ледника по мере прохождения волны ледникового паводка. Пульсация захватывает или весь ледник, или только его часть преимущественно в области абляции (уменьшения массы ледника путем таяния, испарения и механического разрушения). Кроме того, в активную стадию пульсации поверхность ледника раздроблена многочисленными разломами и трещинами. Наиболее крупные формы трещинной тектоники – горизонтальные сколы в теле ледника и продольные краевые разломы. Продольные и поперечные профили ледника в зоне выноса становятся вогнутыми, а в зоне привноса –

выпуклыми. Таковы характерные морфологические признаки пульсирующих ледников.

Чтобы выяснить механизм и причины ледниковых пульсаций, необходимо располагать количественными характеристиками изменения морфологии и динамики пульсирующих ледников на разных стадиях пульсации. Для этого ведутся специальные наблюдения.

Закономерности динамики пульсирующих ледников. Понятие «пульсация» включает полный цикл колебаний размеров и скоростей движения пульсирующих ледников, их активную и подготовительную фазы. Полный цикл пульсации может быть разделен на три основные стадии: стадию продвижения – подвижку, стадию омертвения и деградации, и, наконец, стадию восстановления.

В стадию продвижения разрядка напряжений в теле ледника быстро приводит к его растрескиванию и резкому увеличению скорости движения льда в диапазоне от 10 до 100 раз. Паводочная волна стремительно распространяется вниз по леднику со скоростью, превышающей скорость движения льда в 3–4 раза. Во время этого ледникового паводка вещество перемещается из зоны выноса в зону привноса, продвижение происходит без изменения общей массы льда в ледниковой системе. Поэтому в зоне выноса поверхность снижается, здесь формируются трещины растяжения, а на конце продвигающегося языка лед вспучивается и образует формы надвиговой тектоники. Вдоль бортов долины образуются гигантские продольные разрывы, отсекающие осевую зону ледникового потока от боковых морен и краевых зон дробления. В придонных частях и внутри ледника возникают горизонтальные сколы значительной протяженности, по которым верхние горизонты ледниковой толщи скользят по нижним. Аналогичная картина наблюдается при натекании притоков на главный ледник. С формированием сколов и разрывов в леднике связан также скачкообразный характер движения льда во время подвижки.

После прекращения движения ледник вступает в стадию омертвения и деградации, во время которой поверхность ледника оседает и выравнивается, разрывы и трещины замыкаются, талые воды заполняют наледниковые и внутрiledниковые полости, поверхность ледника засоряется моренным материалом. Над подледными и внутрiledными потоками образуются сквозные провалы, которые, сливаясь, разрезают продвинувшийся конец ледника на изолированные глыбы мертвого льда. Краевые зоны дробления замещаются боковыми моренами, а продольные разломы – ложбинами стока.

В стадию восстановления ледник активизируется и постепенно приближается к исходному положению для следующей быстрой подвижки. В то время, как нижняя часть ледникового языка еще продолжа-

ет разрушаться, в верховьях уже происходит интенсивное накопление льда, которое на первых порах не компенсируется оттоком. Мощность ледника быстро растёт, скорость движения льда увеличивается. Выпуклый «лоб» активизирующейся части ледника постепенно продвигается вниз, поглощая его деградирующую часть. Продольный профиль ледникового языка становится все более крутым, а напряжение в толще ледника приближается к критическому, пока ледник «не созреет» для очередной подвижки.

Таким образом, быстрые подвижки ледников не являются внезапным событием, а подготавливаются постепенно на протяжении длительного времени. В связи с этим исследование эволюции пульсирующего ледника может служить основой для прогнозирования времени и масштабов ледникового паводка, что в ряде случаев позволит избежать катастрофических последствий.

Контрольные вопросы

1. Понятие о ледовых катастрофах.
2. Условия формирования ледников и глетчеров.
3. В чем заключается геологическая деятельность ледников?
4. Стадии развития ледника и типы ледниковых осадков.
5. Основные типы ледников.
6. Назовите крупнейшие ледники мира.
7. Защитные меры от ледниковых подвижек.

ТЕМА 7. СТИХИЙНО-РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРАХ: ЛАВИНЫ

Лавины и их природа. Классификации лавин. Районирование лавиноопасных территорий. Лавины и рельеф. Лавины и растительный покров. Защита от лавин.

Лавины относятся к числу наиболее массовых природных явлений, распространенных повсеместно в горах. Это явление относится к экзогенным процессам. В формировании лавин участвуют многие компоненты природной среды, и каждый раз сочетание различных природных условий, приведшее к образованию лавин, оказывается новым.

Упоминание о лавинах встречаются в сочинениях писателей древности, живших более 2000 лет назад. Древнейший историк Полибий (201–120 г. до н.э.) писал о потерях от лавин при переходе войск Ганнибала через Альпы (218 г. до н.э.). Древнеримский географ Страбон (63 г. до н.э. – 20 г. н.э.) писал о лавинной опасности, подстерегающей путешественника в Альпах и на Кавказе.

Лавина – это мощный снежный обвал, возникающий на крутых горных склонах. Пришедшие в движение огромные массы снега скользят по поверхности склона или низвергаются, проходя часть пути в свободном падении. Падение лавин сопровождается в зависимости от состояния снега оглушительным шумом и скрежетом. В отличие от обвалов скальных пород снежные обвалы в процессе движения значительно увеличиваются за счет захвата новых слоев снега, лежащих ниже по склону. Скорость лавин может достигать 80–100 м/сек, а объем отложившихся масс снега одной лавины – 2 – 6 млн м³, а мощность снежников – до 20 – 50 м.

Ощущения человека, застигнутого лавиной, очень хорошо передает австрийский исследователь М. Здарский: «Меня потащило в бездну... Мне казалось, что я лишен рук и ног, словно мифическая русалка; наконец я почувствовал сильный удар в поясницу. Снег давил на меня все сильнее и сильнее, рот был забит льдом, глаза, казалось, выходили из орбит, кровь грозилась брызнуть из пор. Было такое ощущение, что из меня вытягивают внутренности...». Он получил 80 переломов костей, но остался жив.

В феврале 1965 г. на поселок Ледюк-Кемп (Британская Колумбия), построенный в Андах для разработки месторождений меди, сошла лавина: «Сила лавины была такова, что она не просто повалила здания, а разнесла их на куски. Она подняла рельсы и вентиляционные трубы,

тяжелые деревянные балки и фанерные листы и метнула их, словно копы. Подобно ребенку, ломающему игрушку, она разнесла вертолет на мелкие обломки». Этой лавиной было засыпано 50 человек.

Лавинные катастрофы происходят в результате метеорологических ситуаций, также при сходе лавин, когда «оживают» редко действующие лавинные аппараты. Катастрофы, связанные с обильными снегопадами, хорошо известны в Альпах. Об одной из них говорится в хронике 1689 г. Тогда лишь в долине Монтафона (Швейцария) погибло 120 человек, было уничтожено 119 домов, много скота, хозяйственных построек, леса.

В январе 1951 г. в зоне лавинных катастроф оказалась вся Альпийская горная цепь длиной около 700 км и шириной 150 км. Снегопад, сопровождавшийся буранами, продолжался во многих районах в течение семи дней и закончился резким потеплением. Количество выпавшего снега местами превышало годовую норму осадков в 2-3 раза и достигало 2-3 м. Склоны оказались перегруженными снегом, и начался массовый сход лавин. Нарушилась вся транспортная сеть Альп – шоссе и железные дороги были местами разрушены или завалены и временно закрыты. Лавины сошли в места, где многие поколения жителей их не знали. Были уничтожены здания отелей, заповедные леса. В области Альп в январе-феврале 1952 г. погибло около 300 человек. Всего за зиму 1950-1951 гг. в Швейцарских Альпах было зарегистрировано 1301 лавина, при этом было завалено 234 человека, в том числе погибло 98 человек.

Большая лавинная катастрофа произошла в Альпах в январе 1954 г. Продолжительный снегопад сопровождался ураганскими ветрами. Огромное количество лавин обрушилось на дно долин. Лишь на одном участке железной дороги Арльберг-Вестрампе (Австрия) линию дороги пересекли 112 лавин. Многочисленные противолавинные сооружения и служба дозора не в состоянии были обеспечить полную безопасность. В ночь с 11 на 12 января непрерывно шел снег. Через полчаса после полудни небывалых размеров лавина Муттентобель сорвалась вниз, преодолела все преграды и обрушилась на железнодорожные пути вблизи вокзала Далас. Вообще в Альпах очень многие лавины сходят систематически в одних и тех же местах, они даже получили собственные имена. Итак, лавина Муттентобель сбросила под откос два вагона поезда и, сорвав с рельс 120-тонный паровоз, ударила им в стену вокзала, разрушив при этом часть здания и похоронив под обломками 10 человек.

К огромным жертвам и материальному ущербу от лавин приводит не только необычная метеорологическая ситуация, но и присутствие людей в горах (горнолыжный спорт, туризм, постройка предприятий и населенных пунктов). В США во время «золотой лихорадки» (1860-

1910 гг.) в горы хлынул поток людей. Вот сведения о жертвах от лавин только в окрестностях Алты. Начиная с 1874 г., когда лагерь рудокопов был полностью снесен лавиной, погибло более 60 человек. В течение следующих лет под лавинами было погребено более 67 человек. В последующие годы были отмечены три лавины, каждая из которых погубила более 10 человек.

В период первой мировой войны людские потери при лавинных бедствиях на австро-итальянском фронте в Альпах превзошли потери от военных действий. За три года войны обе воюющие стороны потеряли 40–50 тыс. человек. Лавины, обрушившиеся 12 и 13 декабря 1916 г. после обильных снегопадов, унесли лишь с австрийской стороны около 6 тыс. человеческих жизней.

В настоящее время обычно от лавин гибнут туристические группы и жители тех поселков, которые не используют защитные сооружения. Так, зимой 1954 г. в Австрии от лавин погибло 132 человека, в Швейцарии – 27 человек.

Иногда разрушение зданий или уничтожение лесов вызывается воздушной волной, образующейся перед фронтом движущейся пылевой лавины. Вот как передает наблюдатель картину воздействия воздушной волны. «Большой барак задолго до того, как его достигло снежное ядро лавины, развалился на части, словно картонный домик. Балки и доски дугой полетели по воздуху и упали на противоположный склон, снег же самой лавины остановился, не дойдя до дна долины».

Природа лавин. Снежный покров на склоне гор, находится в состоянии неустойчивого равновесия. Силы сцепления внутри снежной толщи и на границе с земной поверхностью противодействуют силе тяжести, стремящейся сбросить снег к подножию склона. Свойства самой снежной толщи при этом непрерывно меняются как из-за смены метеорологической обстановки, так и под воздействием процессов, идущих внутри толщи снега. Новые снегопады и метели увеличивают вес снежных масс, резкие перепады температуры воздуха меняют величину напряжения пластов твердого снега, оттепели порождают интенсивное таяние, дожди ослабляют связи между частицами льда в снегу. Оседание и уплотнение снега увеличивают устойчивость снежного покрова на склоне, в то время как миграция водяных паров приводит к формированию горизонтов разрыхления.

Момент возникновения лавины, т.е. срыв снежных масс со склона, означает преодоление силой тяжести сил сцепления внутри или у нижней границы снежного покрова. Исследователи выделяют четыре главные причины возникновения лавин.

Первая – это перегрузка склона снегом при длительных снегопадах и метелях (когда происходит быстрое увеличение снежной массы). Массовый сход лавин вызывается обычно именно этой причиной.

Вторая – уменьшение прочности снега при перекристаллизации. Снег, как пористая среда хороший теплоизолятор. В условиях умеренного климата температура в приземном слое снежного покрова обычно держится около 0° , тогда как на поверхности она сильно колеблется. При значительных отрицательных температурах на поверхности снежного покрова внутри снежной толщи возникает температурный градиент и начинается миграция водяных паров из нижних (теплых) горизонтов в верхние (холодные). Вынос частиц вещества из нижних горизонтов приводит к их разрыхлению и формирования слоя глубинной изморози, которая образована ограниченными кристаллами снега (призмы, бокалы, пирамиды и т.д.), размером до 10 мм и более. Силы сцепления из-за рыхлого строения этого слоя очень незначительны. Лавины, возникающие, главным образом, по этой причине, сравнительно редки, но велики по объему и разрушительности. Их называют иногда лавинами замедленного действия, поскольку момент схода не связан с условиями погоды, как это происходит с лавинами, формирующимися при перегрузке склонов во время снегопадов и метелей.

Третье – это температурное сокращение снежного пласта. Оно возникает в результате резких колебаний температуры воздуха. Снег пластичен при температуре около 0° и становится хрупким с понижением температуры. Если снежный покров, лежащий на склоне, уплотнен, он может находиться в напряженном состоянии, т.е. иметь зоны сжатия и растяжения (надо отметить, что на изменения внешних условий пласт реагирует как единое целое). При этом вследствие резкого охлаждения в снегу возникают трещины. Разрыв снежного пласта может вызвать лавину, если давление сдвига превысит силы сцепления.

Четвертая – ослабление связей при снеготаянии. С появлением воды под поверхностью снега происходит ослабление или разрушение связей как между кристаллами или зернами фирна, так и между слоями снега. Фирн – зернистый снег, образующийся в результате таяния и повторного замерзания, а также давления вышележащих толщ снега. В зависимости от интенсивности снеготаяния и глубины промачивания снежной толщи формируются разные типы лавин. При радиационном таянии снега, захватывающем тонкий слой, на южных склонах образуются мелкие поверхностные лавины. При оттепелях (особенно с теплым ветром или дождем) образуются мокрые лавины средней мощности; при этом верхний (влажный) слой снега соскальзывает по нижнему слою, не затронутому процессами фильтрации воды. При продолжительных оттепелях и дождях, когда промачивается вся толща снега, возникают

мощные грунтовые лавины, движущиеся по грунту и захватывающие массу обломочного материала, который увеличивает разрушительную силу снежных лавин. Изучение основных причин, вызывающих лавины, помогает подойти к проблеме подразделения лавин на главные типы, т.е. их **классификации**. Существует несколько классификаций лавин, в основу которых положены разные признаки: тип снега (рыхлый или плотный), содержание в снегу воды, характер движения, поверхность скольжения, морфология пути. Однако общая классификация лавин должна отражать наиболее существенные их признаки и служить практическим целям организации защиты от лавин (Табл. 2).

Таблица 2

Международная классификация лавин

Зоны	Критерий	Альтернативные характеристики и наименование лавин	
Возникновения	А. Каким образом началось движение	Двинулась с линии (лавина из снежных досок)	Двинулась с точки (рыхлая лавина)
	Б. Положение скользящей поверхности	В пределах снежного покрова (поверхностная лавина)	На грунте (лавина полной глубины)
	С. Жидкая вода в снегу	Отсутствие (сухая лавина)	Имеется (мокрая лавина)
Транзита (перемещения)	Д. Вид пути	Путь на ровном склоне (неограниченная лавина, или осов)	Путь в овраге или канале (лотке) (канальная, или лотковая, лавина)
	Е. Вид движения	Облако снежной пыли (пылевая лавина)	Текущая по грунту (текущая, или грунтовая, лавина)
Отложения	Г. Жидкая вода в снегу	Отсутствует (отложения сухой лавины)	Имеются (отложения мокрой лавины)
	Обломки снежной породы во время отложения	Пылевое отложение с угловатыми глыбами	Аморфная масса Шарообразные глыбы

Этим требованиям в наибольшей степени отвечают два подхода к подразделению лавин на главные типы. Первый генетический исходит из учета

причин схода лавин; ценность его состоит в возможности разработки прогноза наступления лавинной опасности. В основе второго подхода лежат учет рельефа снегосборного бассейна и пути движения лавины. Этот принцип позволяет рассчитать объемы и дальности выброса лавин, т.е. необходимо при картировании лавиноопасных территорий.

Генетическая классификация лавин, наиболее полно разработанная В.Н. Аккуратовым, включает следующие классы и типы лавин.

I. Класс сухих (холодных) лавин. Состоят обычно такие лавины из сухого снега; сходят преимущественно зимой; пути схода строго не ограничены – могут сходить по ровному склону и частично по воздуху. Они имеют максимальную скорость, могут образовывать воздушную волну. К классу сухих относятся следующие типы лавин:

1. Лавины из свежевывапавшего снега. Такие типы лавин возникают из-за перегрузки склонов при продолжительных снегопадах. Для схода лавин достаточно 0.3–0.5 м свежего снега. В многоснежных районах умеренного пояса этот тип лавин является основным.

2. Лавины из метелевого снега. Причина их возникновения – большая скорость роста составляющей силы тяжести на склоне. Это наиболее характерный тип лавин для районов с умеренно холодным климатом и бурным ветровым режимом.

3. Лавины, связанные с перекристаллизацией снега и образованием слоев глубинной изморози (силы сцепления в которых ослаблены). Обычно редкие, но мощные лавины.

4. Лавины температурного сокращения снежного покрова. Эти лавины возникают в результате резкого понижения температуры воздуха. Это также редкий тип лавин.

II. Класс мокрых (теплых) лавин. Формируются такие лавины из влажного или из мокрого снега; сходят они преимущественно весной; пути схода обычно постоянны; движение осуществляется по нижним горизонтам снега или по грунту; скорость движения меньше, чем у сухих лавин; воздействие связано, главным образом, с давлением тяжелых (пропитанных водой) масс снега.

5. Лавины, возникающие в результате радиационных оттепелей. Это маломощные лавины южных (солнечных) склонов.

6. Лавины, связанные с оттепелями и весенним снеготаянием, обычно состоят из влажного, реже мокрого снега. Поверхностью скольжения служит обычно поверхность раздела слоев снега, т.е. лавины относятся к категории пластовых.

7. Грунтовые лавины формируются весной из мокрого, полностью пропитанного водой снега вследствие продолжительных оттепелей и дождей или при бурном снеготаянии во время фенів. Сходят всегда по

определенным путям, поэтому, как правило, имеют названия. Переносят значительное количество обломочного материала. Грохот этих лавин жители Альп называют «лавиным громом». Наиболее разрушительны в классе мокрых лавин.

Морфологии лавиносбора и движению лавин придается большое значение в комплексной классификации лавин, разработанной Г.К. Тушинским.

В мелких эрозионных врезках на склонах гор, или в тектонических трещинах, формируются небольшие лавины. Заполнение снегом трещин происходит быстро, за счет метелевого переноса снега ветрами, дующими вдоль долины. Лавины такого типа часты, сходят несколько раз в год.

Лавины, формирующиеся в крупных лавиносборах, которыми служат денудационные воронки или разрушенные кары, сходят редко, но очень велики. Для них характерна воздушная волна.

Выделяются три категории форм рельефа, на которых формируются различные морфологические типы лавин.

Ровные склоны. На них широким фронтом происходит соскальзывание снега; границы лавины не очерчены отчетливо и могут сильно варьировать год от года. Это осовы. Объем и дальность невелики, опасны неупорядоченностью проявления и отсутствием хорошо опознаваемых следов схода лавин.

Узкие денудационно-тектонические и эрозионные врезки, развивающиеся на невысоких склонах. Основная особенность – незначительная площадь лавиносбора. Для лотковых лавин характерны постоянные пути схода и образование конусов выноса.

Широкие денудационные лога, заканчивающиеся в верхней зоне горного склона обширными водосборными воронками, полуразрушенными или действующими карами с современными ледниками. Эти формы занимают обычно весь склон – от водораздельного гребня до дна долины. Путь схода лавин и зона ее отложения меняется из года в год. Это наиболее мощные и разрушительные лавины.

Различия в типах и режимах лавин определяются положением гор в той или иной климатической зоне, степенью континентальности климата, высотной поясностью, рельефом гор. Так, в Субарктике преобладают лавины из метелевого снега, в горах умеренной зоны – лавины, связанные со снегопадами, оттепелями, снеготаянием.

В условиях континентального климата происходит некоторое ослабление лавинной деятельности.

Изменения климата в горах с высотой порождает различие в типах снега. В приледниковой зоне высокогорий выше роль сухих лавин, в

нижних зонах – лавины из рыхлого снега. С высотой гор растет и длительность периода схода лавин. Чем выше горы и больше площади лавиносборов и длина пути лавин, тем больше объем вынесенного лавиной снега.

В последние годы проведено районирование горных территорий по типам лавинной опасности.

1) арктические районы с метелевыми и инсоляционными лавинами;
2) северные районы с лавинами из метелевого и свежевыпавшего снега;

3) внутренние континентальные районы с лавинами сублимационного диафтореза (ослабление связи внутри снежной толщи вследствие миграции водяных паров);

4) районы южного горного пояса с лавинами из свежевыпавшего снега, снежных досок и адвективными лавинами (при таянии снежного покрова вследствие притока влажного теплого воздуха);

5) тихоокеанские и приморские районы с лавинами из мокрого, метелевого и сложно стратифицированного снега.

Для формирования лавин, прежде всего, необходим устойчивый снежный покров, важна также его высота, когда она достигает 30 см, становится возможным формирование лавины.

Лавины и рельеф. Возникновение лавин возможно на коротких и не очень крутых склонах, начиная с уклона 15° , при длине 50–100 м. Однако большинство лавин формируется на склонах крутизной $25\text{--}60^{\circ}$; на более крутых склонах снег не задерживается. Глубина расчленения рельефа или относительная высота гор влияет на длину пути лавины и ее мощность. Лавины образуют следующие формы рельефа: ямы выбивания, лавинные бугры, гряды обломочного материала, конусы выноса.

Лавины и растительный покров. Естественной защитой от лавин служит густой лес. Он препятствует перераспределению снега ветром. Лес противостоит местным лавинам, но не может спастись от крупных транзитных лавин. Уничтожение леса на склонах гор стимулирует лавинную деятельность. Лучшим противолавинными свойствами обладает смешанный лес, состоящий из разновозрастных и разнопородных зеленых насаждений. Воздействие лавин на лесную растительность проявляется в образовании прочесов – полос лиственного леса среди хвойного или смешанного. Верхняя граница воздействия лавины или ее воздушной волны отмечается формами угнетения древесной растительности.

Защита от лавин вначале сводилась к использованию естественной защиты (выступов скал и т.п.) и сохранению лесов на склонах гор, позд-

нее строения стали располагать торцом к слону, укрепляя при этом сам торец.

Комплекс противолавинных мероприятий состоит из двух основных категорий – профилактической (предупреждение и ликвидация) и инженерной. Профилактические меры заключаются в сбрасывании скоплений снега и лавин минометами и подрывом взрывчатых веществ, а инженерные – строятся туннели, галереи, навесы для прикрытия отдельных участков, а также устанавливаются лавинорезы, клинья, отбойные дамбы и т.д. Существуют специальные службы по слежению за снежным режимом в горах и предупреждению возможных лавин.

Контрольные вопросы

1. Причины возникновения стихийно-разрушительных явлений в горных областях.
2. Свойства снега и снежного покрова.
3. Лавины и их природа.
4. Принципы классификации лавин. Генетическая классификация.
5. Принципы районирования лавиноопасных территорий.
6. Изменения рельефа и экосистем под действием лавин.
7. Защита от лавин.

ТЕМА 7. СТИХИЙНО-РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРАХ: СЕЛИ, ОПОЛЗНИ, ОБВАЛЫ

Селевые потоки и их особенности. Природа селей и их классификация. Распространение селей и защита от них. Природа и условия возникновения обвалов и оползней. Типы оползней и обвалов. Меры предосторожности.

Сель – это стремительный поток большой разрушительной силы, состоящий из смеси воды и рыхлообломочных пород. Обычно сели возникают внезапно в бассейнах небольших горных рек в результате интенсивных дождей, при бурном таянии снега, иногда при прорыве морен.

Сели отличаются относительной *кратковременностью* – большая часть селей продолжается не более 4-6 ч, а часто они заканчиваются в течение нескольких десятков минут. Особенностью селей является также резкий *подъем уровня*, связанный с волновой природой формирования селя. Крутой передний фронт селевой волны высотой от 5 до 15 м образует «голову» селя и движется сплошной стеной из грязи, камней и воды. Таких волн за один сель может быть несколько десятков. Еще одна особенность – высокая *насыщенность потока обломочным материалом*.

Объем обломков горных пород составляет в массе селя от 10 до 75%. Селевой поток имеет также очень высокую плотность – от 1,2 до 2,0 г/см³, иногда и более. Такой «тяжелый» поток гораздо сильнее воздействует на русло реки и разрушает встречающиеся на пути препятствия.

Сели обладают большой эродирующей и транспортирующей способностью и выносят к подножию горных хребтов огромную массу обломочного материала. Объем выноса селя измеряется от нескольких до сотен тысяч кубических метров. Наиболее мощные сели выносят до 2–4 млн м³ обломочного материала. В движение селя вовлекаются обломки до 3–5 м в поперечнике при массе 100–200 т. Селевой поток выносит за несколько часов столько обломков, сколько река, дренирующая этот водосбор, за 25–120 лет.

Для людей и народного хозяйства сели представляют большую опасность. Селевые потоки разрушают или заносят населенные пункты, каналы, шоссе и железные дороги, линии связи и электропередачи, сельскохозяйственные угодья, приводят к человеческим жертвам.

Первые сведения о селях относятся к XVIII в. В XIX в появились подробные описания селевых катастроф. Одно из первых интересных описаний селя мы находим у А.С. Пушкина в «Путешествии в Арзрум

во время похода 1829 года»: « Недалеко от селения Казбек переехали мы через Бешеную балку, овраг, во время сильных дождей превращающийся в яростный поток... Бешеная балка также явилась мне во всем своем величии: овраг, наполнившийся дождевыми водами, превосходил в своей свирепости самый Терек, тут же грозно ревевший. Берега были растерзаны; огромные камни сдвинуты с места и загромождали поток...» Частые сели на р. Куре, прозванной Бешеной балкой, заставили жителей покинуть ее берега, а дорогу позднее перенесли на левый берег Терека.

Район Военно-Грузинской дороги, который описал А.С. Пушкин, – один из довольно активных в селевом отношении. В долины рек Терека и Арагви, по которым проложена дорога, выходят многочисленные селеопасные притоки.

Мощные сели давно известны на юго-восточном склоне Большого Кавказа, в пределах Азербайджана. На р. Киш-Чай с 1889 по 1956 г. было зарегистрировано 9 селевых потоков, один из наиболее мощных прошел в 1901 г. Вот как описывают очевидцы эту катастрофу. «С вечера 7 июля в верховьях Киш-Чая после месячной засухи пошел сильный дождь; часов 11 разразился ливень и над Нухой. Количество выпавших осадков в Нухе было равно 47 мм. В промежуток времени от 12 час. ночи до 4 час. утра по руслу р. Киш-Чай прошло от 15 до 20 грязекаменных валов села. Вся долина р. Киш-Чай утром 8 июля представляла собой уныло-зловещую картину: все, что видел глаз, было покрыто серой грязью; не было видно ни кустика, ни травинки, не было видно даже камней, которые потом уже выделялись под влиянием дождей из грязи; все было безжизненно, тоскливо и ровно; впечатление получалось какое-то гнетущее.

В этом же районе в русле р. Шин-Чай сели формировались неоднократно. Самым катастрофическим был сели 1910 г. В одну из августовских ночей при сильной грозе и ливне с ветром из Шанского ущелья стеной 3–4 м на селение Баш-Гейнюк низвергся сели. Разрушения, нанесенные селю, были очень велики. На месте 130 сельских усадеб с фруктовыми садами, надворными и жилыми постройками поутру жители увидели только груды грязных камней, из-под которых виднелись разрушенные стены домов, вывороченные корнями вверх деревья, трупы людей и животных. Сели проходил около двух часов, в течение которых погибло все селение, сели было унесено почти четыреста человеческих жизней, огромное количество крупного и мелкого скота.

В горах Средней Азии мощными селевыми выносами известен северный склон Заилийского Алатау; густая сеть селевых русел окаймляет Ферганскую котловину. Среди селевых бассейнов Заилийского Алатау наиболее известен катастрофическими последствиями бассейн р. М. Алма-тинка, часть конуса выноса которой занята г. Алма-Атой. Из девяти из-

вестных случаев схода селей наиболее значительными были сели 1921 и 1973 гг. 8 июля 1921 г. над горами прошли обильные ливневые дожди. В 9 ч. вечера послышался сильный шум. Затем со стороны гор громадная масса земли, ила, камней, снега, подгоняемая мощным потоком воды, всей своей силой обрушилась на дачные строения, находящиеся у самого подножия гор. Эти строения вместе с садами, людьми и животными были снесены. Страшный поток ворвался в город, превратив улицы в бушующие реки с крутыми берегами из домов. Ужас катастрофы усугубился темнотой ночи. Слышались крики о помощи, которую почти нельзя было оказать. Дома срывались с фундаментов и вместе с людьми уносились бурным потоком... Селевым потоком было вынесено более 3 млн м³ обломочного материала; слой (толщиной 1,5–2 м) застывшей грязи с огромными камнями покрывал поля и сады. Погибло более 400 человек, разрушено или повреждено много домов и других сооружений. 15 июля 1973 г. в этом же районе также создалась селеопасная ситуация. Прорвав ледниковое озеро в истоках р. М. Алматинки, на леднике Туюксу, селя двинулся на Алма-Ату. Мощность селя была очень велика, но он был полностью остановлен специальной селезащитной плотиной Медео, построенной в 1968 г. перед выходом долины из гор. Селем 1963 г. было уничтожено оз. Иссык, располагавшееся в горах Заилийского Алатау, в 50 км от Алма-Аты, что привело к исчезновению уникальной лимнической экосистемы. Сель образовался при обвале морены в верховьях реки.

В США селепроявления характерны для предгорий Кордильер. Так, разрушительные селевые потоки в районе г. Лос-Анджелеса, вызванные ливнями, прошли в 1914, 1916, 1934 и 1938 гг. Сели 1934 и 1938 гг. имели особенно тяжелые последствия. Количество осадков (432 мм), выпавшее за двое суток перед катастрофой 1934 г., превысило их годовую норму. Не успел еще окончиться ливень, как около полуночи со склонов горного хребта Сан-Габриэль устремились вниз бурлящие потоки. Вода смывала со склонов рыхлые слои горной породы, увлекала за собой камни. Несомые потоками крупные камни весом 5 т и больше, стволы деревьев действовали как тараны, они проламывали стены зданий, а многие постройки сносили полностью. Вслед за первой волной, достигавшей при выходе из ущелий высоты от 2 до 6 м, последовали другие. О силе и стремительности этих потоков можно судить по тому, что, вырвавшись в долину, они прорезали себе русла глубиной до 4 м. В результате этой катастрофы погибли и пропали без вести 84 человека. Полностью было разрушено около 20 домов, а более 400 стали непригодными для жилья. Около 500 мостов было повреждено. Новый селевой поток 1938 г., также вызванный ливнем, был еще более разрушительным. Сель вынес к подножию гор более 11 млн. м³ продуктов раз-

рушения горных пород. Погибло 200 человек, разрушено множество домов, мостов, линий связи.

Селевые потоки формируются обычно в бассейнах небольших горных рек или временных водотоков. Многие малые сели возникают на склонах гор – в эрозионных врезках и денудационных логах. Водосборный бассейн, в пределах которого происходит формирование селей (при этом движение селя осуществляется по главному руслу), называется селевым бассейном. Селевые бассейны имеют ограниченную площадь и значительные уклоны русел. Площадь селевых бассейнов составляет от нескольких до десятков квадратных километров.

В схематическом виде селевой бассейн может быть подразделен на три основные зоны:

1 – зона зарождения – верхняя часть бассейна, представленная водосборной воронкой или ледниковым цирком, где формируется селя. Это область крутых склонов и активного разрушения пород.

2 – зона транзита, занимает среднюю и нижнюю часть бассейна. В пределах этой части осуществляется в основном транспортировка селевых масс по руслу, но часто имеет место дополнительное питание селя обломочным материалом и частичное отложение селевых масс.

3 – зона отложения или разгрузки селя, располагается обычно в устьевой части бассейна, где уклоны уменьшаются, и энергия потока падает. Здесь образуются скопления обломочных масс селевого потока в форме гряд, террас, конусов выноса.

Схема эта в природе часто нарушается. Например, многие свежие селевые бассейны на крутых и коротких склонах хребтов почти не имеют зоны транзита – обширная воронка, где происходит разрушение и снос продуктов выветривания, сразу переходит в широкий конус выноса у подножия хребта. Очень часто верховья селевых бассейнов служат лишь водосбором, а формирование селя происходит в русле, в среднем или даже нижнем течении, за счет размыва дна и берегов. Такое строение характерно для многих мелких селевых бассейнов высокогорий, верховья которых сложены выходами скальных пород, устойчивых к выветриванию. Различия в морфологии селевых бассейнов сказываются на режиме селевой деятельности. Сели ливневого происхождения в бассейнах с малой площадью формируются чаще, но являются кратковременными, а объем выносов их незначителен. В крупных бассейнах с длинными руслами образуются мощные продолжительные сели, но сходят они обычно реже. Эти различия селевых бассейнов позволят разделить их на два основных типа:

1. Русловые сели формируются в крупных и средних по площади селевых бассейнах. Обычно это долины рек с выработанным продольным профилем и разработанным руслом. В них формируются сели самого разнообраз-

разного генезиса – вследствие ливней, интенсивного таяния снега, прорыва озер, срыва оползней или при сочетании этих причин.

2. Склоновые сели зарождаются в эрозионных врезках на склонах гор. Для них характерны незначительные площади бассейнов, крутые уклоны, отсутствие постоянных водотоков, невыработанные русла. Образуются эти сели вследствие размыва рыхлого покрова в средней и нижней частях склона во время ливней или интенсивного снеготаяния. Зона отложений склоновых селей невелика по площади, но может менять свое положение.

Основными условиями, необходимыми для возникновения селей, являются значительные уклоны речных русел и временных водотоков, интенсивный склоновый и русловой сток и наличие рыхлых или легко эродируемых горных пород в русле и на склонах.

Крутизна склонов в пределах селевого бассейна определяет быстроту поверхностного стока и активность экзогенных процессов, поставляющих обломочный материал в русло селя. Значительные уклоны русла обеспечивают высокие скорости водного потока и его эродирующую способность. Известно, что увеличение скорости водного потока в 2 раза повышает его размывающую силу в 4 раза, а транспортирующую – в 32 раза, размер передвигаемых им частиц – в 64 раза. Таким образом, именно горный рельеф создает благоприятные орографические условия для формирования селей.

Сель невозможен без достаточных объемов воды в селевом бассейне, способных вызвать активный смыв и размыв на склонах и в русле. Главным водным источником селей служат дожди и ливни, а также интенсивное таяние льда и снега. В ледниковых районах высокогорий оно приводит обычно к переполнению приледниковых озер, прорыв их плотин дает начало селю. Активное таяние сезонного снежного покрова – в сочетании с дождями – формируют сели некоторых маловодных районов Средней Азии и гор Субарктики. Одним из источников водного питания селей служат завальные озера высокогорий, особенно характерные для Памиро-Алая. Разрушить плотину такого озера может землетрясение или активная эрозия, обвал. Такие сели редки.

По источникам водного питания выделяются следующие типы селевых потоков:

Дождевые (ливневые) сели – господствующий тип селей гор умеренного пояса, сход возможен в течение всего теплого времени года.

Гляциальные сели – сели высокогорий умеренного пояса, формирующиеся у окраин современных ледников, образуются во вторую половину лета.

Твердая составляющая селевых потоков формируется за счет горных пород, слагающих селевой бассейн. В питании селевого потока

участвуют: коренные породы, рыхлые толщи склонов, аллювиальные отложения дна долин. Состав этих пород, степень устойчивости по отношению к выветриванию и размыву определяют состав селевой массы потоков и периодичность их схода. В бассейнах, сложенных песчано-глинистыми породами, формируются грязевые и грязекаменные сели, а в бассейнах, состоящих из кристаллических пород – водокаменные. Свойства пород, слагающих селевые бассейны, влияют также на режим селевой деятельности. Быстро выветривающиеся породы способствуют более частому сходу селей по сравнению с устойчивыми породами.

Геологическое строение бассейна влияет на движение и аккумуляцию селевой массы. По структуре и динамике различают связанные и несвязные сели. В несвязном селе преобладает грубообломочный материал, пылевато-глинистые частицы находятся в свободном состоянии. В связанном – количество тонких частиц велико, они связывают основную массу воды силами молекулярного притяжения. Движение такого потока осуществляется, как единый гравитационный процесс.

Помимо факторов прямого воздействия – условия увлажнения и геологическое строение бассейна – существуют и другие причины возникновения селей. Это состояние горного оледенения, вулканизм, характер растительного покрова на склонах гор, хозяйственная деятельность человека.

Селевые явления отмечены во всех сколько-нибудь значительных горных системах мира, но особенно они характерны для высокогорий. Кордильеры, Анды, хребты Центральной Азии, Пиренеи, Альпы, горы Скандинавии, Балканского полуострова, Японии, Вьетнама и многие другие районы служат ареной для развития селей. Количество селеопасных рек в высоких горах превышает количество неселеопасных.

Выделяют две зоны формирования селей. Первую образуют умеренный и субтропический пояса, в пределах которых развиты водокаменные и грязекаменные селевые потоки, преимущественно ливневого генезиса. Вторая зона охватывает районы Субарктики, где формируются водоснежные потоки в конце периода снеготаяния.

Борьба селевыми потоками ведется с незапамятных времен. Во многих странах древней цивилизации сохранились системы террас на склонах гор, которые регулировали твердый и жидкий сток. Современные системы защиты от селей начали создаваться в XIX в. Основной акцент делался на террасирование и облесение селеопасных склонов. В настоящее время практикуются: регулирование эксплуатации территории, агролесомелиоративные мероприятия (террасирование склонов в сочетании с лесопосадками), строительство гидротехнических сооружений (нагорные каналы, ливнеотводы). Руслоукрепляющие, селенаправляющие и селепропускные сооружения ограничивают размыв русел,

локализуют зону возможного воздействия селя. Выбор селезащитного мероприятия зависит от природных особенностей селевого бассейна.

Под влиянием увлажнения поверхностными и подземными водами относительно крутые склоны, сложенные преимущественно глинистыми и песчано-глинистыми породами, теряют устойчивость. Слагающие их породы подвергаются при этом смещениям, получившим название **оползней**.

Самый большой из известных нам оползней находится в горах Харт Маунтинз на территории штата Вайоминг (США). Он покрывает площадь в 2000 км² и, судя по оставшимся следам, распространялся местами со скоростью до 100 км/ч. К счастью, это случилось в далеком прошлом, около 30 млн лет тому назад.

Для развития оползней на склонах достаточно простого увлажнения их водами атмосферных осадков и поверхностного стока. Глинистые породы набухают, становятся более тяжелыми, а главное – пластичными. Если склон достаточно высок, под собственным весом породы преодолевают сопротивление на пластический сдвиг. Поверхность склона испытывает просадку, в результате может отделиться крупный блок, смещающийся затем вниз. Этого типа **блоковые оползни** возникают на участках наиболее благоприятного увлажнения. Оползневое смещение развивается постепенно, совершаясь в виде серии относительно небольших подвижек, разделенных периодами покоя. Последовательные подвижки оползня часто следуют друг за другом через многие годы. В его развитии большую роль играют подземные воды, способствующие увлажнению пород на склоне, а также смачиванию поверхностей скольжения.

Там, где склоны сложены породами, легко теряющими монолитность, при намокании и смещении образуются **оползни-потоки**. В этом случае сместившийся блок превращается в бесформенную мелко раздробленную глинистую массу.

Оползни могут развиваться и в скальных породах. В этих случаях блоки соскальзывают либо по подстилающим глинистым слоям, либо по оглиненным продуктам выветривания, развивающимся в трещинах скального массива. Такое соскальзывание больших скальных массивов происходит катастрофично. Массив при этом дробится на глыбы, обрушивающиеся вниз по склону. Этот тип смещения называется **оползнем-обвалом**.

Крупные оползни наносят вред народному хозяйству, разрушая здания и инженерные сооружения, приводят в негодность дороги и т.п. Главные мероприятия по защите сводятся к осушению оползневых склонов.

Для образования **обвалов** необходим горный, сильно расчлененный рельеф, с крутыми обрывистыми склонами, горные породы, слагающие склон, должны быть сильно разбиты трещинами, различного генезиса, т.е. горный массив или его часть должны находиться в неустойчивом состоянии, при котором достаточно небольшого толчка или сотрясения, чтобы глыбы рухнули вниз по склону.

Связи между отдельными блоками становятся особенно непрочными во время дождей, в периоды снеготаяния. Вода играет большую роль в разрушении горных пород на блоки. Большие оползни часто случаются в океанах, на краю континентального шельфа, где могут обрушиться кубические километры ила. В результате в океане цунами, которое может преодолеть тысячи километров.

Защитные меры против обвалов сводятся к созданию специальных инженерно-технических сооружений (защитные стенки). Производятся также укрепление уже разрушившихся блоков (стягивание стальными поясами, заливка трещин цементом) и профилактические работы (обрушивание небольшими частями при помощи взрывов, повсеместное облесение склонов).

Контрольные вопросы

1. Причины возникновения селевых потоков в горах.
2. Сели и их классификация.
3. Природа и условия возникновения обвалов и оползней.
4. Типы оползней и обвалов.
5. Масштабы разрушений при селях и обвалах.
6. Защитные меры при разрушительных явлениях в горах.

ТЕМА 8. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ: ЦИКЛОНЫ И УРАГАНЫ

Тропические циклоны и ураганы. Циклоны и их распространение. Развитие циклонов. Внутренняя структура циклона. Способы воздействия на циклоны.

Циклоны, возникающие в тропиках, одно из наиболее грозных явлений природы. Они порождают целый комплекс явлений, каждое из которых уже само по себе представляет угрозу. Это и ураганные ветры, и огромные океанические валы, тропические ливни и наводнения, оползни и селевые потоки, сильные грозы, несущие с собой разрушения и большой ущерб народному хозяйству.

Тропические циклоны развиваются только над океанами и только в тропиках. Очаги зарождения циклонов лежат во многих уголках Мирового океана, но наиболее интенсивным очагом является юго-западная часть Тихого океана. В местах зарождения тропические циклоны менее всего опасны, но, смещаясь от этих мест и набирая силу, они становятся страшной силой. Обычно тропические циклоны передвигаются с востока на запад, но иногда и в противоположную сторону, описывая параболу. В своем развитии они проходят несколько стадий. Для каждой из них предусматривается определенная скорость ветра.

В стадии тропической депрессии возникающий вихрь отмечается на карте погоды в виде области пониженного давления. Погода в этих возможных зародышах будущих ураганов и тайфунов всего лишь несколько хуже окружающей. Ветер не достигает большой силы, а давление падает до 1000 мбар. Небольшой безобидный циклон прослеживается до высоты 1,5–3 км.

В случаях, когда хорошо выраженный циклон возникает в течение 12 часов, в центре молодого циклона наблюдается быстрое падение давления. Ветры, уже достигшие большой силы, образуют вокруг центра кольцо шириной 40–50 км. В самом центре, диаметром 20–30 км, устанавливается относительно хорошая погода со слабым ветром и небольшой облачностью. При переходе в сильный тропический шторм формируется глаз бури. В стадии шторма циклон прослеживается до высоты 7–9 км.

В стадии тайфуна зрелого тропического циклона падение давления в центре и увеличение скорости ветра прекращаются. Эта стадия устойчива – может длиться целую неделю. Глубокие циклоны в этой стадии достигают высоты 15–16 км.

Тропические циклоны, в конце концов, исчезают. Они либо заполняются в тропиках, либо постепенно угасают, попадая на континент. В

этом случае происходит трансформация тропического циклона во вне-тропический. Скорость ветра ослабевает, однако, прохождение такого угасающего циклона сопровождается выпадением обильных дождей.

Внутренняя структура тропических циклонов теперь хорошо известна. Они имеют круглую или слегка овальную форму, размеры их колеблются от 300 до 800 км. В центре тропических циклонов давление воздуха изменяется от 900 до 1005 мбар, причем от центра к периферии оно сильно увеличивается. Скорость ветра у земной поверхности в тропических циклонах достигает 60–80 м/с. В зависимости от величины скорости ветра циклоны делятся на мощные и сверхмощные. В нижних 3–5 км воздух в циклоне движется по спирали к центру. В верхних слоях, выше 10 км, воздух также по спирали оттекает от центра к периферии. Скорость ветра вблизи самого центра, как у поверхности Земли, так и на высоте небольшая – до 5 м/с. С удалением от центра скорость ветра на некотором расстоянии увеличивается и после достижения максимальной величины снова падает. С высотой скорость ветра убывает.

Тропические циклоны характеризуются наличием в их центральной части, так называемого, *глаза бури*. Воздух в глазе ощутимо теплее, небо почти безоблачное. Глаз бури имеет округлую или овальную форму. Ширина его – около 30 км. В молодом циклоне глаз больше, в зрелом – меньше. В стадии затухания размер глаза быстро растет, достигая 70–90 км в диаметре. В тропическом циклоне иногда просматривается ложный глаз бури. Существуют расчеты, показывающие, что воздух в глазе заменяется каждые 5–6 часов. В процессе развития циклона в его области происходит непрерывное повышение температуры. Осадки сосредоточены вокруг его центра.

Тропические циклоны вызывают наводнения и ураганы, которые способны нанести значительный ущерб экосистемам. Но, как правило, экосистемы после циклонов очень быстро восстанавливаются.

Как ни странно, но ураганы и тайфуны приносят и некоторую пользу. Благодаря им, происходит интенсивное перемешивание и подъем глубинных вод, а также осуществляется межширотный обмен воздушных масс.

В настоящее время можно двумя способами осуществить воздействие на тропические циклоны. Наиболее распространенный – это воздействие на облачность с целью рассредоточения энергии внутри тайфуна и подавления, таким образом, его активности. В основу второго способа положена идея «отделения» поверхностных вод океана как источника энергии от процессов, происходящих в воздухе.

Однако до сих пор еще во многих случаях не поддается прогнозированию естественный путь продвижения тайфуна и его мощность, по-

этому очень сложно оценить скорость ветра и траекторию движения, а, следовательно, и степень воздействия на тайфун. Поэтому сегодня еще рано говорить о возможности управлять циклонами, но в будущем реальная возможность управления этими явлениями природы должна появиться.

Контрольные вопросы

1. Причины возникновения воздушных масс и их перемещения.
2. Понятие о циклонических воздушных массах.
3. Как и где происходит формирование циклона?
4. Внутренняя структура циклона.
5. Что такое ураган и шкала разрушительной силы урагана?
6. Можно ли прогнозировать развитие ураганов и циклонов?

ТЕМА 9. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ КАТАСТРОФЫ: СМЕРЧИ, ГРОЗЫ

Смерчи и их распространение. Внутреннее строение смерча. Классификация смерчей. Развитие смерчей. Грозы.

Смерч – мало масштабный атмосферный вихрь. В разных местах его называют по-разному: «торнадо», «громб», «тифон». Смерч – воздушное образование, возникающее в основании грозового облака. Чаще всего он образуется следующим образом: из грозового облака по направлению к земле протягивается гигантский черный «хобот», воронкообразно расширяющийся у основания облака и сужающийся книзу. Если «хобот» достигает поверхности земли, то здесь он снова расширяется, образуя воронку, содержащую пыль, песок или воду (если смерч проходил над водной поверхностью). Образовавшийся вихрь, как правило, имеет циклоническое вращение, причем одновременно наблюдается движение воздуха по спирали вверх. В центре смерча отмечается очень низкое давление, вследствие чего, он засасывает в себя все, что встречается на его пути, и может поднять воду, почву, отдельные предметы, постройки, перенося их иногда на значительные расстояния.

Число смерчей значительно. Только в США их бывает 600–800. Образуются они и в других частях земного шара: Европе, Юго-Восточной Азии, Африке. Также велико и число смерчевых облаков. Однако об их строении, образовании и даже размерах известно сравнительно не много.

Исследование смерчей чрезвычайно затруднено из-за того, что образуются они неожиданно, захватывая небольшую территорию, и быстро исчезают. Однако по описаниям удалось установить, что средние размеры смерчевого облака сравнительно невелики: 5–10 км, реже до 15 км в поперечнике, до 4–5 км иногда до 10–15 км высотой. У очень больших смерчей ширина облака составляет 30–40 км, длина – до 50 км. Для смерчевых облаков характерно плотное ровное основание (почти горизонтальное). Оно резко ограничено, и при развитии смерчей хорошо видны крутящиеся воронко- или трубообразные отростки. Расстояние между основанием облака и землей обычно небольшое – несколько сотен метров. Изредка облако движется по земле, и тогда воронка смерча, как правило, не образуется, заменяясь ураганными вихревыми ветрами.

Смерчевое облако, как и всякое другое кучево-дождевое облако, характеризуется неоднородностью и высокой турбулентностью. Многие из них к тому же имеют вихревое строение. Обычный смерч состоит из 3 частей: футляр, воронка, дополнительные вихри, создающие каскад. Во внутренней полости воронки смерча давление резко падает – порой

на 180–700 мбар. Такое катастрофически быстрое падение давления служит причиной своеобразного явления: полые предметы при соприкосновении с воронкой смерча взрываются. Внутренняя полость смерча наблюдалась лишь, когда он проходил над головой наблюдателя. Это громадный пустой цилиндр, иногда наполненный хлопьями облаков и освещенный блеском молний.

Характерной частью смерча является *воронка*. Ее стенки – наиболее активная и характерная часть. Строение их разнообразно, но условно стенки можно разделить на *плотные*, резко ограниченные, и *распльвчатые* с неясными границами. Плотные стенки иногда имеют толщину до нескольких метров, в то время как распльвчатые утолщаются на сотни метров. Один и тот же смерч на пути своего развития может иметь гладкие стенки, затем принять распльвчатую массивную форму, в конце снова стать узким и гладким.

Одним из важнейших и своеобразнейших свойств смерчей является их *резкое ограничение* в пространстве с наличием почти гладких плотных стенок. По-видимому, причиной возникновения резкой границы вихря может быть необычайно большая скорость.

В зависимости от соотношения длины и ширины выделяют две группы плотных смерчей: *змеобразные* (или бичеподобные) и *воронкообразные* (или колонноподобные). Змеобразные смерчи образуются сравнительно редко. Они отличаются наиболее близким к горизонтальному положению в пространстве и сильно изгибаются. Как правило, такие формы смерч принимает в конце своего существования. Их очертания и размеры чрезвычайно изменчивы; даже один и тот же смерч непрерывно изменяет форму.

Причины образования смерчей до сих пор окончательно неясны, но условия, при которых возникают смерчи, хорошо известны. Смерчи можно ожидать, когда: а) в нижних слоях атмосферы находится теплый влажный ветер, и преобладают южные ветры; б) в верхний слоях атмосферы располагается холодный сухой воздух, и дуют сильные ветры различных направлений, преимущественно западные и юго-западные, при этом происходит подъем приземного воздуха.

Смерчи проходят три стадии развития. В начальной стадии, характеризующейся появлением из материнского облака начальной воронки, висящей над землей, смерч формируется за счет потенциальной энергии, накапливаемой при термической конвекции во время подъема воздуха. Эта энергия переходит в кинетическую в начале вертикального, а затем вращательного движения. В дальнейшем окружная скорость смерча возрастает, и он приобретает свой классический вид. Вторая стадия – стадия полного развития. Смерч полностью оформляется и непрерывно движется по поверхности земли или моря. Третья стадия раз-

рушения вихря – характеризуется ослаблением окружной скорости, сужением воронки, ее отрывом от поверхности земли. Воронка начинает светлеть, принимает бичеподобную форму и разрывается. Верхняя часть поднимается в облако, нижняя падает на землю.

На земном шаре смерчи широко распространены и представляют собой обычное, повторяющееся явление. Особенно интенсивно смерчи проявляются в Северной Америке, где являются причиной довольно значительных разрушений в природных экосистемах. Они способны внезапно вызвать самые серьезные разрушения в городах и поселках, лежащих на их пути.

Гроза – атмосферное явление, при котором в мощных кучево-дождевых облаках и между облаками и землей возникают многократные электрические разряды – молнии, сопровождающиеся громом.

Гроза – очень распространенное явление, на земном шаре одновременно происходит до 1800 гроз и возникает около 100 молний каждую секунду. В Арктике гроза возникает 1 раз в несколько лет, в умеренном поясе отмечается несколько десятков дней с грозами. В отдельных районах (Юго-Восточная Азия, Центральная Америка и др.) с грозами насчитывается свыше 200 дней в году. На суше преобладают летние грозы, над океаном – зимние.

По происхождению выделяют *внутримассовые* (образующиеся вследствие местного прогрева воздуха от земной поверхности) и *фронтальные* (связанные обычно с холодными фронтами) грозы. Воздействие гроз можно подразделить на следующие виды: 1) электрические разряды (молнии); 2) шумовое воздействие (гром); 3) турбулентность; 4) кратковременные усиления ветра (шквалы); 5) выпадение града; 6) ливни; 7) переохлажденная влага, способствующая обледенению самолетов.

Сопровождаются грозы молниями и громом. **Молния** – гигантский электрический разряд в атмосфере, проявляющийся обычно яркой вспышкой и сопровождающим ее громом. Молнии могут проходить в самих облаках или ударять в землю (*наземные* молнии). Наиболее типична *линейная* молния – множественный искровой разряд с разветвлениями, длина в среднем 1–10 км, диаметр несколько см., общая продолжительность порядка десятых долей секунды. Обычно молнии содержат несколько повторных разрядов, но их число может достигать и до нескольких десятков. Длительность многократной молнии иногда превышает 1 сек. Такие молнии, называемые затяжными часто вызывают пожары. Особый характер имеют плоская и шаровая молнии. *Шаровые* молнии имеют форму светящегося шара поперечником 20–30 см, движутся по неправильной траектории, существуют несколько секунд и

исчезают беззвучно или со взрывом. Как и *линейные*, шаровые молнии могут вызывать разрушения и гибель людей.

Опасность ударов молний обусловлена: 1) высоким напряжением (сотни миллионов вольт); 2) большой силой тока (десятки тысяч ампер); 3) огромной температурой (до 25 000–30 000⁰С).

При ударе молнии происходит быстрое и сильное нагревание, а следовательно, и расширение воздуха в канале молнии. Образуется взрывная волна, создающая звуковой эффект, – гром. Так как длина пути звука разная (вследствие отражения звука от облаков и земли, неодинаковой удаленности от различных точек молнии), он доходит до человека не одновременно и имеет характер длительных раскатов.

Характерная для гроз турбулентность представляет для авиации серьезную опасность. Она возникает при значительном изменении скорости ветра на небольшом расстоянии, при этом в воздухе образуются вихри, похожие на водовороты вокруг выступающих камней в быстрой реке. При пролете самолета через область турбулентности он подвергается сильным ускорениям, бросающим его в разные стороны. Степень воздействия зависит от веса и размера самолета, высоты и скорости полета (чем ниже скорость, тем меньше воздействие).

Меры по смягчению последствий и защите от гроз самые разные. Для защиты зданий и сооружений от разрушительных последствий прямого попадания молний применяются молниеотводы. В разных отраслях хозяйства применяется различная аппаратура: прерыватели и разрядники на ЛЭП, радиолокаторы для обнаружения грозовых облаков на авиационном транспорте, аппаратура для регистрации места удара молнии в лесном хозяйстве и т.д.

Контрольные вопросы

1. Определение смерча и причины его возникновения.
2. Структура смерча.
3. Стадии развития смерчей.
4. Как изучаются смерчи и трудности при их изучении.
5. Наиболее опасные географические зоны возникновения смерчей.
6. Причины возникновения гроз.
7. Молния как грозное природное явление.
8. Защитные меры при разрушительных атмосферных явлениях.

ТЕМА 10. АНТРОПОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ

Значение антропологического действия на природу и экономику. Аральская катастрофа. Каспийская катастрофа.

Антропогенные катастрофы, вызванные непродуманной деятельностью человека, в настоящее время представляют весьма грозную силу. Достаточно вспомнить о грандиозных пожарах, произошедших по вине и небрежности человека, и уничтожении миллионов гектаров леса, являющегося легкими планеты. Это и истребление животных, многие виды которых уже перестали существовать. Это и войны, унесшие десятки миллионов человеческих жизней, что самым серьезным образом отразилось на демографической ситуации многих стран. Добавим к этому и тотальное разрушение экономики побежденных стран. Чернобыльская атомная катастрофа сделала невозможной жизнь сотен деревень и целых городов. Тысячи и тысячи гектаров плодороднейших черноземов оказались радиоактивно зараженными. Беда и в том, что нежизнеспособность такой территории продлится на сотни лет.

Коснемся нескольких примеров накопления отрицательного экоантропологического воздействия, обернувшегося печальными катастрофами, в результате которых исчезли и исчезают моря с уникальными природными богатствами, восстановить которые уже человеку неподвластно.

В изданном в 1970 г. 2-м томе Большой Советской энциклопедии об Аральском море сказано, что это бессточное соленое озеро расположено на абсолютной высоте 53,0 м, имеет площадь с островами – 64,5 тыс. км², наибольшую длину 428 км, ширину – 235 км, объем воды около 1000 км³. Соленость воды – 10–11‰, увеличивающаяся у юго-западных берегов до 14‰, многолетние колебания уровня около 3,0 м. В конце 50-х годов уровень моря стал заметно падать из-за развития в его бассейне орошения. Поскольку площади орошаемого земледелия все увеличиваются, возможно, в следующем издании энциклопедии про Арал придется писать, что он представляет собой небольшой остаточный горько-соленый водоем, образовавшийся в процессе стихийного усыхания Аральского моря, расположенный среди обширной песчано-солончаковой пустыни.

В начале нашего столетия видный русский ученый А.И. Воейков полагал, что развитие орошения повлечет за собой почти полное прекращение притока речных вод к Аралу и, как следствие, его усыхание. В таком будущем Арала А.И. Воейкову виделась определенная справед-

ливость, поскольку существование моря в пустыне, где воды всегда не хватает, представлялось неоправданным. У этой точки зрения появилось много сторонников, когда в начале 60-х годов уровень Аральского моря начал снижаться. Опираясь на авторитет А.И. Воейкова, некоторые специалисты полагали, что влияние Арала на природную среду невелико. А поскольку использование питающих море речных вод для орошения сулило, на первый взгляд, несравненно больший экономический эффект, чем поступление этих вод в Арал, где за их счет развивалось рыболовство и судоходство, то стихийное усыхание Арала представлялось оправданным.

Одновременно возникла и противоположная точка зрения: влияние моря на природу прилегающих к нему территорий весьма существенно, следует ожидать значительных, вызванных снижением уровня Аральского моря изменений природных комплексов и их компонентов в Приаралье, что повлечет за собой довольно ощутимые экономические потери. Поскольку падение уровня моря в ближайшей перспективе неизбежно, то необходимо принять меры, чтобы предотвратить возможные негативные экологические изменения в Приаралье и уменьшить нежелательные социально-экономические последствия снижения уровня Арала. В данном случае речь шла о провидении системы мероприятий, которая позволила бы управлять режимом моря вместо стихийного его усыхания.

Поскольку Аральское море состоит из трех частей, имеющих разные площади, объемы, глубинами, подводный рельеф, то и снижение уровня моря сказалось на них по-разному. Арал состоит из северо-восточной части, называемой «Малым морем», западной и восточной, объединяемых общим названием «Большое море». Их разделяют о-в Кокарал и подводная возвышенность, протягивающаяся в меридиональном направлении.

Малое море – сравнительно небольшой и мелководный район Арала. На него падает всего 9% площади, средняя глубина 13 м. Западная часть Большого моря – самая глубоководная область Арала. Наибольшая ее глубина, являющаяся одновременно наибольшей глубиной Арала, равна 69 м, средняя глубина – 22 м. На долю глубоководной западной части Арала приходится более 2/3% общего объема вод моря.

Самая большая по площади часть Арала – восточная. Площадь ее составляет более 70% общей площади моря, объем водной массы примерно 2/3 объема моря.

Известно, что с 1960 г. наблюдается неуклонное снижение уровня моря. К 1979 г. он понизился на 6,8 м и достиг отметки около 46 м абс.

высоты, самой низкой за последние 200 лет. Такое интенсивное снижение уровня Арала, связанное, прежде всего, с ростом потребления воды в бассейнах рек Сырдарья и Амударья, привело к значительному сокращению площади водной поверхности моря, уменьшению объема водных масс и глубин, к существенному изменению конфигурации береговой линии. В результате снижения уровня акватория Арала сократилась более чем на 16 тыс. км², а объем водных масс уменьшился на 370 км³, соленость морских вод возросла с 9,6-10,3‰ до 15,2‰, а в отдельных заливах превысила 17‰.

Значительное сокращение площади моря произошло за счет обсыхания мелководий Большого моря. Расположенный у юго-восточного берега обширный архипелаг с его многочисленными островами и островками, мелкими и извилистыми заливами в настоящее время почти полностью присоединился к материку, обсохли далеко проникающие когда-то в сушу заливы. Присоединились к суше и расположенные вблизи восточного берега отдельные цепочки и группы островов. Все это привело к значительному выпрямлению береговой линии восточного и юго-восточного побережий Арала.

При дальнейшем снижении уровня в морфометрии Арала произойдут весьма значительные изменения. Когда уровень моря понизится до отметки 40 м абс. высоты, площадь водного зеркала будет равна 36,5 км², а объем водных масс составит всего лишь 380 км³. Уменьшение акватории моря составит почти 22 тыс. км², или 37% современной его поверхности. Объем водных масс моря сократится более чем на 57%. Снижение уровня моря (на 13 м по сравнению с уровнем 1960-х годов) приведет к большим изменениям в топографии Арала. Полностью исчезнут заливы на юге моря. В центральной части открытого моря появится значительное пространство суши, острова, расположенные здесь, соединятся в один остров с общей площадью в 380 км². К югу появится значительный по площади остров. Будет продолжаться отмеченный выше процесс обособления как отдельных заливов и лагун Малого моря, так и самого Малого моря от Большого. При отметках уровня моря 41 м абс. высоты произойдет полная изоляция Малого моря от Большого и отчленение от Малого моря его заливов.

И, наконец, при понижении уровня моря до отметок ниже 33 м абс. высоты общая площадь водного зеркала составит всего лишь 22 тыс. км², а объем водных масс примерно 150 км³. При этом сохранятся два небольших по площади водоема (около 6 и 16 тыс. км²), соединенных между собой неглубоким проливом (2–3,5 м).

При отметках уровня ниже 30 м абс. произойдет полное разделение акватории моря на два самостоятельных водоема. Таким образом, в случае сохранения направленного процесса снижения уровня Арала можно наметить 4 основные стадии в жизни моря, каждой из которой будут соответствовать не только специфические гидроло-морфометрические показатели Арала, но и переломные моменты в развитии природных процессов на обсыхающей площади дна моря и изменении природной среды в Приаралье. Первая – в пределах произошедшего за последние годы снижения уровня Аральского моря, равного по своей величине вековым его колебаниям (в пределах 3 м – от 53 до 50 м абс.). Вторая при понижении уровня моря от 50 до 40 м абс., когда в конце стадии Малое море отделится от Большого. Третья – при понижении уровня с 40 до 30 м абс., когда западная глубоководная часть Большого моря почти полностью отделится от восточной. Четвертая – при понижении уровня моря ниже 30 м абс., когда будет наблюдаться постепенное усыхание западного и, вероятно, относительно стабильное положение восточного водоема, подпитываемого сбросными и возвратными водами среднеазиатских рек.

Снижение уровня моря и увеличение минерализации аральской воды повлекло за собой перестройку всей жизни в водоеме. Если до начала 60-х годов приток речных вод к морю в среднем оценивался в 54,8 км³ в год, то за 1961–1977 гг. он составил только 32,8 км³/год, а в отдельные маловодные годы сырдарьинские воды вообще не достигали моря.

Уменьшение притока вод к Аралу и увеличение его солености сопровождалось снижением продуктивности фитопланктона и зоопланктона, обеднением видового состава и заменой видов, свойственных солоноватым водам. Среди фитопланктона доминантами стали диатомовые водоросли, в зоопланктоне полностью или почти полностью выпали ранее доминировавшие виды, зато акклиматизировались виды, которые сейчас составляют подавляющую часть биомассы зоопланктона при общем уменьшении ее примерно в 4 раза.

Значительные изменения характерны и для зообентоса, которые связаны как со снижением уровня, так и с интродукцией беспозвоночных. В море отсутствуют многие группы организмов, которые водились здесь ранее.

Промысловые стада рыб Аральского моря естественно реагировали на все эти условия. Первоначальная ихтиофауна моря исчислялась всего 20 видами рыб, из которых 12 имели промысловое значение. В их число входили такие ценные, как лещ, сазан, усач и некоторые другие. Однако перечисленные рыбы сейчас почти потеряли промысловое значение,

уловы в Аральском море упали, и оно теряет свое рыболовное значение. Вначале это было связано с тем, что снижение уровня моря сопровождалось гибелью нерестилищ, а в последнее время на пресноводные виды рыб и, особенно, на их молодь угнетающе действует и увеличение минерализации морской воды до величин близких допустимым для многих видов рыб. Но интересно отметить, что вследствие акклиматизации солевых рыб (правда, с ними попали и некоторые внеплановые поселенцы, вроде бычков), которые натурализовались в Аральском море, в конце 70-х годов насчитывалось уже 34 вида рыб.

Все это наглядно подтверждает иногда забываемую истину, что между средой и населяющими ее организмами устанавливается сложное и тонкое равновесие, складывающееся в течение длительного времени. Вмешательство же хозяйственной деятельности человека, образно говоря, отнимает у природы не больше, ни меньше, как время, необходимое для создания такого равновесия.

Антропогенное опустынивание Приаралья

Для достижения саксаулом максимального роста нужны десятилетия. Это говорит и о ранимости пустынных ландшафтов Приаралья.

Прекратилась фильтрация вод в русло Сырдарьи, а за ним и пополнение запасов подземных вод, залегавший на глубине 7-15 м, и черно-саксауловый лес оказался под угрозой гибели. А лес – это сложная экосистема, тесно связанная с другими экосистемами.

Уменьшение продуктивности экосистем, деградация зональных пустынных ландшафтов и аazonальных высокопродуктивных экосистем в долинах и дельтах Амударьи и Сырдарьи наблюдается и в Приаралье.

Антропогенное опустынивание выражается:

- 1) понижение уровня грунтовых вод и увеличение их минерализации;
- 2) в пределах обсохшей территории появился слой грунтовых вод, который в результате капиллярного поднятия вызывает засоление почвы;
- 3) обсохшее дно становится ареной ветровой деятельности, участились песчаные бури.

На освобождающейся территории возникают своеобразные биогеоценозы, в которых господствуют солянки, грызуны.

Большое влияние падение уровня сказалось на дельтах рек. Высохли озера, протоки. Исчезла влаголюбивая растительность, уменьшилась кормовая база, что сразу же сказалось на животном мире. Проис-

ходит засоление почв, в результате алювиально-болотные, лугово-болотные почвы заменяются солончаками.

Контрольные вопросы

1. Понятие об антропогенном кризисе и катастрофе.
2. Концепция антропогенных экологических катастрофы.
3. Понятие об антропоцентризме и эоцентризме.
4. В чем состоит специфика антропогенного фактора воздействия на природу и биосферу в целом.
5. Катастрофа Арала.
6. Чернобыльская катастрофа.
7. Международные экологические организации и программы, их значение для уменьшения экологического риска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время проблема природных катастроф рассматривается как одна из наиболее актуальных. За последние годы произошли существенные изменения во взглядах на стабильное состояние и развитие природных систем. Связано это и с общим ростом населения планеты, интенсивным развитием научно-технического и экономического потенциала, промышленным освоением новых, зачастую экстремальных, территорий. В последнее десятилетие все чаще говорят о начале глобальной экологической катастрофы, индуцированной антропогенным фактором. Все острее стоит вопрос о том, а так уж бессилен человек перед природной стихией. Знание причин и динамики процесса природных катастроф, их прогноза, а также возможных последствий и разработка мер предосторожности и восстановления разрушенных территорий и находящихся на них социально-экономических систем и экосистем – необходимый атрибут современного ученого, занимающегося изучением развития природных и антропогенных систем различного уровня. В связи с этим во многих высших учебных заведениях страны введен специальный курс по природным катастрофам. Такой курс существует и в учебном плане по кафедре экологии и природопользования Владивостокского государственного университета экономики и сервиса.

При подготовке настоящего учебного пособия авторы ставили перед собой цель и руководствовались желанием помочь читателю разобраться в многообразии различных природных катастроф и стихийных бедствий, узнать о причинах их возникновения и разрушительных последствиях. В основном пособие ориентировано на студентов биологических специальностей, не имеющих глубокой географической (геоморфологической) и геологической (структурная и динамическая геология) подготовки. В связи с этим авторы попытались сделать учебное пособие достаточно информативным и кратким, не прибегая при этом к специальной и малопонятной терминологии, требующей получения дополнительного объема знаний. В основу подготовки пособия был положен опыт чтения лекций по основам геологии и физической географии для студентов – экологов, в которых кратко рассматривались и вопросы природных катастроф. В настоящем же учебном пособии значительно расширен круг рассматриваемых задач и вопросов. Показано, что природные геологические и географические системы (геосистемы), с одной стороны, и биологические и экологические системы (био- и экосистемы), с другой, взаимосвязаны. Их можно, в какой-то мере, рассматривать как подсистемы такой глобальной системы как биосфера. Эти под-

системы представляют собой совокупность конкретных структурно-вещественных элементов и функционально взаимосвязаны энергообменом или массопереносом между собой. Следовательно, такие подсистемы являются открытыми в термодинамическом аспекте и всегда открыты для внешнего воздействия. В этом, по мнению авторов, и кроется сложность их взаимодействий. Как правило, такие взаимодействия носят положительный характер, ибо природа построена рационально. Но часты и отрицательные взаимодействия – сильное и масштабное землетрясение и мощное извержение вулканов (эндогенная среда) приводят к возникновению цунами, селям и обвалам (экзогенная среда), что также непосредственно сказывается на динамике развития экосистем. До определенного времени элементы экосистемы находятся в условиях динамического равновесия с геосистемами. Однако постоянно действующие внутри Земли или на ее поверхности геологические силы, равно как и гидрологические и атмосферные процессы, могут привести к аддитивности возмущений, нарушению связей, обеспечивающих устойчивое функционирование природной геосистемы и связанной с ней экосистемы. При достаточно сильных возмущениях, передающихся на экосистемы, последние приобретают необратимые изменения, нередко носящие катастрофический характер, после чего восстановление их динамического равновесия уже невозможно. А.Е. Шейдеггер под термином «природная катастрофа» понимал любое изменение окружающей среды, ставящее под угрозу жизнь человека или влияющее нежелательным образом на его работу. По его мнению катастрофа – это следствие нарушения стабильного состояния природной системы в определенном месте и в определенное время. В зависимости от вида аддитивных воздействий (естественных или рукотворных), приведших к катастрофическому развитию геосистемы или экосистемы (это же можно рассматривать и в отношении антропоэкоэкологии любого класса), катастрофы можно разделить на природные и антропогенные (природно-техногенные, природно-социальные и т.п.). Воздействие человека на естественное состояние природных компонентов может привести к глобальным природным изменениям, обусловленных синергическим эффектом (глобальное потепление климата и, как следствие, повышение уровня Мирового океана, ядерная зима и исчезновение жизни на планете, преобразование ландшафтов и развитие пустынных областей). Вот поэтому нам и важно знать причины и саму динамику катастроф, индуцированных геологическими, гидрологическими или атмосферными силами и которые могут быть также вызваны антропогенным воздействием.

До сих пор остаются для человека невыясненными вопросы прогноза землетрясений и катастрофического извержения вулканов, которые могут стать причиной многих экзогенных катастроф. В этом на-

80

правлении предстоит большая научная работа, хотя определенные шаги уже сделаны.

Дальнейшее развитие дисциплины авторы видят в увеличении объема лекций. Ограниченный 17 лекционными часами столь важный курс не может охватить весь перечень проблем катастрофических процессов. За пределами учебного пособия остались многие антропогенные катастрофы (проблема Байкала, Волги, смог городов, развитие новых вирусов и микроорганизмов, вызывающих пандемии гриппа, масштабные поражения вирусным гепатитом, стремительный рост ВИЧ-инфицированных, что, в конечном счете, сказывается на здоровье нации). Не освещены многие вопросы стабильного развития социально-экономических систем и экосистем в условиях все возрастающего антропогенного стресса. За рамками учебного пособия остались вопросы по развитию международных обществ и программ (например, Доклады Римскому клубу) и их роли в предотвращении антропогенных катастроф.

Данное учебное пособие можно охарактеризовать как некий эксперимент. Авторам важно знать, как оно будет восприниматься студентами, будет ли доступно для человека, не обладающего геологическими или геоморфологическими знаниями. Тенденцию развития учебного пособия авторы видят в более расширенном и глубоком изложении основного материала, сопровождающегося иллюстративным материалом, и также в написании специальной главы по поиску и правильному пониманию информации в Интернете с перечислением основных сайтов и Web-страниц. Важной темой авторы считают анализ и оценку разрушительных последствий и мер по восстановлению природных и антропогенных систем.

Авторы будут признательны за критические замечания и рекомендации, которые, несомненно, помогут подготовить новое усовершенствованное учебное пособие.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

Ананьев Г.С. Катастрофические процессы в рельефообразовании: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1998. – 102 стр.

Короновский Н.В., Якушова А.Ф. Основы геологии. М.: Высш. шк., 1991. – 432 стр.

Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во МГУ, 1995. – 224 стр.

Дополнительная

Арнольд В.И. Теория катастроф. М.: Наука, 1990. – 128 стр.

Арский Ю.М., Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч. и др. Экологические проблемы: что происходит, кто виноват и что делать? М.: МНЭПУ. – 1997.

Бабаханов Н.А. Стихийные природные явления. М., 1998.

Бакланов П.Я. Дальневосточный регион России: проблемы и перспективы устойчивого развития. Владивосток: Дальнаука, 2001.

Баландин Р.К., Бондарев Л.Г. Природа и цивилизация. М.: Мысль, 1988.

Боков В.А., Селиверстов Ю.П., Черванев И.Г. Общее землеведение. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1998. – 266 стр.

Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдоналд Г.А. и др. Геологические стихии. М.: Мир, 1978. – 439 стр.

Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. М.: Мысль, 1988. – 522 стр.

Двенадцать разгневанных стихий. Владивосток: Дальнаука, 1999.

Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. М.: Мир, 1984. Кн.1–2.

Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь. М.: Мир, 1988. – 220 стр.

Говорушко С.М. Влияние природных процессов на человеческую деятельность. Владивосток, 1999. – 185 стр.

Говорушко С.М. Влияние хозяйственной деятельности на окружающую среду. Владивосток: Дальнаука, 1999. – 171 стр.

Ли Дэвис. Природные катастрофы. М., 1988. Т. 1–2.

Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе. Владивосток, 1990. Т. 1. – 217 стр.; Т. 2. – 438 стр.

Школенко Ю.А. Эта хрупкая планета. М., 1998.

Шалимов А.И. Набат тревоги нашей. Л., 1995.

Шейдеггер А.Е. Физические аспекты природных катастроф. М.: Недра, 1981. – 232 стр.

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА	1
Введение	6
Тема 1. Землетрясения	12
Тема 2. Вулканизм	22
Тема 3. Цунами	32
Тема 4. Гидрологические катастрофы	37
Тема 5. Ледовые катастрофы	42
Тема 7. Стихийно-разрушительные процессы в горах: лавины	49
Тема 7. Стихийно-разрушительные процессы в горах: сели, оползни, обвалы	58
Тема 8. Метеорологические катастрофы: циклоны и ураганы	66
Тема 9. Метеорологические катастрофы: смерчи, грозы	69
Тема 10. Антропогенные катастрофы	73
Заключение	79
Список рекомендуемой литературы	82

Учебное издание

Пушкарь Владимир Степанович
Черепанова Марина Валерьевна

ЭКОЛОГИЯ: ПРИРОДНЫЕ КАТАСТРОФЫ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Учебное пособие

Редактор Л.И. Александрова
Корректор Л.З. Анипко
Компьютерная верстка М.А. Портновой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

Подписано в печать ..2003. Формат 60×84/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Усл. печ. л. .
Уч.-изд. л. . Тираж * экз. Заказ

Издательство Владивостокского государственного университета
экономики и сервиса
690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41
Отпечатано в типографии ВГУЭС
690600, Владивосток, ул. Державина, 57