

Экологическая геодинамика

Лекция 4

**Сейсмические явления, землетрясения и экологические
последствия**

1. Причины землетрясений

От греческого *сейсмос* – *землетрясение*. Сейсмические явления это прохождение упругих волн продольных или поперечных, распространяющихся в литосфере с большой скоростью типа ударной волны. Существует теория упругой отдачи Рида, которая объясняет их развитие как результат разгрузки напряженного состояния твердого тела земной коры. Порода земной коры находится своего рода между молотом и наковальней. С одной стороны испытывают давление веса вышележащих слоев, как проявление сил гравитации, вектор силы которой направлен к центру тяжести планеты, с другой стороны это сила разуплотнения, вектор которой направлен радиально от центра тяжести. Силу тяжести вы себе представляете хорошо, по крайней мере, характер ее воздействия. А вот что такое сила разуплотнения? Силу Архимеда знаете? Ее влияние испытывали на себе, когда приходилось погружаться в воду

Первоначально Земля была собрана из весьма неоднородного вещества, которому впоследствии пришлосьделиться на слои разной плотности. Более легкое вещество всплывало над более плотным и этот процесс не закончен до сих пор, к тому же работает и радиоактивный распад, при котором тяжелые элементы распадаются на более легкие. Последние выталкиваются к поверхности, преодолевая гравитационное сопротивление вышележащих пород, упругое сопротивление сил связи в кристаллической решетке минералов. В наиболее ослабленных местах возникают разрывы, трещины разных масштабов от микроскопических до глубинных разломов, широких зон

трещиноватости, разбивающих земную кору на отдельные блоки. Эти блоки испытывают как вертикальные, так и горизонтальные перемещения.

Сейсмические явления могут быть следствием, как природных так и техногенных процессов.

Различают очаги землетрясений (**гипоцентр**) и их проекцию на поверхность (**эпицентр**), область распространения волны определенной амплитуды (**силы**) которую можно очертить изолиниями (**изосейсмами**). Природные очаги землетрясений могут быть как коровыми, так и мантийными. Очаги землетрясений могут быть **местными** или **отдаленными**.

Твердая часть нашей планеты представляет собой мозаику крупных литосферных плит, находящихся в динамике глобального конвейерного движения. Очаги землетрясений ложатся на границы этих плит (рис.1), но главным образом на конвергентные и дивергентные, т.е. совпадают с теми, по которым в значительной мере проявляется вертикальная составляющая смещений. Если мы сравним глобальные карты распространения землетрясений и вулканизма, то увидим их идентичность. Нетрудно видеть, что наиболее сейсмичным является Тихоокеанский пояс конвергентных субдукционных границ.

При землетрясениях, эпицентр которых расположен на дне океанов или морей, возникает явление **моретрясения**, при которых в массе воды возникают эллиптические волны высотой в несколько десятков метров, распространяющиеся с большой скоростью – **цунами**. При этом, как показали исследования японских ученых, горизонтальные перемещения пород (сдвиги), как правило, не сопровождаются образованием таких волн. Так, при сильнейшем Сан-Францисском землетрясении 1906 года цунами не было, хотя горизонтальное смещение по разлому Сан-Андреас достигло 6 м (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).



Рис.1. Цунами – грозная стихия.



Рис.2. Последствия землетрясений в городе

В пределах материков эпицентры землетрясений приурочены к областям новейшей тектонической активизации (эпи платформенные орогены типа Тянь-Шаня), а также к рифтовым зонам, сопровождающимся образованием систем разломов (рифты Восточной Африки, Красного моря, Байкальская система рифтов и др.). В пределах океанов значительной сейсмической активностью отличаются срединноокеанические хребты. На платформах и на большей части дна океанов землетрясения происходят редко и большой силы не достигают

2. Сейсмоопасные структуры

1. Зоны чрезвычайно сейсмичные субдукционные – Курило-Камчатская с глубиной очагов 600 км и более.
2. Высоко сейсмичные материковые орогенические структуры, Кавказ, Центральная Азия, Алтай, Саяно-Байкальская

3. Реликтовые зоны субдукции – зона Вранча (Восточные Карпаты), Памиро-Гиндукуша с глубиной очагов 200-300 км;

4. Слабо- и асейсмичные территории платформ – Русской Западно-Сибирской, Туранской, Восточно-Сибирской.

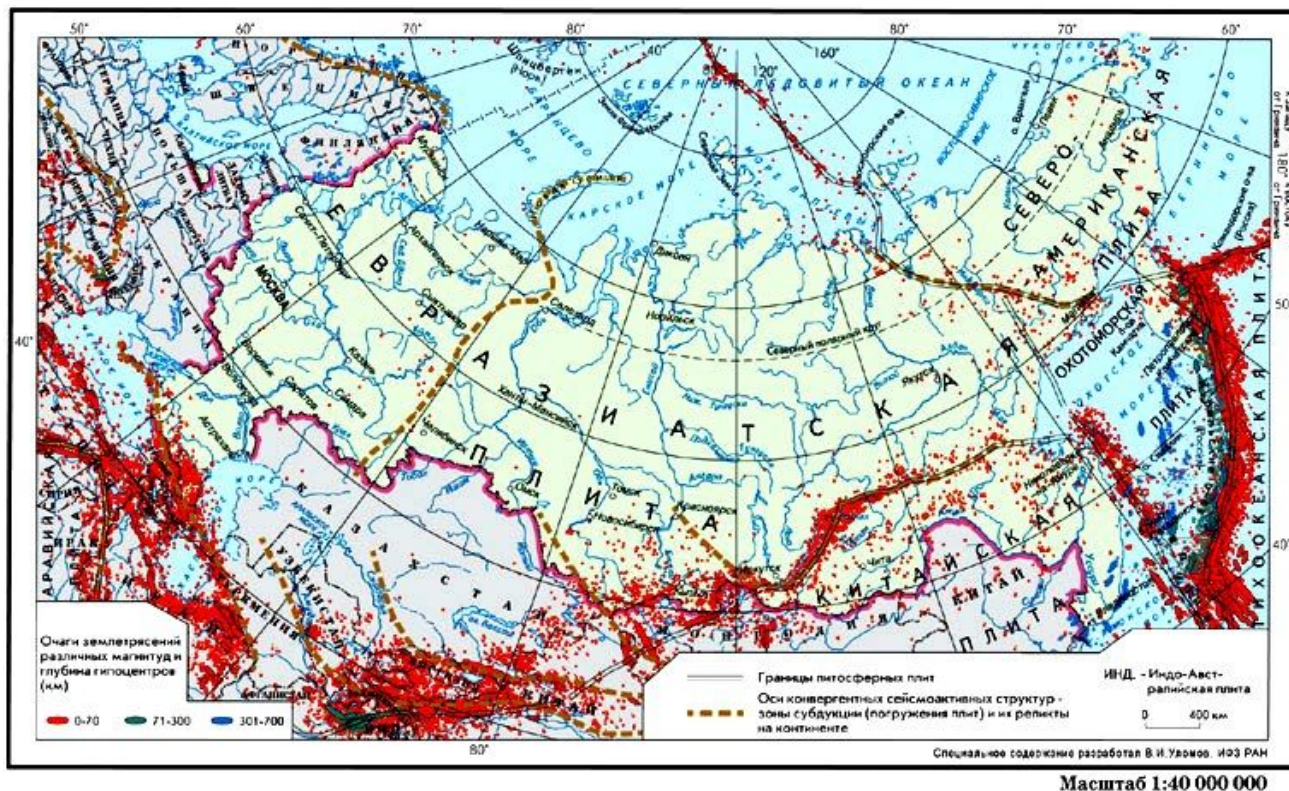


Рис.3 Карта сейсмичности СНГ

В сейсмическом отношении территория России принадлежит Северной Евразии, сейсмичность которой обусловлена интенсивным геодинамическим взаимодействием нескольких крупных литосферных плит – Евразийской, Африканской, Аравийской, Индо-Австралийской, Китайской, Тихоокеанской, Северо-Американской и Охотоморской. Наиболее подвижны и, следовательно, активны границы плит, где формируются крупные сейсмогенерирующие орогенетические пояса: Альпийско-Гималайский – на юго-западе, Трансзиатский – на юге, пояс Черского – на северо-востоке и Тихоокеанский пояс – на востоке Северной Евразии. Каждый из поясов неоднороден по строению, прочностным свойствам, сейсмогеодинамике и состоит из своеобразно структурированных сейсмоактивных регионов.

В европейской части России высокой сейсмичностью характеризуется Северный Кавказ, в Сибири – Алтай, Саяны, Байкал и Забайкалье, на Дальнем Востоке – Курило-Камчатский регион и остров Сахалин. Менее активны в сейсмическом отношении Верхояно-Колымский регион, районы Приамурья, Приморья, Корякии и Чукотки, хотя и здесь возникают достаточно сильные землетрясения. Относительно невысокая сейсмичность наблюдается на равнинах Восточно-Европейской, Скифской, Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской платформ. Наряду с местной сейсмичностью на территории России ощущаются также сильные землетрясения от сопредельных зарубежных регионов (Восточные Карпаты, Крым, Кавказ, Центральная Азия и др.).

Характерная особенность всех сейсмоактивных регионов – примерно одинаковая их протяженность каждого (около 3000 км), обусловленная размерами древних и современных зон субдукции (погружение океанической литосферы в верхнюю мантию Земли), расположенных по периферии океанов, и их орогенических реликтов на континентах. Преобладающее число очагов землетрясений сосредоточено в верхней части земной коры на глубинах до 15-20 км. Самыми глубокими (до 650 км) очагами характеризуется Курило-Камчатская зона субдукции. Землетрясения с промежуточной глубиной залегания очагов (70-300 км) действуют в Восточных Карпатах (Румыния, зона Вранча, глубина до 150 км), в Центральной Азии (Афганистан, зона Гиндукуша, глубина до 300 км), а также под Большим Кавказом и в центральной части Каспийского моря (до 100 км и глубже). Наиболее сильные из них ощущаются на территории России. Каждому региону свойственны определенная периодичность возникновения землетрясений и миграция сейсмической активизации вдоль зон разломов. Размеры (протяженность) каждого из очагов обуславливают величину магнитуды (M , по Рихтеру) землетрясений. Длина разрыва пород в очагах землетрясений с $M=7.0$ и выше достигает десятков и сотен километров. Амплитуда смещений земной поверхности измеряется метрами.

Самые крупные из известных землетрясений Кавказа, ощущавшихся на территории России интенсивностью до 5-6 баллов, произошли в Азербайджане в 1902 г. (Шемаха, $M=6.9$, $I_0=8-9$ баллов), в Армении в 1988 г. (Спитак, $M=7.0$, $I_0=9-10$ баллов), в Грузии в 1991 г. (Рача, $M=6.9$, $I_0=8-9$ баллов) и в 1992 г. (Барисахо, $M=6.3$, $I_0=8-9$ баллов).

Восточно-Европейская равнина и Урал характеризуются относительно слабой сейсмичностью и редко возникающими здесь местными землетрясениями с магнитудой $M=5.5$ и менее, интенсивностью до $I_0=6-7$ баллов. Такие явления были известны в районе городов Альметьевск (1914, 1986 гг.), Елабуга (1851, 1989 гг.), Вятка (1897 г.), Сыктывкар (1939 г.), Верхний Устюг (1829 г.).

3. Оценка мощи землетрясений и цунами

Оценка землетрясений проводится по комплексу показателей, среди которых выделяют: показатели: **энергетического класса (К)**, **магнитуду (М)**, **интенсивность (I_0) на поверхности в баллах**, **сейсмическое ускорение (\dot{a})**, **период повторяемости**, **остаточные деформации (сейсмодислокации)** и др. (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

Энергетический класс (К) представляет собой логарифмическую величину энергии землетрясения. По величине К выделяют 18 классов землетрясений: от самых слабых ($K=0$), до сильных катастрофических ($K=18$).

Магнитуда – С целью оценки энергии, выделяющейся в очаге землетрясения, Ч. Рихтером в 1935 году была предложена стандартная шкала магнитуд, которая является экспоненциальной, охватывая диапазон от 0 до 8.8. Магнитуда представляет собой логарифм отношения амплитуды колебаний A участка землетрясения к расчетной амплитуде A' участка, находящегося (100 км от эпицентра):

$$M = \lg A / A' = \lg A - \lg A'$$

Магнитуда Гоби-Алтайского (1957 г.), Аляскинского (1964 г.) землетрясений составила 8.6, Ташкентского (1966 г.) – 5.3, Нефтегорского – 7. При отличии магнитуд двух землетрясений на единицу, амплитуды их колебаний различаются в 10 раз. Связь магнитуды с энергетическим классом (К) определяется следующей зависимостью:

$$K=1,8M+12$$

Соотношение между *K* и *M* (по Г.П. Горшкову, А.Ф. Якушевой, [1973](#))

<i>K</i>	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>M</i>	3.1	3.7	4.4	5.5	5.6	6.2	7.0	5.7

Цунами

Землетрясения, гипоцентры которых находятся под дном морей и океанов, вызывают образование огромных разрушительных волн — цунами. Для их оценки японскими учеными предложена специальная шкала магнитуд цунами, которые определяются подобно магнитудам землетрясений. Определена эмпирическая зависимость магнитуды цунами от магнитуды вызывающего их землетрясения и высоты головной волны.

**Магнитуда и высота головной волны цунами
(по Болту Б. А. и др., 1978)**

Магнитуда землетрясения	Магнитуда цунами	Максимальная высота головной волны цунами, м
6.0	Незначительная	—
6.5	– 1	0.5—0.75
7.0	0	1.0—1.5
7.5	1	2.0—3.0
8.0	2	4.0—6.0
8.5	3	8.0—12.0

Установлено, что с увеличением глубины очага землетрясений величина цунами убывает. При этом предел магнитуды землетрясения, вызывающей катастрофическое цунами, можно определить по формуле

$$M = 7,7 + 0,008 h,$$

где h — глубина очага землетрясения, км.

Зависимость силы землетрясения от глубины очага.

Энергия землетрясений при приближении волн к поверхности затухает, так как постепенно расходуется за счет сопротивления внешней среды. Сила его на поверхности может измеряться в *балах*. Соотношение между интенсивностью, магнитудой и глубиной очаговой зоны определяется формулой:

$$I_0 = 1,5M - 3,5lgh + 3,$$

где h – глубина очага (см. табл).

**Зависимость интенсивности землетрясения
в эпицентре от магнитуды и глубины очага
(по Л. Д. Белому, В. В. Попову, 1975)**

Магнитуда M	Балльность при глубине очага h , км		
	5	15	45
3.25—4.25	5—6	4—5	2—3
4.25—5.25	7—8	5—7	4—5
5.5—6.5	9—10	7—8	5—7
6.5—7.5	10	9—10	7—8
7.5—8.5	11	10	9—10

Иногда оценку силы землетрясений проводят по последствиям. Такая оценка силы землетрясений проводится в разных странах с помощью различных специальных шкал. В России для этого применяются в основном две шкалы: [сейсмическая шкала](#) ИФЗ РАН и [Международная шкала](#) 12-бальная MSK-64. В настоящее время шкала MSK усовершенствована, ее последняя версия называется "Европейская макросейсмическая шкала" или EMS-98.. Оценка силы землетрясений по деформациям грунтов и нарушениям зданий проводится по соответствующим [классификациям](#).

Шкала сейсмической интенсивности MSK-64.

(Авторы: С.В. Медведев, Г. Шпонхойер и В. Карник, 1964 г.)

Классификация, принятая в шкале

○ **Типы сооружений. Здания без антисейсмических мероприятий:**

Тип А – здания из кирпича сырца, сельские постройки;

Тип Б – кирпичные, мелкоблочные, крупноблочные здания;

Тип В – каркасные железобетонные, панельные, рубленые избы.

○ **Классификация повреждений:**

1 степень – Лёгкие: трещины в штукатурке;

2 степень – Умеренные: небольшие трещины в стенах, дымовых трубах;

3 степень – Тяжелые: глубокие трещины в стенах, падение дымовых труб;

4 степень – Разрушения: сквозные трещины, обрушение частей зданий, внутренних стен, стен заполнения каркаса, связей между отдельными связями зданиями;

5 степень – Обвалы: полное разрушение зданий;

Описание баллов шкалы интенсивности

- 1 балл** – Неощутимое. Регистрируется приборами;
- 2 балла** – Едва ощутимое. Колебания ощущаются лишь отдельными людьми на верхних этажах зданий;
- 3 балла** – Слабое землетрясение. Ощущается некоторыми людьми, легкое раскачивание висящих предметов;
- 4 балла** – Заметное сотрясение. Ощущается внутри зданий, раскачивание висящих предметов;
- 5 баллов** – Пробуждение. Ощущается внутри зданий, на открытых участках, наблюдается раскачивание висящих предметов, возможны повреждения 1-й степени в зданиях типа А;
- 6 баллов** – Испуг. Падает мебель, люди пугаются и выбегают на улицу, возможны повреждения 1-й степени в отдельных зданиях типа Б и во многих зданиях типа А, отдельные случаи оползней;
- 7 баллов** – Повреждение зданий. Испуг и паника. Многие люди с трудом удерживаются на ногах, во многих зданиях типа В повреждения 1-й степени; во многих зданиях типа Б повреждения 2-й степени во многих зданиях типа А повреждения 3-й степени, оползни и трещины на дорогах;
- 8 баллов** – Сильное повреждение зданий. Во многих зданиях типа В повреждения 2-й степени; во многих зданиях типа Б повреждения 3-й степени во многих зданиях типа А повреждения 4-й степени, случаи разрыва стыков трубопроводов, оползни и трещины на дорогах;
- 9 баллов** – Всеобщее повреждение зданий. Во многих зданиях типа В повреждения 3-й степени, во многих зданиях типа А повреждения 5-й степени, случаи разрывы подземных частей трубопроводов, искривление ж/д рельсов;
- 10 баллов** – Всеобщее разрушение зданий. Во многих зданиях типа В-повреждения 4-й степени, в отдельных 5-й степени. Здания типа Б-повреждения 5-й степени, большинство зданий типа А -повреждения 5-й степени. Опасные повреждения плотин, дамб, разрывы и искривления подземных трубопроводов. Появляются трещины в грунтах от 0,2м до 1,0м.

Возможны большие оползни на берегах рек;

11 баллов – Катастрофа. Разрушение зданий хорошей полстройкой, мостов, плотин, ж/д путей, шоссейные дороги приходят в негодность. Горные обвалы;

12 баллов – Изменение рельефа. Сильные повреждения, разрушения всех типов наземных и подземных сооружений. радикальные изменения земной поверхности;

Человеческие потери от землетрясений по всему миру составляют 60 % всех жертв от различных стихийных бедствий. Землетрясения возникают внезапно и это усугубляет их разрушительные последствия, они относятся к быстродействующим геологическим процессам.

Землетрясения являются катастрофическими процессами регионального уровня и этим определяется их **экологическое значение**. Умеренные по энергии землетрясения могут оказаться катастрофическими в районах, где не были предприняты достаточные меры по обеспечению сейсмостойкости строительных сооружений, особенно таких опасных в экологическом отношении, как атомные электростанции и другие крупные энергетические и гидротехнические объекты. Последствия разрушительных землетрясений могут ощущаться в течение десятилетий, а затраты на их ликвидацию поглощают значительную часть национального бюджета. На территории бывшего СССР за послевоенное время при землетрясениях погибло свыше 200 тыс. человек (Экогеология России, [2000](#)).

Согласно [СНиП 22-01-95](#) основным количественным параметром при оценке опасности от **землетрясений** является интенсивность в баллах, а для **цунами**:

Площадная пораженность территории, %

Протяженность берега, в пределах которого относительно одновременно происходит развитие процесса, км

Продолжительность проявления, ч

Скорость, км/ч

Повторяемость, ед. в год

Землетрясения и цунами относятся к категории катастрофических процессов, их развитие на той или иной территории может вызывать катастрофическое разрушение различных инженерных сооружений. Согласно [СНиП 22-01-95](#) по количественным параметрам опасности проявления землетрясений или [цунами](#) изучаемые территории подразделяют на четыре категории (см. табл. ниже):

Показатели, используемые при оценке степени опасности природного процесса (ОПП)	Категории опасности процессов			
	чрезвычайно опасные (катастрофические)	весьма опасные	опасные	умеренно опасные
Землетрясения				
Интенсивность, баллы	Более 9	8 – 9	6 – 7	Менее 6
Цунами				
Площадная пораженность территории, %	>20	8-20	1-8	<1
Протяженность берега в пределах которого относительно одновременно происходит развитие процесса, км	30-40	10-30	5-10	<5
Продолжительность проявления,ч	48-60	7-48	2-7	<2
Скорость, км/ч	>500	200-500	20-200	<20
Повторяемость, ед. в год	0,05-0,1	0,02-0,05	0,01-0,02	<0,01



Рис.4. Трещина над очагом Горно-Алтайского (Чуйского)

4. Сейсмическое районирование территории РФ

Свыше 20 % территории Российской Федерации подвержено сейсмическим воздействиям, превышающим 7 баллов по 12-балльной шкале MSK-64, отражающей сейсмический эффект на земной поверхности, в связи с чем требуется проведение антисейсмических мероприятий в строительном деле. Более 5% территории России занимают чрезвычайно опасные 8-10-балльные зоны, где возникают наиболее крупные землетрясения с магнитудами $M = 7-8$ и более по шкале Рихтера. Наиболее сильные

землетрясения в европейской части России наблюдаются на Северном Кавказе, где их сила может достигать 9 баллов (Экогеология России, [2000](#)).

Высокая степень риска возникновения разрушительных землетрясений диктует настоятельную необходимость углубленных исследований, включая теорию и практику их прогноза, сейсмического районирования, нормирования антисейсмического строительства, постсейсмической и социальной реабилитации.

Прогноз землетрясений, т.е. прогноз **места, силы и времени** сейсмического события, относится к числу важнейших научно-технических проблем мирового значения, над разрешением которой давно работают коллективы ученых различных стран. Крупным циклом исследований рассматриваемого направления является создание карт сейсмического районирования.

Сейсмическое районирование представляет собой важное звено в оценке сейсмической опасности и социально-экономического риска территории. Карты сейсмического районирования необходимы для рационального землепользования, долгосрочного государственного социально-экономического планирования и оценки сейсмической уязвимости строительных объектов. Такие карты пока еще далеки от совершенства. Крупные землетрясения продолжают вносить в нормативные строительные документы свои трагические коррективы (Экогеология России, [2000](#)).

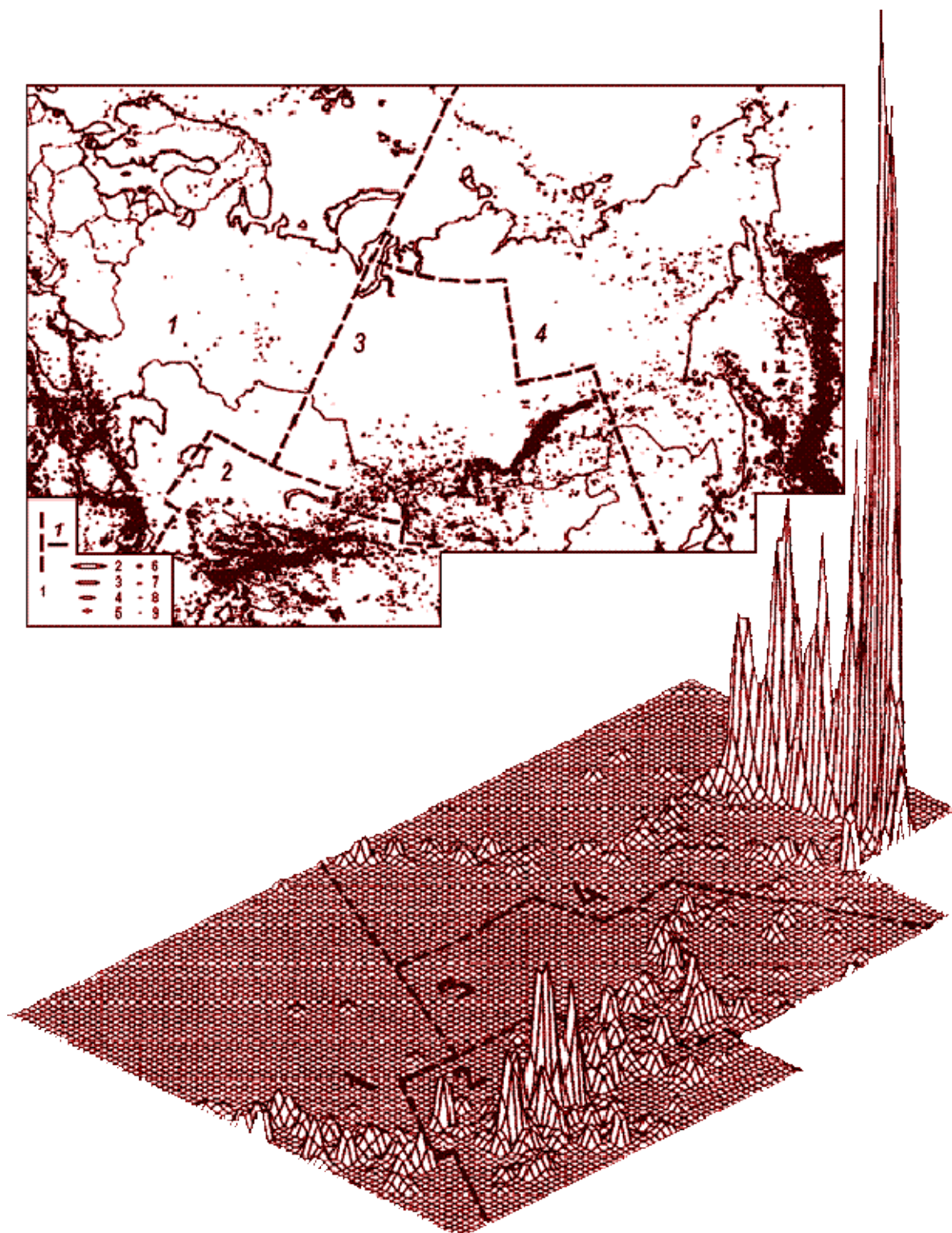


Рис.5. Эпицентры землетрясений и основные сейсмоактивные регионы Северной Евразии:

1. – Европейская часть России; 2. – Средняя Азия; 3 – Сибирь; 4. – Дальний Восток.
 Внизу, в виде вертикальных возвышений, показано соотношение среднегодового числа землетрясений в этих регионах. Как видно, на втором месте по сейсмической активности, после Курил и Камчатки, следует Средняя Азия

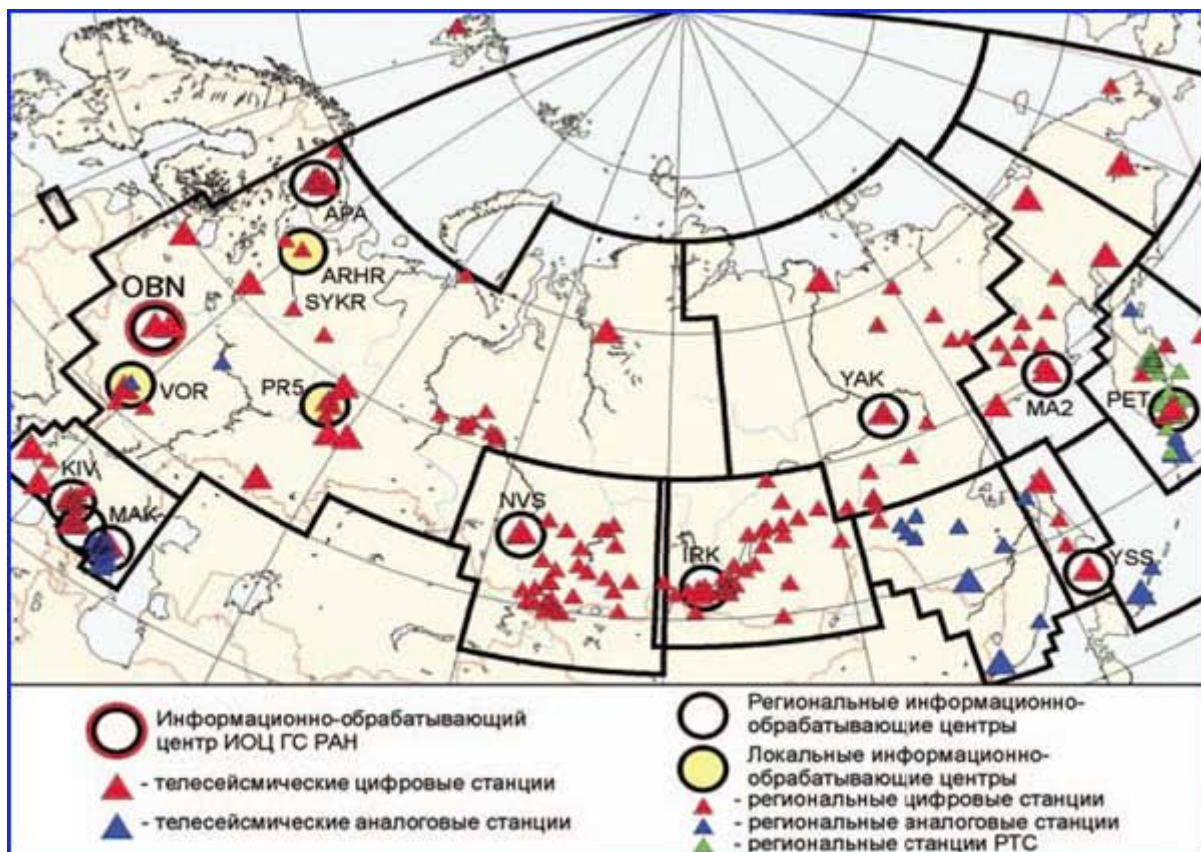


Рис.6. Сеть сейсмических станций Геофизической службы России по состоянию на 2004 г. Оконтурены регионы, за которые ответственны указанные на карте обрабатывающие центры ГС РАН.

<http://seismos-u.ifz.ru/seismic.htm>

5. Прогноз землетрясений

Исследования по прогнозу землетрясений проводятся в России, США, Японии и Китае. Прогноз землетрясений в общем виде включает в себя три вида: *пространственный* — определение места землетрясения; *количественный* — расчет максимальной силы сотрясений земной поверхности и *временной* — установления времени катастрофического землетрясения. Первые два вида в настоящее время оцениваются довольно точно, в том числе с помощью сейсмического районирования территорий.

Проблема прогноза *времени землетрясения* — самая сложная проблема. В то же время большинство людей ассоциируют прогноз землетрясений именно с этим показателем, и не просто прогноз любого землетрясения, а именно сильного, разрушительного, имеющего энергетический класс выше 10.

Землетрясению предшествует накопление различного класса изменений в геологической среде, по которым и можно его предсказать.

Гидрогеохимические предвестники землетрясений показывают изменение состава и минерализации поровых вод в зависимости от давления при землетрясении. **Увеличение давления** в скелете породы сопровождается растворением минерального вещества и **возрастанием общей минерализации**. В связи с возрастающей миграцией подземных вод, происходящей при увеличении действия напорных градиентов, изменяется химический состав подземных вод верхних горизонтов. Они **обогащаются микрокомпонентами, характерными для глубинных вод**. Весьма показательным в этот период и поведение газов — радона, гелия, уголекислоты, мигрирующих снизу вместе с глубинными водами. Так, в районе г. Ташкента перед землетрясением 1966 года отмечено нарастание концентрации радона. В термальных водах в это время происходит повышение концентраций гелия. Максимум таких концентраций обычно наблюдается за несколько дней до сейсмического события (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

Гидротермогеохимические предвестники землетрясений основываются на факторе увеличения температуры подземных вод перед землетрясением, вызванным изменением направления переноса тепла от более нагретых (термальных) к холодным водам; температура, как правило, изменяется от 0.2 до 2.0 °С при времени, предшествующем землетрясению, от 2—3 до 15—20 дней.

Предсказание времени землетрясений по гидрогеологическим предвестникам весьма перспективное, но далеко не единственное направление решения этой задачи.

Делаются попытки предсказания времени сейсмических толчков по изучению **перераспределений напряжений в земной коре**, проводятся инструментальные наблюдения за смещениями по трещинам и перемещением отдельных блоков земной поверхности, анализируется повторяемость сильных землетрясений для отдельных участков Земли, однако все это разрозненные

факты, которые пока трудно уместить в стройную теорию (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

В целом ряде случаев становится возможным рассматривать **фазы социального беспокойства** как производные элементы **геобиофизических аномалий**, периодически генерируемых в природе. Такие фазы, располагаясь в некоторой последовательности природно-социальных явлений, замыкаются предельным событием — геодинамической катастрофой, завершающей очередную цепь развития в живой и косной материи конкретного ареала (Экогеология России, [2000](#)).

Медиками отмечены прямая зависимость количества сердечно-сосудистых и нервных заболеваний от силы и частоты сейсмических колебаний, своеобразие клинического течения заболеваний и их исход. Отрицательные эмоции, обусловленные землетрясением и его афтершоками, сильно влияют на эндокринную систему, приводят к глубоким перестройкам организма. Наблюдается функциональное поражение нервной и сердечно-сосудистой систем, называемое медиками "болезнью землетрясения": во время или вскоре после подземного толчка возникают страх, учащенное сердцебиение, боль в области сердца, слабость в ногах, потеря ориентации и связности мышления, увеличение холестерина в крови, рост гипертонических кризов, инсультов, острой коронарной недостаточности и других осложнений сердечнососудистой системы.

Рассматриваемое геофизическое явление и медико-биологические последствия, выражающиеся в стрессовых реакциях населения на землетрясения, представляют собой одну из наиболее острых **экологических проблем**, требующих привлечения усилий специалистов-психологов, исследовательских центров медицины катастроф (Экогеология России, [2000](#)).

6. Проблемы сейсмического районирования и микрорайонирования

Повышение надежности сейсмического районирования продолжает оставаться одной из самых сложных проблем прикладной сейсмологии. Многочисленные примеры несовпадения сейсмологических расчетов и прогнозов с реальными природными условиями можно привести по всем регионам мира. Причина ошибок сейсмического районирования состоит, прежде всего, в том, что оно базируется на неполной информации о сейсмичности и сейсмотектонике территории, скудном опыте оценок сейсмической опасности и на недостаточно совершенных методологических позициях. Поэтому одной из главных практических задач сейсмологических исследований является создание на новой методологической сейсмологической и геолого-геофизической основе обновленной карты сейсмического районирования территории Российской Федерации и сопредельных с ней стран (Экогеология России, [2000](#)). Карты сейсмического районирования являются своего рода прогнозными картами, указывающими место и возможную силу сотрясения этого участка земной поверхности (Иванов, Тржцинский, 2001).

Новая карта призвана официально заменить устаревшую, но используемую в настоящее время карту сейсмического районирования 1978 г. (СР-78), вошедшую в 1981 г. в Строительные нормы и правила ([СНиП-П-7-81](#)). Она, подобно своим предшественницам (1937, 1957, 1968 гг.), также не выдержала испытания временем. Начиная с 1988 г., практически ежегодно возникали 8-10-балльные землетрясения в зонах, опасность которых на карте СР-78 оказалась заниженной по меньшей мере на 2-3 балла

В 1997 г. под редакцией В.И.Уломова была создана **новая карта** общего сейсмического районирования (ОСР-97) Северной Евразии. Она включает в себя три карты ([карта А](#), [карта В](#) и [карта С](#)), отличающиеся вероятностью (соответственно, 10%, 5% и 1%) прогноза для данной территории возникновения того или иного землетрясения.

Графическим выражением сейсмического районирования являются карты, содержащие сведения об интенсивности сотрясений (в баллах) для любого географического пункта при средних грунтовых условиях. Согласно

Строительным нормам и правилам, к средним грунтовым условиям относятся глины, суглинки, пески, супеси при положении уровня грунтовых вод глубже 8 м от поверхности Земли, а также крупнообломочные грунты при положении уровня грунтовых вод от 6 до 10 м от поверхности Земли. В СССР общая площадь сейсмоопасных районов составляет 28,6% территории страны (в т. ч. на 9-балльные районы приходится 2,4%, на 8-балльные — 3,2%). районы возможных 9-балльных землетрясений находятся в Средней Азии, Прибайкалье, Камчатке, Курильских островах и др.; 8-балльные районы — в Молдавии, Крыму, на Кавказе, в Южной Сибири и др.

В России.

Карты сейсмического районирования показывают *исходный балл*, присущий данной территории, учитывающий обобщенные геологические условия. В целом составление карт сейсмического районирования производится на основании совместного анализа сейсмологических и инженерно-геологических данных. При этом используются сведения о распределении очагов землетрясений в пространстве и времени, о повторяемости сотрясений, а также данные о разрушительных последствиях, происходящих ранее в пределах этих зон землетрясений наибольшей силы с их оценкой по сейсмической шкале балльности. Последовательность этих работ следующая — сначала оценивается сейсмичность очаговой зоны, затем дается прогноз сотрясаемости земной поверхности (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что приводимый на картах сейсмического районирования исходный балл не устраивает проектировщиков и строителей, возводящих в сейсмических районах различные сооружения. Уточнение величины сейсмических воздействий на сооружения в зависимости от местных условий конкретного участка территории сейсмоопасного района (физические и динамические свойства грунтов и подстилающих пород, мощность верхних слоев земной коры, наличие многолетнемёрзлых горных пород, тектонические условия, особенности

рельефа, спектральные свойства приходящих сейсмических волн и т. п.) составляет предмет [сейсмического микрорайонирования](#).

В связи с этим на отдельных освоенных и осваиваемых участках (города, крупные поселки, промышленные объекты и т. д.) проводится [сейсмическое микрорайонирование](#), конкретной задачей которого является установление **расчетного балла**, т. е. выделение в пределах данного сейсмического региона участков с существенно различными грунтовыми, морфометрическими и гидрогеологическими условиями. На практике достаточна оценка, при которой выделяются участки, отличающиеся по степени сейсмического эффекта при сильных землетрясениях на один балл по отношению к сейсмическому эффекту, ожидаемому в данном пункте в средних грунтовых условиях, т. е. при исходном балле. Основой сейсмического микрорайонирования являются, с одной стороны, сведения о сейсмическом районе и типах грунтовых условий, выделенных на основании проведенных инженерно-геологических исследований. С другой стороны, сейсмические свойства грунтов, определенные по результатам инструментальных сейсмометрических измерений и соответствующих расчетов, например, сравнение амплитуд смещений и колебаний грунтов на площадках с различными типами инженерно-геологических элементов или сравнение грунтов различных участков по их акустическим жесткостям с учетом резонансных свойств выделенного инженерно-геологического элемента, наличие пород с различными типами частотных характеристик и т. д. (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

С помощью сейсмического микрорайонирования интенсивность землетрясений в баллах, указанная на картах сейсмического районирования, может быть скорректирована на $\pm 1-2$ балла в зависимости от местных тектонических, геоморфологических и грунтовых условий.

Наиболее разработаны методы оценки относительных резонансных характеристик грунта, позволяющие проводить непосредственные инструментальные наблюдения на различных участках изучаемой

территории. Большое влияние на величину сейсмического балла оказывает обводнённость пород (уровень грунтовых вод), их литологический состав (для многолетнемёрзлых грунтов — их температура), однородность и условия залегания грунтов, а также характер рельефа (наличие крутых склонов также увеличивает сейсмический эффект). Как правило, на скальных и многолетнемёрзлых грунтах сейсмический эффект на один балл понижается, на рыхлых, особенно увлажнённых грунтах, — на 1 балл повышается. В соответствии со строительными нормами и правилами ([СНиП 11-А. 12—69](#)) схемы сейсмического микрорайонирования застраиваемых территорий должны учитываться при проектировании сейсмостойких сооружений.

7. Остаточные деформации

Особый интерес с точки зрения оценки устойчивости отдельных территорий представляют остаточные деформации — различные виды экзогенных геологических процессов. Очень часто их воздействие проявляется не только в момент сейсмического удара, но и значительно позже. При этом большую роль здесь играют часто повторяющиеся слабые землетрясения, которые сами по себе не вызывают проявления на земной поверхности остаточных деформаций, но способствуют постоянному «растряхиванию» горных пород, в результате чего в них ослабляются внутренние структурные связи и уменьшается прочность, что в конце концов вызывает усиление обычных экзогенных геологических процессов, таких как обвалы, осыпи, [оползни](#), сплывы, карстовые обрушения и т. п. По проложенной линии БАМа в пределах Байкальской рифтовой зоны участки с повышенной пораженностью экзогенными геологическими процессами совпадают с зонами высокой сейсмической активности. Особое место среди таких участков занимают межвпадинные горные перемычки. Постоянная частая сотрясаемость отдельных частей перемычек провоцирует возникновение на первый взгляд неожиданных явлений. Так, во время сейсмических наблюдений 1967 года за полгода в районе оз. Бол. Леприндо (Чаро-Муйская перемычка) зарегистрировано 85

землетрясений силой до 7 баллов. Постоянное сотрясение мерзлых высокольдистых отложений вызвало внезапное развитие термокарста. Образовался термокарстовый лог протяженностью 650 м, шириной 10—15 и глубиной до 6 м. Одновременно с просадкой на бортах лога произошли солифлюкционные сплывы. За это же время на южном склоне Верхнеангарской впадины зарегистрировано 370 землетрясений силой менее 7 баллов. Этому же периоду соответствует активизация здесь сейсмогравитационных явлений (Геология и сейсмичность..., 1985). Таким образом, завершая описание влияния сейсмичности на устойчивость земной поверхности, еще раз подчеркнем, что оценка этого влияния складывается из многих природных факторов.

Другой, наиболее важной стороной вопроса является устойчивость сооружений,

8. Наведенная сейсмичность

Исследование взаимодействия объектов человеческой деятельности и геологической среды является исключительно важным научным и практическим вопросом современности, так как геологические факторы все чаще становятся причинами крупных техногенных катастроф. Одной из таких серьезных причин является *наведенная* (техногенная, возбужденная) сейсмичность (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

Что означает термин «наведенная сейсмичность»? В нашей научной литературе иногда под этим термином понимают два разных процесса «*инициирование*» и «*возбуждение*» (Николаев, 1994). «Инициирование» — это воздействие на очаг готового землетрясения. «Возбуждение» — это воздействие на определенную зону; земной коры, вызывающее одно или рои землетрясений, которые, без такого воздействия не произошли бы. Причем это могут быть как природные, так и антропогенные (или техногенные) воздействия. К природным факторам наведенной сейсмичности относятся такие, в настоящее время еще не достаточно глубоко изучены такие факторы,

как приливные деформации, связанные с фазами Луны и Солнца, изменение скорости вращения Земли, солнечная активность, инициирование землетрясений землетрясениями, погодные явления. К антропогенным или техногенным факторам наведенной сейсмичности относятся возведение и эксплуатация крупных водохранилищ, мощные промышленные и атомные взрывы, добыча полезных ископаемых и даже запуски тяжелых космических ракет. В настоящей главе речь пойдет о наведенной сейсмичности, связанной с антропогенными (техногенными) факторами. Причем в данном случае этот термин будет носить двоякий смысл, о котором говорилось раньше, то есть будут рассмотрены как сейсмичные районы, так и асейсмичные. В первом случае наведенная сейсмичность является главным образом инициирующим фактором, а во втором случае — возбуждающим фактором (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

До сих пор нет единой и законченной физической и математической теории или модели, которые бы удовлетворительно объясняли **механизм наведенной сейсмичности**. В случае строительства и заполнения крупных водохранилищ на проблему генезиса и механизма возбужденной сейсмичности имеются разные точки зрения. Перечислим некоторые из них:

- влияние веса воды,
- изменение напряжений в элементах земной коры, вызванные водной нагрузкой и скоростью изменения уровня водохранилища,
- влияние порово-трещинного давления, которое нейтрализует геостатическую нагрузку, уменьшает трение в горных породах, изменяет их прочность, нагрузку и т. д.

В случае разработки нефтяных и газовых месторождений причиной возбуждения тектонического землетрясения может стать:

- извлечение и закачка флюида (жидкости),
- изменение пластового давления и пластовой температуры,
- прямая просадка (оседание) поверхности и т. д.

При добыче твердых полезных ископаемых, при проходке шахт наблюдаются горные удары, то есть внезапное взрывоподобное разрушение горных выработок, сопровождающееся излучением сейсмических волн. Но кроме горных ударов наблюдаются сейсмические события, которые не сопровождаются разрушением выработок, но происходит излучение сейсмических волн. Эти события называются толчками. Согласно представлениям ряда исследователей, появление наведенной сейсмичности при добыче твердых полезных ископаемых обусловлено техногенным внедрением в сильно энергонасыщенные горные породы (Пономарев и др., 1994). В этом случае вводится новое понятие об активной и пассивной геологической среде.

Подземные ядерные взрывы (ПЯВ), с одной стороны, могут инициировать тектонические землетрясения, являющиеся результатом триггерного (эффект спускового крючка) высвобождения напряжений, накопленных геологической средой, с другой — подземные ядерные взрывы могут вызывать обвальные землетрясения, связанные с обрушением подземных полостей, образующихся при взрыве ([Николаев А.В.](#), [Аниколенко В.А.](#) и др.).

Наконец, несколько слов следует сказать о появившихся в последнее время сведениях о влиянии запусков тяжелых ракет на возникновение сильных землетрясений. По приближенным оценкам, справедливость которых уже подтверждена частично экспериментальными данными (Рыбников, [1994](#)), при определенных геофизических условиях техногенно спровоцированные вариации атмосферного давления над литосферными плитами могут послужить триггерным, спусковым фактором на их напряженно-деформированные границы и спровоцировать сейсмические толчки.

Наведенная сейсмичность, обусловленная гидротехническими объектами. Накопленные материалы о проявлении наведенной сейсмичности, связанной со строительством крупных гидроэлектростанций, сопровождающихся заполнением больших водохранилищ, ставят особенно остро проблему возникновения сейсмичности в связи с инженерной деятельностью человека. Особые осложнения при этом возникают из-за

необычных параметров этих землетрясений, так как частота повторения и интенсивность наведенных землетрясений часто оказывается выше нормальной для данного региона, а очаги землетрясений располагаются в непосредственной близости от водохранилищ. При этом в мировой практике известно несколько случаев, когда землетрясения, вызванные заполнением водохранилищ, приводили к разрушению строительных объектов, плотин, вызывали человеческие жертвы (Иванов, Тржцинский, [2001](#)).

Проблема возникновения землетрясений в связи с нагрузкой на геологическую среду от водных масс крупных водохранилищ в разных частях мира стала предметом озабоченности различных исследователей и вызвала значительный международный интерес. В США ей уделяют внимание такие влиятельные правительственные учреждения, как Национальная океаническая служба, Геологическая служба и т. д. В бывшем СССР были построены такие крупные водохранилища и гидроэлектростанции, как: Ингурская на реке Ингури в Грузии, высота плотины 271 м; Саяно-Шушенская на Енисее высотой плотины 245 м и др.

В некоторых случаях, особенно в сейсмических районах, очень трудно отличить природную сейсмичность от наведенной, что приводит некоторых исследователей к определенному пессимизму в изучении причин наведенной сейсмичности. В настоящее время выделяют три типа сейсмической активности, связанной с водохранилищами, по величине выделяемой сейсмической энергии.

Наведенная сейсмичность, обусловленная добычей полезных ископаемых. Согласно В.Л.Барабанову ([1994](#)) выделяют четыре типа техногенных землетрясений (А, Б, В, и Г), вызванных разработкой полезных ископаемых.

К наведенным землетрясениям *типа А* относятся такие, которые возникают при добыче (откачке) жидких полезных ископаемых когда отбор флюида из пласта приводит к нарушению геостатического равновесия

Наведенные землетрясения *типа Б* связаны непосредственно с продуктивным пластом. Классические случаи техногенных землетрясений – это

горные удары, а также гидроразрыв пласта при увеличении порового давления в пласте, при нагнетании в пласт жидкости

Землетрясения *типа В* происходят в зоне, которая располагается ниже залежи полезного ископаемого, как правило, между резко дифференцированными по образованию и залеганию горными породами. Эта Зона характеризуется повышенной концентрацией дизъюнктивных нарушений различного типа по сравнению с нижележащими кристаллическими породами

Землетрясения *типа Г* связаны с сейсмогенными зонами, расположенными на глубинах 10—20 км, и их в какой-то степени можно условно отнести к типу наведенных землетрясений. Землетрясения, произошедшие на глубине 10—20 км, относятся к наведенным землетрясениям по факту совпадения времени их происхождения с техногенным воздействием на вышележащие пласты. Большинство Исследователей считают, что техногенные воздействия в данном случае выполняют роль «триггера» или «спускового крючка» сильного тектонического землетрясения, связанного с необратимыми тектоническими процессами.

Так как землетрясения по существу представляют собой процесс разрядки накаплиющихся в течение длительного времени тектонических напряжений, то в принципе возможна *борьба с землетрясениями* путем закачки воды под давлением в глубокие скважины или производства серии глубоких взрывов, вызываемых в сейсмическом очаге с таким расчетом, чтобы препятствовать чрезмерному накоплению напряжений, способных создать разрушительные землетрясения, и своевременно разряжать сейсмическую область путем ряда слабых толчков. Уже в настоящее время человек располагает возможностью создавать такие толчки. «Мощность крупных ядерных взрывов всего в тысячу раз меньше таких крупнейших землетрясений, как Чилийское (1960 г.) и Аляскинское (1964 г.), мощность которых оценивалась в 10^{25} эрг» (Сергеев, 1982), поскольку от искусственно вызываемых толчков требуется не выделение энергии крупнейших землетрясений, а лишь оказание триггерного действия, то уже в настоящее

время можно провоцировать несильные землетрясения, имеющие целью разрядку накопившихся тектонических напряжений; надо только знать, где и когда они должны быть осуществлены. Понятно, что таким работам должны предшествовать серьезные исследования естественного процесса накопления и разрядки тектонических напряжений, однако решение этой задачи – вопрос только времени (Тер-Степанян, [1985](#)).