

УДК 550.348.436; 551.24:550.34



Сывороткин В.Л.

Землетрясения

Сывороткин Владимир Леонидович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник кафедры петрологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова
E-mail: hlozon@mail.ru

Представлен краткий обзор состояния отечественной сейсмологии, ее успехи и задачи. Даны основные термины и понятия. Главным достижением последних лет является понимание роли процесса глубинной дегазации планеты в ее сейсмической активности. Учет этого фактора открывает перспективы для кардинального улучшения временных прогнозов землетрясений.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмособытие, шкала интенсивности, магнитуда, сейсмофокальная область, сейсмические волны, прогноз землетрясений, предвестники землетрясений, глубинная дегазация.

Сейсмические события обычные и закономерные проявления жизни планеты. Достаточно заглянуть в Интернет, чтобы убедиться в том, что земля постоянно содрогается под ногами жителей всех стран и континентов. Каждую минуту на Земле происходит 1–2 землетрясения, что за год составляет несколько сотен тысяч, из которых 1 – катастрофическое, 10 – сильно разрушительных, 100 – разрушительных и 1000 – сопровождаются повреждениями сооружений¹. За исторический период землетрясения унесли более 15 миллионов человеческих жизней, что в 100 раз больше, чем, например, извержения вулканов.

Самые разрушительные из известных в мире землетрясений, наблюдались в Китае. 28 июля 1976 г. примерно в 160 км к юго-востоку от Пекина в густонаселенном районе северо-восточного Китая произошло землетрясение с магнитудой 8,2, эпицентр его находился в огромном промышленном городе Таншань. Масштаб разрушений и число человеческих жертв были беспрецедентными. Жилые дома и магазины, учреждения и заводы превратились в груды обломков. Весь город практически сровнялся с землей. Участки, расположенные на рыхлых грунтах, во время землетрясения сильно осели и покрылись множеством огромных трещин. Одна из таких трещин поглотила здание больницы и переполненный пассажирами поезд. Развитию трещин способствовало обрушение старых выработок в угольных шахтах. Население Таншаня насчитывало полтора миллиона человек, но лишь очень немногим удалось избежать телесных повреждений. Официальных сообщений об этой катастрофе из Китая не поступало, но гонконгская газета, сообщила, что погибло 655 237 человек. В это число были включены также жертвы землетрясения за пределами Таншаня, в частности в Тяньцзине и Пекине².

Эпицентр еще более губительного землетрясения, произошедшего также в Китае 23 января 1556 г., находился в городе Сиань (провинция Шэньси), расположенном на берегах Хуанхэ. Здесь равнины, выполненные рыхлыми осадками, чередуются с низкими холмами, сложенными тонким лессовым материалом. Целые города погружались в грунт, разжиженный вследствие колебаний, и тысячи жилищ, вырытых в рыхлых лессовых холмах, обрушились в считанные секунды. Поскольку толчок произошел в 5 ч утра, большинство семей еще находилось дома и с этим, несомненно, связано огромное число жертв – 830 000³.

В России (СССР) во вторую половину прошлого века наиболее разрушительными оказались Ашхабадское (октябрь 1948 г.); Ташкентское (апрель 1966 г.); Дагестанское (май 1970 г.); Спитакское (декабрь 1988 г.) и Нефтегорское (май 1995 г.) землетрясения. Каждое из них унесло тысячи и десятки тысяч человеческих жизней. С лица земли были стерты города и кварталы.

Первый толчок Ташкентского землетрясения произошел в 5 ч 22 мин 26 апреля 1966 г. Интенсивные колебания продолжались 6–7 секунд и сопровождались подземным гулом и световыми вспышками. Очаг находился непосредственно под центром города на глубине всего 8 км, т.е. эпицентр землетрясения, сила которого составила здесь 8 баллов, совпал с городским центром, который и пострадал более всего. Было

¹ Курс общей геологии / В.И.Серпухов, Т.В.Билибина, А.И.Шалимов и др. Л.: Недра, 1976. 535 с.

² Уолтхем Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.

³ Там же

разрушено большое количество жилых домов, особенно саманных старой постройки. Естественно, первый утренний толчок застал жителей города в постелях, что привело к человеческим жертвам. Разрушены были школы, фабрики, больницы и другие здания. Основной толчок сопровождался повторными (афтершоками), которые регистрировались еще 2 года, и их общее число превысило 1100. Самые сильные (до 7 баллов) отмечались в мае-июле 1966 г., а последний 24 марта 1967 г.

С 12 июня 1966 г. автор этой статьи работал в составе геологического отряда в окрестностях Ташкента и помимо многочисленных мелких афтершоков, испытал два семибалльных (29 июня и 4 июля). Поздним вечером 15 июля более часа мы наблюдали в небе яркое круговое свечение. Световые и звуковые эффекты часто сопровождают сильные землетрясения.

В мае 1970 г. на железнодорожной станции Дербент в Дагестане я оказался в воинском эшелоне, который простоял несколько часов из-за того, что на путях горели горы зерна, обильно политые нефтепродуктами. Незадолго перед нашим прибытием здесь столкнулись два состава, с соответствующими грузами. Виновником столкновения было 8-мибалльное землетрясение.

Самому 8-мибалльный толчок мне довелось испытать во время экспедиционных работ на Курильских островах. В августе 1981 г. на склоне вулкана Тятя на острове Кунашир, внезапно земля загудела под ногами и твердая укатанная грунтовая дорога на несколько секунд превратилась в болотную хлябь.

Удивительно, но я стал свидетелем двух землетрясений, которые сыграли выдающуюся роль в установлении связи сейсмособытий с усилением глубинной дегазации. Так во время Ташкентского землетрясения 1966 г. был установлен эффект упреждающего усиления радоновой дегазации. Во время Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 г. Д.Г.Осика² обнаружил путем прямого измерения в зияющих трещинах эффект увеличения концентрации водорода на 5–6 порядков. Также было установлено, что активизация газовыделения во время землетрясений наблюдается на площади в десятки и первые сотни тысяч квадратных километров.

Термин *землетрясение* настолько удачен и емок, что не требует дополнительного пояснения. Происходит землетрясение в результате скачкообразного выделения энергии внутри некоторого объема в глубинах Земли. Этот объем или пространство именуется *очагом землетрясения*, центр очага – *гипоцентр*. Проекция гипоцентра на поверхность Земли называется *эпицентром*. Расстояние от эпицентра до гипоцентра – это *глубина очага*. Проекция очага на поверхность, в пределах которой землетрясение имеет максимальную силу, называется *эпицентральной областью*.

Очаги подавляющего числа землетрясений находятся на глубинах до 50–60 км. Кроме того, существуют *глубокофокусные землетрясения*, их очаги фиксируются на глубинах до 650–700 км. Обнаружены они были в 20-х годах прошлого века на окраинах Тихого океана. Относительно небольшое число землетрясений зарождается на глубинах 300–450 км. Кроме тихоокеанских окраин землетрясения с глубокими очагами (250–300 км) обнаружены на Памире, в Гималаях, Куньлуне и Гиндукуше.

Географическое распространение землетрясений на планете неоднородно. Наряду с *асейсмичными областями*, где на памяти человека не происходило значимых сейсмособытий, отчетливо выделяются сейсмически активные области, которые имеют вид линейно вытянутых зон, практически на 90% совпадающих с областями активного вулканизма. Это, в первую очередь, Тихоокеанское «огненное кольцо» – зона сочленения океана с его континентальными окраинами. Уже упомянутой спецификой этих зон является наличие глубокофокусных землетрясений. Постоянно происходят малоглубинные землетрясения в рифтовых структурах срединно-океанских хребтов, а также в континентальных рифтах, например на оз. Байкал. Примечательно, что сейсмичными зонами являются Финский залив Балтийского моря и Кандалакшский залив – Белого. Здесь сила землетрясений достигает 7 баллов, а сами события участились в последние годы.

Сейсмически активной зоной планетарного масштаба является Альпийско-Гималайская. Она протягивается от Атлантики на западе до Тихого океана на востоке, охватывая половину земного шара.

Подчеркнем, что географическое распределение землетрясений, совпадающее с областями проявления современного вулканизма и активной «холодной» глубинной дегазации, прямо указывает на наличие генетической связи между этими катастрофическими явлениями.

Энергия, мгновенно освободившаяся в очаге, распространяется в окружающем пространстве в виде упругих *сейсмических волн*. Материя реагирует на импульсное воздействие изменением формы и объема. Элементарные изменения объема распространяются в горных породах в виде *продольных волн* (волны сгущения), а изменение формы – в виде *поперечных волн* (волны сдвига). Наглядным примером продольных волн является волна, бегущая по железнодорожному составу после резкого толчка локомотива. Всякий, кто бывал на грузовых станциях, вспомнит характерный звук трещащего состава, сопровождающий бегущую волну. Поперечная волна это обычное колебание струны. Сейсмические волны подчиняются всем законам волнового движения, на границах сред они преломляются, отражаются, затухают при удалении от источника. Длина сейсмических волн варьирует от сотен метров до сотен километров.

Скорость распространения продольных волн в 1,7 раза больше скорости поперечных, поэтому они первыми достигают поверхности Земли, почему и называются еще Р-волнами (от англ. primary – первичные), а поперечные, соответственно, S-волны (от англ. secondary – вторичные). Пришедшие первыми в эпицентр продольные волны возбуждают волны *поверхностные*, которые являются поперечными, но в отличие от первичных поперечных волн имеют скорость распространения в два раза меньшую. В скаль-

¹ Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. М.: МГУ, 1973. 592 с.

² Осика Д.Г. Флюидный режим тектонически-активных областей. М.: Наука, 1981. 204 с.

ных грунтах она не превышает 3,3–4,0 км/сек. Амплитуда поверхностных волн измеряется первыми сантиметрами, а длина достигает сотен километров. Они расходятся от эпицентра во все стороны и могут оббежать всю планету, место встречи разнонаправленных фронтов называется *антиэпицентром*.

В толщах рыхлых или вязких пород (пески, глины), особенно насыщенных водой, возбуждаются *волны тяжести*, причина их возникновения – дезинтеграция частиц. Некий объем породы, взброшенный сейсмическим ударом как единое целое, возвращается в исходное положение под действие гравитации в виде отдельных частиц. Скорость волн тяжести в 1000 раз меньше скорости упругих колебаний и измеряется метрами в секунду, но амплитуда может достигать десятков сантиметров. Так при Калифорнийском землетрясении 1906 г. в отдельных местах отмечались земные волны высотой до 1 м, было зафиксировано также распространение волн высотой около 30 см и длиной 18 м.

Поверхностные волны и волны тяжести приносят наибольший ущерб, они вызывают видимые колебания почвы, изгибы рельсов, трубопроводов и дорог. Обычно поверхностные движения длятся не более одной минуты, так в 1906 г. в Сан-Франциско землетрясение продолжалось около 40 секунд. Однако продолжительность сильнейшего землетрясения на Аляске в 1964 г. была в 5 раз больше. Затем перечисленные типы волн затухают, а на смену им приходят афтершоки – дополнительные импульсы волнового движения, вызванные вторичными подвижками пород в точке первоначального нарушения их целостности или вблизи ее. Афтершоки могут продолжаться довольно долго, выше мы указывали, что после Ташкентского землетрясения они регистрировались в течение двух лет. В течение суток после землетрясения на Аляске в 1964 г. было зарегистрировано 28 афтершоков, 10 из которых были достаточно ощутимыми. Из-за афтершоков очистительные и спасательные работы после землетрясения становятся опасными.

Интенсивность землетрясения, характеризующая его разрушительную силу, измеряется в *баллах*. В мире существует несколько шкал интенсивности. В России принята 12-балльная шкала Медведева-Шпонхойера-Карника (MSK-64). Она была разработана в 1964 г. и получила широкое распространение в СССР и Европе. Градации этой шкалы утверждены в качестве общегосударственного стандарта. Шкала построена на показаниях сейсмографов, дающих величину колебаний при толчках, а также на ощущениях людей и наблюдаемых явлениях.

Приведем описание крайних градаций: *однобалльное* землетрясение называется *незаметным*, характеризуется микросейсмическими сотрясениями почвы, отмечаемые только сейсмическими приборами. В середине шкалы *сильное* землетрясение силой **6 баллов**. Ощущается всеми. В испуге очень многие выбегают на улицу. Сильное колебание жидкостей. Картины падают со стен, книги – с полок. Посуда бьется. Довольно устойчивые предметы домашней обстановки сдвигаются с места или опрокидываются. Штукатурка на домах даже солидной постройки дает тонкие трещины. Кое-где с потолков и стен откалываются небольшие куски штукатурки. У домов плохой постройки повреждения сильнее, но не опасны.

Красноречивы названия землетрясений силой от 7 до 11 баллов. Они именуются соответственно: *очень сильное; разрушительное; опустошительное; уничтожающее; катастрофа*.

Последнее в шкале 12-балльное землетрясение. Это *сильная катастрофа* – изменения в почве достигают огромных размеров. В покрытой растительностью скалистой почве образуются сбросовые трещины со значительным смещением, сдвигами и разрывами. Многочисленные обвалы скал, оползни, осыпание берегов на значительном протяжении. Различные изменения в подземных и надземных водоемах. Появление водопадов, подпруд на озерах, отклонение течения рек и т.д. Ни одно сооружение не выдерживает.

Приведем пример катастрофического, т.е. одиннадцатibalльного землетрясения, которое произошло 4 декабря 1957 г. в Западной Монголии, в 650–700 км юго-западнее г. Улан-Батор. Его удары ощущались на огромной территории Монгольского Алтая от хр. Баян-Цаган на западе до гор Арца-Богдо на востоке. Землетрясение началось по данным сейсмической станции г. Улан-Батор в 11 ч 39 мин местного времени. В Улан-Баторе, т.е. на удалении 700 км от эпицентра, толчки продолжались 3 минуты и достигали силы 5–6 баллов. Первые наиболее разрушительные удары произошли в горах Бага-Богдо. По рассказам очевидцев, они сопровождалась грохотом и «взрывами» огромной силы, следовавшими один за другим через 8–10 сек. Потом поднялись огромные облака пыли, скрывшие горы. Вслед за «взрывами» в горах Бага-Богдо сильнейший удар произошел в 100 км западнее, в горах Ихэ-Богдо. Он также сопровождался сильными подземными толчками. Тучи пыли скрыли хр. Ихэ-Богдо. Ветер погнал их на восток и вскоре они соединились с пылевыми облаками, поднявшимися над горами Бага-Богдо. Пыль рассеялась лишь на четвертые сутки. Сильные удары продолжались не более пяти минут, однако последующие более слабые толчки наблюдались до 20 декабря. Все населенные пункты, расположенные у южных подножий хр. Бага-Богдо, Ихэ-Богдо и Баян-Цаган-Ула, были превращены в развалины; имели место человеческие жертвы, массовая гибель скота. На участках, примыкавших к трещинам и местам обвалов, возникли степные пожары. Землетрясение сопровождалось поднятием значительной территории Монгольского Алтая, образованием трещин-сбросов длиной в сотни километров, гигантских обвалов, изменением гидрологического режима родников и рек. В результате землетрясения вся северная ветвь Монгольского Алтая (горная цепь Гурван-Богдо) поднялась на 5–7 м, а отдельные блоки и выше¹.

В 1935 г. для объективной инструментальной оценки энергии землетрясения американский сейсмолог Чарльз Рихтер ввел понятие магнитуды. Он определил магнитуду как число, пропорциональное десятичному логарифму амплитуды (выраженной в микрометрах) наиболее крупной волны, зарегистрированной стандартным сейсмографом на расстоянии 100 км от эпицентра. Энергия землетрясения оценивается теперь *по шкале Рихтера*, названной так в честь ее создателя, в пределах которой магнитуда может изменяться от 1 до 9.

¹ Курс общей геологии...

Например, катастрофическое землетрясение 22 мая 1960 г. в Чили имело магнитуду 8,3¹. Крупными считаются землетрясения, магнитуды которых равны 5–6 и более; обширные разрушения соответствуют 9 баллам шкалы интенсивности. Самые сильные землетрясения, как, например, землетрясение 1906 г. в Сан-Франциско, магнитуда которого составляла 8,3, вызывают почти полные разрушения и оцениваются в 11–12 баллов².

Шкала Рихтера логарифмическая, что означает увеличение амплитуды максимальной волны землетрясения на порядок при увеличении магнитуды на 1. Энергия землетрясения при этом изменяется в 32 раза. Отношение энергии самых сильных сейсмических катастроф к энергии слабых землетрясений составляет 10¹⁷ раз. Энергия же самых сильных землетрясений оценивается в 10²³–10²⁵ эрг. Для сравнения укажем, что энергия взрыва атомной бомбы среднего калибра 10²⁰ эрг, что соответствует 5-ти бальному землетрясению³. Зависимость между магнитудой и бальностью может быть приблизительно выражена формулой:

$$M = 1,3 + 0,6B, \text{ где } M - \text{ магнитуда, а } B - \text{ бальность данного землетрясения}^4.$$

Также как и для оценки интенсивности, применяются различные варианты шкал магнитуд.

Природа землетрясений

Современная сейсмология выделяет следующие генетические типы землетрясений: тектонические, вулканические, обвальные, техногенные. Мы в нашем обзоре добавим в эту классификацию еще дегазационные землетрясения.

Тектонические землетрясения. (Составляют до 95% от числа всех землетрясений, магнитуда достигает максимума – 9,0). Они вызваны эндогенными (внутренними) факторами и обусловленные подвижками отдельных блоков по зонам разломов. Еще в начале XIX в. было установлено, что эпицентры частых землетрясений тяготеют к линейным зонам – берегам морей и океанов, подножьям хребтов. Так очаги крымских землетрясений приурочены к узкой полосе, проходящее в 30 км от берега, за которой дно Черного моря крутым уступом обрывается на большую глубину⁵.

Верхняя твердая оболочка Земли – земная кора разбита сетью планетарной трещиноватости на огромное число разномасштабных кусков – блоков. Главные трещины этой сети – планетарные рифтовые зоны, которые имеют в основном меридиональные простирания и прослеживаются от полюса до полюса. Хорошо выделяются широтные, а также дополнительные к ортогональным, диагональные разломные зоны планетарной протяженности. Размер блоков земной коры, ограниченных такими планетарными трещинами – рифтами, отвечает материкам и океанам, т.е. измеряется тысячами километров. Далее блочная структура строения земной коры прослеживается на всех масштабах, вплоть до первых километров и сотен метров. Некоторое представление о планетарной сети трещиноватости читатель может получить, внимательно всмотревшись в физическую карту любого масштаба. Речная сеть, где изгибы русел, притоки, повороты продолжают друг друга в линейных направлениях и могут быть прослежены на сотни и тысячи километров, даст нам представление о разломной сети соответствующего масштаба, т.к. каждая река маркирует разлом.

Земля «живет», она вращается вокруг своей оси, испытывает внешнее гравитационное воздействие Луны и Солнца, перепады ускорений при движении по эллиптической околосолнечной орбите. В это же время из ядра Земли по границам блоков – разломам поднимаются потоки глубинных флюидов. Все это воздействует на систему разноразмерных, фрактально вложенных друг в друга блоков, которые испытывают постоянные взаимные перемещения, как вертикальные, так и горизонтальные. Даже если смещение составляет несколько сантиметров, энергия, выделяемая при движениях горных масс весом в миллиарды тонн, даже на малое расстояние, огромна. Она высвобождается в виде сейсмических толчков – землетрясений, которые сотрясают планету каждую минуту. Таким образом, землетрясения это обычный и нормальный природный феномен.

Перемещения блоков земной коры во время тектонических землетрясений могут проявляться на земной поверхности. Иногда в виде трещин протяженностью до 1,5 км при ширине 2 м (Калабрийское землетрясение 1783 г.). При Лиссабонском землетрясении 1755 г. набережная мгновенно опустилась на 200 м под воду вместе с толпами народа, искавшего там спасения. Часть дельты р.Селенги во время Байкальского землетрясения 1862 г. опустилась на 3 м. В 1822 г. тихоокеанское побережье Чили в результате землетрясения поднялось на 1 м на протяжении 400 км, а через 31 год очередное землетрясение подняло отдельные участки этого побережья на 8,5 м. Горизонтальное смещение блоков земной коры на 6,3 м произошло вдоль разлома Сан-Андреас после землетрясения 1906 г. в Калифорнии возле г. Сан-Франциско. Смещение прослеживалось на протяжении 440км⁶.

Вулканические землетрясения. (Составляют до 5%, магнитуда достигает 5,0). Продвижение магмы из очага к жерлу вулкана по подводящему каналу приводит к сейсмическому дрожанию вулканической постройки и ближайших окрестностей. Для вулканического землетрясения характерны: локальность проявления (30–50км); изометричность изосейст и их замкнутость вокруг вулкана; приуроченность эпицентра к кратеру вулкана, а гипоцентра к его жерлу на небольшой глубине. К дрожанию земли приводят также взрывы вулканических газов, обвалы и провалы частей вулканической постройки, и их перемещения по системам разрывных нарушений.

Сильнейшее из известных вулканических землетрясений связано с извержением вулкана Кракатау в Индонезии в 1883 г. Взрывом снесло половину конуса вулкана. Городам на о-вах Суматра, Ява и Борнео были причинены

¹ Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.

² Уолтхем Т. Указ. соч.

³ Курс общей геологии...

⁴ Там же

⁵ Там же

⁶ Там же

сильные разрушения. Но особенный урон был связан с возникшим в результате этого землетрясения цунами.

Обвальные (денудационные) землетрясения (менее 1%, магнитуда до 5,0). Вызываются обрушением сводов карстовых пещер, которые образуются при воздействии просачивающихся атмосферных вод (или поднимающихся глубинных газов¹) на карбонатные горные породы (известняки и доломиты), гипсы и соли. При растворении этих пород под землей образуются полости – пещеры, при разрастании которых породы кровли обрушаются, что и вызывает сейсмическое событие. Очевидно, что очаги таких землетрясений находятся на малой глубине и распространение сейсмических волн недалекое. Обычно площадь составляет десятки квадратных километров, хотя в 1915 г. в Волчанской волости Харьковской губернии обвальное землетрясение охватило площадь диаметром 100 км. В Харькове сотрясались дома, в них звенели стекла открывались двери, качались лампы.

В России обвальные землетрясения неоднократно наблюдались в прибалтийском регионе, Архангельске, Шенкурске, Вельске². Локальные сейсмособытия могут вызываться и горными обвалами, правда, сами они, как правило, являются следствием тектонических землетрясений.

Техногенные землетрясения (известны единичные случаи, магнитуда до 6,5).

Заполнение водохранилищ. Сейсмогенный эффект такого воздействия обусловлен двумя факторами: дополнительной нагрузкой на нижележащие пласты горных пород, а также, что более важно, обводнением нижележащих слоев, что значительно уменьшает сопротивление пород к трению и облегчает относительное движение блоков земной коры по разломным зонам. Впервые явление наблюдалось в 1935 г. в США в штате Аризона, где было заполнено водохранилище Лейк Мид, после чего в ближайшие 10 лет произошло 600 толчков магнитудой 5,0. Ранее в этом районе землетрясений не было³.

В 1967 г. после заполнения водохранилища Койна возле Бомбея последовало множество землетрясений. Магнитуда одного из них достигала 6,5, произошли разрушения зданий, погибли люди. Увеличение активности слабых землетрясений наблюдалось в момент заполнения водохранилищ Нурекской, Токтогульской, Чарвакской гидроэлектростанций⁴.

Закачка жидкости в глубокие скважины. Сейсмогенный эффект также связан с изменением прочностных свойств пластов горных пород при их обводнении. Такая процедура широко используется при добыче нефти, что вызывает землетрясения в районах нефтедобычи. Впервые эффект был обнаружен в США вблизи г. Денвера в штате Колорадо, где в 1962 г. в скважину, пробуренную в трещиноватых гранитах на глубину 3600 м стали закачивать сточные воды в целях их захоронения. За 80 лет до этого здесь было отмечено только 3 слабых сейсмособытия, за 8 последующих – 610! Местные сейсмологи с изумлением обнаружили, что частота слабых подземных толчков находится в прямой зависимости от объема закаченной жидкости⁵.

Откачка больших объемов нефти и газа из месторождений. Искусственно спровоцированные толчки могут быть и очень сильными. Так 8 апреля и 17 мая 1976 г. в Бухарской области Западного Узбекистана, в пустыне Центральный Кызылкум, считавшейся до того слабо активной в сейсмическом отношении, произошли два сильнейшие Газлийские землетрясения (магнитуда $M=7,0$ и $M=7,3$). Сейсмический эффект в эпицентре достиг 9–10 баллов по 12-балльной шкале сейсмической интенсивности. Очаговая область этих землетрясений располагалась на глубине 20–25 км. Следующий сильный подземный толчок с магнитудой $M=7,2$ возник 20 марта 1984 г. в том же очаге, сместившись немного к западу. В результате этих землетрясений был практически полностью разрушен рабочий поселок нефтяников – Газли, расположенный, примерно, в 30 км. от эпицентра⁶.

Ядерные взрывы. В 1968 г. подземный ядерный взрыв в Неваде (США) вызвал сейсмособытие магнитудой 6,3, после чего последовала серия афтершоковых землетрясений с магнитудой до 5,0⁷. Судя по некоторым публикациям в средствах массовой информации, возможность провоцировать землетрясения искусственными взрывами привела к попыткам создания так называемого геофизического оружия. Основная идея – используя напряженные разломные структуры, уходящие на территорию противника, вызвать там искусственное землетрясение, взорвав мощный заряд в доступной части такой геологической структуры.

Неядерные взрывы. Взрывчатые вещества (ВВ) широко используются при горных работах, что вызывает локальные землетрясения на прилегающей территории. Причиной в таких случаях является или передозировка ВВ или обусловленное взрывом обрушение горных выработок. Такова, вероятно, природа землетрясения магнитудой 3,2 в г. Кировске Мурманской области 21 октября 2010 г.⁸ В эпицентре сила толчка составила около шести баллов, в Кировске землетрясение ощущалось как 4–5-балльное, в Апатитах – как трехбалльное. Техногенная причина землетрясения подтверждается тем, что наш водородный датчик, осуществляющий мониторинг концентрации подпочвенного водорода на Хибинах с апреля 2005

¹ Ларин Н.В., Ларин В.Н., Горбатилов А.В. Кольцевые структуры, обусловленные глубинными потоками водорода // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика П.Н.Кропоткина, 18–22 октября 2010 г., Москва. М.: ГЕОС, 2010. С. 284–288.

² Курс общей геологии...

³ Уолтхем Т. Указ. соч.

⁴ Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Указ. соч.

⁵ Там же.

⁶ Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных регионов // Физика Земли. 1998. № 10.

⁷ Уолтхем Т. Указ. соч.

⁸ В Мурманской области произошло странное землетрясение: то ли техногенное, то ли естественное. NEWSru.com // Новости России. 2010. 21 октября [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.newsru.com/russia/21oct2010/quake.html>

г. и оказавшийся практически в эпицентре землетрясения, на это событие не отреагировал.

Много неприятностей жителям Волгограда, Нижнего Новгорода, Оренбурга, Челябинска доставили в 2010–2011 гг. частые и многочисленные слабые землетрясения. Природа их так и осталась до конца не выясненной, точнее, не объясненной. Анализ доступных материалов СМИ позволил составить следующую картину. Вблизи указанных городов находятся военные полигоны, на них происходило уничтожение боеприпасов, повторные толчки происходили в одно и тоже время, местные власти на тревожные сообщения и запросы жителей не реагировали. Недавно появились сообщения подтверждающие высказанную точку зрения¹. Реальная причина землетрясений – форсированное уничтожение армейских боеприпасов с нарушением расчетных норм. Первопричина – массовое и ускоренное сокращение вооруженных сил РФ.

Дегазационные землетрясения. Большое число фактов прямо указывает на тесную связь процесса глубокой дегазации с землетрясениями. Во-первых, это пространственное совпадение эпицентров землетрясений и зон интенсивной дегазации в осевых частях рифтовых зон и разломах. Во-вторых, уже упомянутая выше прямая связь вулканических извержений (а это проявление планетарной дегазации) и сейсмособытий. В-третьих, многочисленные данные о корреляции флуктуаций потоков газов (радона, гелия, водорода) и землетрясений. В-четвертых, вышеприведенные примеры провоцирования землетрясений поступлением жидкого флюида в глубокие недра при закачке скважин и заполнении водохранилищ прямо указывают на возможность землетрясений при поступлении природных флюидов в верхние горизонты литосферы снизу с больших глубин.

В Институте геохимии СО РАН создана модель взрывного происхождения землетрясений при подъеме глубинных флюидов². Во флюидной детонации особую роль играют тяжелые углеводороды: алканы, алкены, алкадиены, алкины, нафтыны и арены. Они образуются в жидком ядре и за его пределами нестабильны, но в быстро восходящих из ядра флюидных потоках становятся возможной их миграция в верхнюю мантию и земную кору, где пути их продвижения контролируются глубинными разломами, а места концентрации определяются экранирующим влиянием континентальной окраины. Объемная энергетическая емкость тяжелых углеводородов сопоставима с тринитротолуолом, поэтому их быстрое взрывное превращение в стабильные легкие углеводороды ($2\text{CH}_3 = \text{CH}_4 + \text{C}$; $\text{CH}_3 + \text{H}_2 = \text{CH}_4$ и др.) сопровождается высвобождением огромного количества энергии, порядка 10^{18} – 10^{20} эрг. Детонация скоплений метастабильных тяжелых углеводородов может быть ответственна также и за сейсмические события в пределах Восточно-Европейской платформы, например, в Беломоро-Балтийской зоне, на Кольском полуострове, а также на Воронежской антиклизе. В перечисленных регионах с начала 80-х годов прошлого века значительно увеличилась частота и мощность сейсмических событий.

В Институте физики Земли РАН разрабатывается (И.Л.Гуфельд) модель возникновения сейсмических событий при прохождении через объемы пород глубинных флюидов: гелия, водорода, метана. В рамках модели постулируется, что импульс дегазации приводит к торможению взаимного перемещения блоков, т.е. к блокированию границ. Этот процесс возможен за счет увеличения объема кристаллических структур границ и блоков при имплантации в горные материалы водорода и гелия в концентрациях соответствующих литосфере³.

На кафедре петрологии геологического факультета МГУ академик РАН А.А.Маракушев создал принципиально новую (петрологическую) концепцию глобальной сейсмичности, которая не отвергает и не опровергает наработки сейсмологии, но по-новому объясняет первопричину блоковых тектонических движений, в результате которых возникают многие землетрясения⁴. В основу концепции положены процессы переработки мантийного и корового вещества под воздействием флюидных, существенно водородных потоков, восходящих к поверхности из расплавленного ядра. Так, орогенная структура Анд с андезитовым вулканизмом проецируется на эпицентры землетрясений средней глубины (до 300 км), а под обрамляющими ее платформенными депрессиями происходят глубокофокусные (300–700 км) землетрясения.

На платформах флюидные глубинные потоки приводят в результате сложных геохимических процессов к перераспределению вещества между корой и мантий с истончением первой и наращиванием второй. Так возникают изометричные платформенные депрессии в пределах которых импульсы дегазации обеспечивают фазы вздымания и проседания корового субстрата, сопровождающиеся сейсмическими событиями. Следующая цитата из давней работы выдающегося тектониста М.М.Тетяева, как нельзя лучше описывает наружные проявления процесса, смоделированного А.А.Маракушевым: «Данные о последнем Пенджабском землетрясении в Индии, где удалось установить характер движения земной коры, предшествовавшего землетрясению, рисуют его как медленное вздутие поверхности данного участка, которое при землетрясении сменилось оседанием. Этот частный случай показывает, что сейсмичность отражает неустойчивое состояние поднятых и расколотых частей земной коры, оседание которых, идущее толчками, и создает благоприятные условия для землетрясений»⁵.

Природа землетрясений на тихоокеанской окраине Азии. Большую угрозу несут землетрясения и вызы-

¹ Челябинск трясло из-за взрывов на Чебаркульском полигоне – военная прокуратура ЦВО подтвердила факты нарушений при утилизации боеприпасов. 17 марта 2011 г. // АН «Доступ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dostup1.ru/central/central_25081.html

² Карпов И.К., Зубков В.С., Бычинский В.А., Артименко М.В. Детонация в мантийных потоках тяжелых углеводородов // Геология и геофизика, 1998. Т. 39. № 6. С. 754–762.

³ Гуфельд И.Л., Собисевич А.Д. Импульсная региональная дегазация Земли, стимулирующая образование очагов сильных землетрясений / Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых. Тезисы докладов Международной конференции, 30–31 мая – 1 июня 2006 г. М.: ГЕОС, 2006. С. 92–94.

⁴ Маракушев А.А. Флюидный режим обновления коры Земли и других планет и спутников Солнечной системы // «Система Планета Земля» («Нетрадиционные вопросы геологии») XII научный семинар. 4–6 февраля 2004 г. Материалы / Геологический ф-т МГУ. РОО Гармония строения Земли и планет. М., 2004. С. 268–282.

⁵ Тетяев М.М. Геотектоника СССР. ГОНТИ, 1938. 298 с.

ваемые ими цунами в дальневосточных морях России. Здесь в пределах Курило-Камчатской островной дуги сопряжены в пространстве и времени современный активный вулканизм и активная сейсмика. 4 октября 1994 г. возле о.Шикотан произошло сильнейшее землетрясение с магнитудой $M=8,3$. Интенсивность сотрясений на острове превысила 9 баллов. Остров опустился примерно на 60 см. Высота волн цунами достигала 8 м, а в бухте Церковной – почти 15 м. Повторные толчки охватили большую территорию.

В ночь с 27 на 28 мая 1995 г. на севере о.Сахалин произошло 9–10-балльное землетрясение. Ближайший к эпицентру п. Нефтегорск был полностью уничтожен. Погибло более 2000 человек, разрушены железные дороги, линии электропередач и связи, приведены в аварийное состояние жилые дома и другие строительные объекты в ближайших населенных пунктах. Образовался тектонический разрыв протяженностью более 80 км и амплитудой смещения до 8 м.

5 декабря 1997 г. у Тихоокеанского побережья Камчатки вблизи Кроноцкого полуострова произошло самое крупное за последние полвека землетрясение с магнитудой $M=7,9$. Очаг Кроноцкого землетрясения располагался на расстоянии 360 км от Петропавловска-Камчатского, где сотрясения грунта достигли 6 баллов¹.

Тихоокеанская окраина Азии в тектоническом отношении является зоной Западно-Тихоокеанского рифтового пояса², наложенного на край континента. Центры землетрясений Курильской фокальной зоны распределены в пространстве неравномерно. Отчетливо обособляются две группы. Более 90% землетрясений – малоглубинные (от 0 до 100–150 км) и их центры тяготеют к островной дуге; более редки глубинные сейсмособытия (от 200 км до 400–600 км), происходят они ближе к континенту. Малоглубинные и глубокофокусные землетрясения имеют разную природу³. Первые связаны с вздыманием Курильской островной системы, которое непрерывно продолжается уже более 3 миллионов лет, когда собственно и была сформирована современная структура зоны перехода. Вздымание Курил вызвано наличием аномально разогретой мантии под ними и фиксируется геофизическими методами (гравитационная аномалия Буге над островной дугой), геологическими данными и геоморфологическими наблюдениями. Причина разогрева мантии – окисление глубинных потоков водорода. Наиболее интенсивно вздымается южный фланг дуги, где тепловые аномалии наиболее значительны. По нашим данным⁴, о.Кунашир за последние 3 миллиона лет поднялся на 1–1,2 км на севере и на 0,2–0,3 км на юге, т.е. вертикальные движения сопряженных тектонических блоков происходят неравномерно. Сопряженная холодная (значит более тяжелая) океанская мантия испытывает относительное погружение с образованием компенсационной структуры – глубоководного желоба. Интенсивность этого процесса, сопряженного и разнонаправленного относительного перемещения породных масс на стыке дуга–океан, приводит к частым землетрясениям в пределах этих структур.

Именно к этому типу относится и **Великое восточное японское землетрясение 11 марта 2011 г.** аномальной магнитуды 9–9,2. Несомненно, что оно инициировано почти максимальным сближением Луны с Землей (19 марта). «Суперлуние» вызвало резкое усиление глубинной дегазации, что нашло отражение в сильнейшем (до 50%) разрушении озонового слоя над Арктикой.

Глубокофокусные землетрясения имеют иную природу. Они связаны с меридиональными окраинно-океанскими разломами⁵, являющимися фрагментами мировой рифтовой системы, и вызваны накоплением и взрывом глубинных флюидов под крышкой континентальной коры,

Прогноз и защита от землетрясений

Разрушительные и катастрофические землетрясения, происходящие вблизи крупных городов, вызывают одномоментную гибель десятков и сотен тысяч людей, число раненых обычно в два-три раза больше. Ущерб от сопутствующих бедствий – пожаров, наводнений, цунами, оползней, эпидемий не поддается подсчету. Психологические травмы людей переживших землетрясения сопровождают их всю оставшуюся жизнь. Отсюда понятно, что прогноз такого стихийного бедствия является и является наиважнейшей задачей геологической науки. Понятие прогноза комплексное и включает предсказание места, силы и времени землетрясения⁶. Современная сейсмология достигла определенных успехов в определении первых двух параметров, однако временной прогноз остается пока несбыточной мечтой ученых. Слово «пока» в предыдущей фразе означает, что автор данной статьи относится к разряду ученых-оптимистов, считающих, что краткосрочный прогноз землетрясения (речь идет о часах и первых сутках) возможен принципиально и будет достигнут в обозримом будущем. Мой оптимизм зиждется на том, что наука приближается к пониманию истинной природы землетрясений: уже появляются работы, указывающие на ведущую роль в сейсмических событиях планетарного процесса глубинной дегазации.

Цель прогноза – спасение жизни людей, однако для этого нужна реализация прогноза, чаще всего это эвакуация больших масс людей из зданий и из населенных пунктов, остановка производств, консервация промышленных объектов и т.п. Поэтому реализация прогноза дело очень дорогостоящее, хлопотное и реализуемое только на очень высоком управленческом уровне. Опыт китайских и американских сейсмологов показывает, что оправдывается чуть более половины от объявленных предупреждений⁷.

¹ Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Указ. соч.

² Милановский Е.Е., Никишин А.М. Западно-Тихоокеанский рифтовый пояс // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1988. Т. 63. Вып. 4. С. 3–15.

³ Сывороткин В.Л. Мировая система рифтов-меридианов / Проблемы эволюции тектоносферы (к 90-летию со дня рождения В.В.Белюсова). М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 59–177.

⁴ Сывороткин В.Л., Русинова С.В. Платоэффузивы о.Кунашир – рифтовая формация на островной дуге // Магматизм рифтов (петрология, эволюция, геодинамика). М.: Наука, 1989. С. 180–188.

⁵ Сывороткин В.Л. Мировая система рифтов-меридианов...

⁶ Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 312 с.

⁷ Уолтхем Т. Указ. соч.

Реальная практика знает успешный прогноз сильного землетрясения в городе и его не менее успешную реализацию. Речь идет о землетрясении 4 февраля 1975 г. в г.Хайнэне (Китай). В 2 часа ночи было объявлено, что в течение ближайших двух суток следует ожидать сильное землетрясение. Местное население покинуло дома, чтобы «выманить» жителей на города улицы, были организованы показы кинофильмов под открытым небом. В половине восьмого утра произошло землетрясение магнитудой 7,3. Оно сравняло с землей 90% городских зданий, но число человеческих жертв было минимальным. Прогноз был основан на наблюдении аномального поведения животных¹.

Территориальный прогноз – районирование. Главным инструментом современного прогноза землетрясений являются *карты сейсмического районирования*. Они составляются на основе изучения сейсмического режима данной территории и геологического положения эпицентров всех известных землетрясений, измеренных инструментально, а также известных из исторических документов. Чем длиннее временной ряд наблюдений, тем выше прогностическая ценность таких карт. Естественно, что с течением времени карты сейсмического районирования уточняются, издаются новые варианты. Первая официальная карта общего сейсмического районирования (ОСР) территории СССР была создана в 1936 г. в Сейсмологическом институте АН СССР – предшественнике Института физики Земли (ИФЗ) РАН. Последующие уточненные варианты выходили в 1957, 1968 и 1978 гг.

Последний и ныне действующий вариант карты ОСР-97 разрабатывался в 1991–1997 гг. в Объединенном институте физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН под руководством известного отечественного сейсмолога В.И.Уломова². В исследованиях участвовали специалисты из нескольких десятков научно-исследовательских институтов Российской академии наук, ее Сибирского, Дальневосточного и Уральского отделений, а также из других организаций, в том числе из государств СНГ. В основу сейсмологических и геолого-геофизических исследований по районированию сейсмической опасности и долгосрочному прогнозу землетрясений при составлении карт серии ОСР-97 была положена сейсмогеодинамика, изучающая особенности сейсмичности как результат динамики земной коры и всей литосферы с учетом их структуры, прочностных свойств и процессов разрушения на разных масштабных уровнях.

Согласно данным ОСР-97, свыше трети территории России подвержено 7-балльным сейсмическим воздействиям, требующим проведения антисейсмических мероприятий. Более 15% площади страны занимают чрезвычайно опасные в сейсмическом отношении 8–9- и 9–10-балльные зоны. К таким регионам относятся Дальний Восток, весь юг Сибири, а также Северный Кавказ. В европейской части России выделены 6–7-балльные зоны: Средний Урал и Приуралье, Приазовье, Поволжье, Кольский полуостров и сопредельные с ними территории.

В нефтедобывающих районах Татарстана, на горно-промышленных объектах Пермской области к естественной сейсмичности добавляется и индуцированная локальная сейсмогеодинамическая активизация, способная спровоцировать сильные землетрясения. Известны местные землетрясения и в Воронежской области, где расположена Ново-Воронежская АЭС. Сейсмоопасными являются бассейны Черного и Каспийского морей, шельфы моря Лаптевых, Охотского, Чукотского и Баренцева, являющиеся местом добычи природного газа и нефти. Продолжительные низкочастотные 4–5-балльные сотрясения, распространяющиеся на огромные расстояния от заглубленных очагов крупных землетрясений в Восточных Карпатах, способны повредить чувствительные к таким колебаниям уникальные высотные строительные объекты даже на большом удалении от эпицентров, в том числе на территории Москвы и Московской области³.

Внерегionalный сеймотектонический метод оценки сейсмической опасности был разработан в ИФЗ РАН⁴. Методом кластерного анализа были проанализированы геолого-геофизические характеристики всей Европы и центральной части Северной Азии для элементарных ячеек размером 20x30 минут градусной сетки: тепловой поток, мощность земной коры, глубина залегания фундамента, изостатические гравитационные аномалии, рельеф поверхности региона и контрастность этого рельефа. Затем при помощи сейсмологического каталога каждой ячейке был присвоен сейсмический потенциал – Ммакс., т.е. максимально возможная магнитуда ожидаемого землетрясения. На основе этого метода авторы составили карту сейсмического потенциала огромной территории, включающей Европу, Центральную Азию и Охотоморский регион. Для каждой ячейки этой карты, даже для тех, где землетрясения ранее не фиксировались, обозначена возможная максимальная магнитуда грядущего землетрясения. Эпицентры Рачинского (1991 г.), Барисахского (1992 г.), Сусамырского (1992 г.), Западно-Македонского (1995 г.) и Сабинского (Северный Сахалин, 1996 г.) сильных землетрясений, которые произошли после составления этой карты, по магнитуде и месту совпали с прогнозом.

Еще одним успехом ученых ИФЗ РАН можно назвать разработку и применение **палеосейсмогеологического метода изучения территории**. Этот метод применяется для определения сейсмоопасности тех регионов, для которых отсутствуют исторические наблюдения сейсмоактивности. Так по методике внерегионального сеймотектонического районирования Горному Алтаю была присвоена ожидаемая магнитуда 7,5 ($\pm 0,2$), но в историческое время сильные землетрясения здесь не отмечались. Однако, после проведения палеосейсмологических исследований в юго-восточной части Горного Алтая, в верховьях р. Чуя, в Курайской впадине и в западной части Чуйской долины были обнаружены следы доисторических землетрясений силой до 9 баллов. Это многочисленные сейсмические разрывы, с вертикальной амплитудой смещения до 2 м и сейсмогравита-

¹ Там же.

² Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Указ. соч.; Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГТТГН РАН. № 1(7). 1999.

³ Уломов В.И. Указ. соч.

⁴ Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ и Балтии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1 М.: ИФЗ, 1993. С. 186–195.

ционные дислокации. Радиоуглеродным датированием было выявлено, что они могли произойти во временном интервале 200–2000 лет назад. Было предложено пересмотреть общий уровень сейсмической опасности Алтайского края и Республики Алтай. Описанные исследования были проведены в середине 90-х годов прошлого века¹. Их научная состоятельность и практическая польза подтвердились через несколько лет серией Алтайских землетрясений осенью 2003 г. Сила толчков достигала здесь 9 баллов, что абсолютно точно совпало с оценкой сейсмоопасности региона, сделанной на основе палеосейсмологических исследований.

Защита от землетрясений и управление сейсмособытиями. Основа сейсмической безопасности – сейсмостойкое строительство. Это самая надежная и многократно оправдавшая себя стратегия выживания на планете, где землетрясения являются закономерными и неотвратимыми проявлениями ее эволюции. Вершина современного сейсмостойкого строительства достигнута в настоящее время в Японии, что подтвердило недавнее жесточайшее землетрясение 11 марта 2011 г. Практически все инженерные сооружения современной постройки выдержали удар максимально возможного (магнитуда более 9) в земных условиях землетрясения. Досадным и трудно объяснимым просчетом оказалась заниженная оценка цунами-угрозы в районе АЭС. В результате удара волны была выведена из строя система охлаждения ядерных реакторов, после чего события приняли неуправляемый характер.

Действующие карты общего сейсмического районирования являются государственными документами, обязательными к исполнению при строительстве любых зданий и сооружений. В настоящее время таким документом, на котором базируются строительные нормы и правила (СНиП II-7-81) – строительство в сейсмических районах, является серия карт ОСР-97.

Карта А. Отражает вероятность превышения указанных на карте значений сейсмичной интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет на 10%.

Рекомендуемые объекты строительства: массовое строительство жилых, общественных и производственных зданий (сооружений), кроме указанных для карты В.

Карта В. Отражает вероятность превышения указанных на карте значений сейсмичной интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет на 5%. Рекомендуемые объекты строительства: объекты повышенной ответственности: здания и сооружения, эксплуатация которых необходима при землетрясении или при ликвидации его последствий (системы энерго- и водоснабжения, пожарные депо, сооружения связи и т. п.); здания с одновременным пребыванием в них большого числа людей (вокзалы, аэропорты, театры, цирки, концертные залы, крытые рынки, спортивные сооружения); больницы, школы, дошкольные учреждения; здания высотой более 16 этажей; другие здания и сооружения, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным, экологическим последствиям.

Карта С отражает вероятность превышения указанных на карте значений сейсмичной интенсивности для соответствующих территорий в течение 50 лет – 1%.

Рекомендуемые объекты строительства: особо ответственные объекты, в том числе из числа указанных для карты В, по решению заказчика или соответствующего органа исполнительной власти.

При возведении сооружений в сейсмоопасных зонах проводится сейсмическое микрорайонирование, при котором изучаются местные геологические условия и, в первую очередь, характеристики грунтов, имеющие, как показывает опыт, очень важное значение для сейсмоустойчивости сооружений. Так во время катастрофического Тяньшанского землетрясения 28 июля 1976 г., которое сравняло с землей полуторамиллионный город и погубило несколько сот тысяч человек, в восьми глубоких угольных шахтах, пройденных в твердых коренных породах, находилось около 10 000 шахтеров. Судя по сообщениям, ни один из них не погиб. Хотя в подземных выработках начались камнепады и затопление, всем шахтерам удалось спастись. Два месяца спустя почти все шахты вновь приступили к работе².

Во время 9-тибалльного Ашхабадского землетрясения 1948 г. устояли здания текстильной фабрики, построенной с учетом сейсмической опасности, а также здание Государственного банка, добросовестно построенного из крепкого кирпича на крепком растворе. Практически выстояли современные железобетонные здания в центре города, который совпал с эпицентром Ташкентского землетрясения весной 1966 г.³

Есть и обратные примеры, так одной из причин многочисленности жертв Спитакского землетрясения в Армении (1988 г.) и Нефтегорского землетрясения на Сахалине (1996 г.) явился элементарный строительный брак.

Печально, но в России большинство атомных электростанций были построены в разломных зонах. Казус этот определялся технологической целесообразностью – близостью к водозабору для водяного охлаждения реакторов АЭС. То, что реки маркируют разломные, т.е. ослабленные и уязвимые в тектоническом отношении зоны, при выборе стройплощадок не учитывалось. А зря, есть данные, что за 23 секунды до взрыва реактора на Чернобыльской АЭС три сеймостанции зафиксировали под ней сейсмический источник возмущения⁴.

Управление землетрясениями. Попытки такого рода основаны на возможности техногенного провоцирования слабых землетрясений, о чем мы уже говорили выше. Суть идеи заключается в том, чтобы ослабить

¹ Рогожин Е.А. Геодинамика и сейсмоструктура // Проблемы эволюции тектоносферы (к 90-летию со дня рождения В.В.Белоусова). М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 84–92.

² Уолтхем Т. Указ. соч.

³ Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Указ. соч.

⁴ Красногорская Н.В., Сывороткин В.Л. Природно-техногенные аварии и катастрофы в геофизическом аспекте // Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса / Под ред. Н.В.Красногорской. Т. 3. Проблемы безопасности в условиях природно-антропогенных воздействий. СПб.: Изд-во «Гуманистика», 2002. С. 93–103.

напряженность недр серией слабых искусственных землетрясений, чтобы избежать одного, но разрушительного. Технические мероприятия такого рода могут быть заполнение водохранилищ, закачка жидкости в глубокие скважины и ядерные взрывы. Важно, что все перечисленные мероприятия могут воздействовать на недра, а, значит, и использоваться дозированно. Так вероятность проявления наведенной сейсмичности возрастает с увеличением высоты плотины. Для плотин высотой более 10 м наведенную сейсмичность вызывали только 0,63% из них, при строительстве плотин высотой более 90 м – 10%, а для плотин высотой более 140 м – уже 21%. При закачке жидкости частота слабых подземных толчков находится в прямой зависимости от ее объема¹. Регулировка мощности взрыва проблемы не представляет.

Предвестники землетрясений

Землетрясения предваряются весьма широким спектром аномальных природных явлений, мониторинг (постоянное наблюдение) которых современная наука пытается использовать для краткосрочного временного прогноза. Первая научная программа по прогнозу землетрясений была разработана классиком сейсмологии русским ученым Б.Б.Голицыным в 1911 г. В СССР систематические работы по поискам предвестников землетрясений были поставлены после катастрофического Ашхабадского землетрясения 1948 г. С этой целью в Гармском районе Таджикистана был основан геофизический полигон, на котором и была сделана основная серия открытий и находок в этой области. После Ташкентского землетрясения 1966 г. работы по поиску предвестников были усилены. В настоящее время известны и используются нижеследующие предвестники землетрясений.

Пространственно-временной ход сейсмичности. Метод был предложен в середине 60-х годов советским сейсмологом С.А.Федотовым, будущим директором Института вулканологии РАН в г. Петропавловске-Камчатском. При анализе большого статистического материала по землетрясениям в Курило-Камчатской зоне он обнаружил, что сильнейшие землетрясения мигрируют здесь и повторяются с периодом около 100 лет. При этом новые мощные землетрясения происходят в «молчащих» до этого времени участках, т.е. там, где их долгое время до этого не было. Эта методика долгосрочного прогноза подтвердилась сейсмическими событиями в Курило-Камчатской зоне в период 1965–1970 гг.² В настоящее время достоверность прогнозов по методике А.С.Федотова оценивается в 70–80%.

Аналогичные результаты были получены и на Гармском полигоне в Таджикистане, где исследователи ИФЗ РАН обнаружили изменение сейсмического фона во времени и его связь с геологическими структурами. Фон сначала растет в течение 7–8 лет, а затем в области будущего сильного землетрясения отмечаются сейсмические затишья. Кроме того на полигоне в результате длительных наблюдений был выявлен эффект изменения соотношения энергии высоко- и низкочастотных волн перед землетрясениями³.

Форшоки. Форшоки это слабые землетрясения, которые возникают на фоне долгого (десятки-сотни лет) затишья за месяц-полтора до сильного землетрясения. Более всего исследовались как предвестники японскими сейсмологами. Хорошим предвестником, очевидно, могут служить только в тех районах, где землетрясения не отмечались десятилетиями. В сейсмически активных областях встает трудноразрешимая задача научиться отличать форшоки от роя обычных слабых землетрясений. Впрочем, здесь может оказаться полезным наблюдение, сделанное на Гармском полигоне советскими сейсмологами И.Л.Нерсесовым и И.Г.Симбирцевой, которые заметили переориентацию осей напряжения в очагах слабых предшествующих землетрясений. На первом этапе ориентировка осей сжатия в очагах довольно хаотична. За год полтора до события они группируются в области азимутов 90–180°, а за 3–4 месяца оси сжатия резко меняют свои направления на азимуты менее 90°⁴.

Изменение соотношения скорости продольных и поперечных сейсмических волн. Там же на Гармском полигоне в 1962 г. А.М.Кондратенко и И.Л.Нерсесов выявили эффект изменения скорости Р-волн после сильного землетрясения на 10–12%. В 1969 г. сотрудник Гармской экспедиции А.Н.Семенов при анализе длинных рядов сейсмичности выявил эффект вариации отношения сейсмических скоростей V_p/V_s перед землетрясением. Сначала это отношение уменьшается на 8–10%, затем следует его (отношения) восстановление, после чего и происходит сейсмический толчок. Этот прогностический метод при наличии сейсмостанции в данном районе очень важен и удобен, т.к. поддается инструментальному измерению и численному выражению. Если отношение скоростей падало 2 месяца, через 2 месяца и следует ожидать события. К тому же длительность интервала снижения скоростей, коррелирует с силой ожидаемого землетрясения. Так, после снижения скоростного отношения длительно-стью 2 месяца магнитуда землетрясения составила 4,0, а после четырехмесячного снижения – 5,5⁵. К сожалению, достоверность прогнозов не достигает 100%, хотя метод с успехом использовался и в СССР, и в США.

Деформации земной поверхности. Глубинные процессы подготовки землетрясения приводят к деформации земной поверхности. Это обстоятельство давно было замечено сейсмологами СССР, США и Японии, что привело к постановке геодезических сетей наблюдения. На Гармском полигоне была выявлена связь смещений реперов при повторной нивелировке с изменением сейсмического фона. Важно, что перед сейсмическим толчком меняется знак смещения поверхности. Изменение характера деформации земной поверхности обнаруживают связь с сильными землетрясениями на расстоянии до 100 километров⁶.

Исследования деформации земной поверхности для прогноза землетрясений особенно активно используют

¹ Уолтхем Т. Указ. соч.

² Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2006. 132 с.

³ Жарков В.Н. Указ. соч.; Курс общей геологии...

⁴ Жарков В.Н. Указ. соч.; Злобин Т.К. Указ. соч.

⁵ Там же

⁶ Там же

ся в Японии и США. Очень интересны наблюдения смещения реперов вдоль разлома Сан-Андреас. Здесь возле городка Палмдейл у Лос-Анджелеса с 1959 г. по 1974 г. наблюдалось очень медленное поднятие участка поверхности лавового купола площадью 13000 км². Центральная часть его стала выше на 45 см, после чего поднятие прекратилось. Два разрушительных землетрясения в этой зоне произошли в 1989 и 1991 гг.¹

Изменение уровня грунтовых вод. Феномен резкого колебания уровня воды в водоемах особенно заметный в колодцах, был известен еще в древнем Китае, а в Японии используется для прогноза землетрясений с 684 г. Особенно информативны термальные источники, обычно приуроченные к вулканическим постройкам или разломным зонам. Незадолго перед землетрясениями наблюдаются скачки дебита воды, вплоть до полного иссякания, нередко выбросы грязи и газа, резкие колебания температуры воды.

В наше время эти эффекты поставлены на службу предсказания землетрясений во многих странах, особенно успешные исследования этого рода были проведены в СССР во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии под руководством Г.С.Вартаняна². В сейсмоопасных районах СССР была разбурена сеть скважин, в которых велись непрерывные наблюдения за уровнем воды. Идейная основа такого прогноза состоит в том, что все напряжения, которые испытывает земная кора при подготовке землетрясения, мгновенно передаются на водные горизонты, так называемое глобальное гидродеформационное поле (ГГДП).

Удачным примером использования гидрологических параметров являются наблюдения сахалинских ученых в г. Южно-Курильске (о. Кунашир в Курильском архипелаге) в 1992 г. Отмечались изменения уровня воды в колодцах и дебита скважины № 5 в пос. Горячий Пляж у подножия вулкана Менделеева. Выводы об усилении тектономагматической активности региона, подкрепленные анализом сейсмологических материалов, полученных под руководством известного сахалинского геофизика Т.К.Злобина, были своевременно доложены администрации Южно-Курильского района и командованию Курильского погранотряда. С 8 по 12 января 1993 г., а затем 4 октября 1994 г. в районе произошло несколько крупных и катастрофических землетрясений³.

Изменение электрических полей. Электромагнитные явления, связанные с землетрясениями, начали изучаться в Японии еще в 1886 г. На Гармском полигоне в Таджикистане советскими сейсмологами при режимных наблюдениях был установлен эффект уменьшения кажущегося электрического сопротивления длительностью 2–3 месяца перед сейсмическим событием. Этот эффект объясняется изменением электрических свойств пород на глубине из-за привноса жидкости и изменении давления.

На Камчатке за 1–2 недели до землетрясений с амплитудой $M > 5$ наблюдались изменения уровня электро-теллурических аномалий, т.е. аномалий земных токов, имеющих бухтообразную форму. Эффекты вариаций электромагнитного поля наблюдались в Японии перед Нефтегорским землетрясением 1995 г. на Сахалине. Однако в целом эти методики еще малорезультативны и надежных предвестников землетрясений давать не могут⁴.

Геохимические аномалии. Предвестники этого рода основаны на эффектах изменения химического состава природных вод и газов в источниках, колодцах, скважинах перед землетрясениями. Особенно ярко эти феномены проявляются в термальных водах на вулканах (в том числе и грязевых) и в разломных зонах. Спектр элементов, которые изучаются с этой целью, довольно широк. К сожалению, геохимические эффекты, также как и электромагнитные не стабильны, что снижает их прогностическую ценность. Однако изучать их нужно, т.к. отсутствие стопроцентных предвестников заставляет использовать их комплекс, и чем обширнее он будет, тем точнее будет предсказание.

Особое внимание в группе геохимических предвестников заслуживает изучение характера выделения глубинных газов. Выше мы указали, что в последние годы целый ряд исследователей (А.А.Маракушев, И.К.Карпов, В.С.Зубков, И.Л.Гуфельд) выдвинули гипотезы, связывающие напрямую сейсмичность с процессом глубинной дегазации. В таком случае наблюдение этого процесса максимально приближено к его результату – сейсмичности, и прогноз должен быть наиболее достоверным.

В 1956 г. в СССР под Ташкентом были начаты наблюдения за выделением газа радона. Ровно через 10 лет в 1966 г. здесь произошло катастрофическое землетрясение. Оказалось, что за 2–3 недели перед землетрясением содержание радона увеличилось втрое. Эффект оказался столь ярко выраженным потому, что скважина где проводились измерения радона была расположена всего в 2 км от эпицентра. После этого измерения радона стали проводиться в прогнозных целях во всех сейсмоопасных регионах страны. Позже аналогичные исследования получили развития за рубежом. В Китае в 1969 г., в Японии в 1973 г.⁵

В дальнейшем уже на Гармском полигоне были поставлены прогностические работы по гелию⁶. В последние годы начались исследования выделения водорода как предвестника землетрясений. Первые результаты были получены под руководством Г.И.Войтова в Дагестане⁷. Здесь в 2000 г. за 3 дня до землетрясения, был зафиксирован всплеск концентрации подпочвенного водорода. Сейчас аналогичные исследования проводятся нами на Кольском полуострове.

¹ Уолтхем Т. Указ. соч.

² Вартанян Г.С., Куликов Г.В. О глобальном гидродеформационном поле. Советская геология, № 5, 1983.

³ Злобин Т.К. Указ. соч.

⁴ Злобин Т.К. Указ. соч.

⁵ Там же.

⁶ Методические рекомендации по режимным наблюдениям за содержанием гелия во флюидах при геодинамических исследованиях и выявлении предвестников землетрясений / В.Н.Башорин, А.М.Галинский, И.В.Кучевская, А.И.Сальников, Т.В.Созинова, И.Н.Яницкий. Под ред. А.Н.Еремеева. М.: ВИМС, 1991. 50 с.

⁷ Урдуханов Р.И., Войтов Г.И., Николаев И.Н. и др. Нестабильность водородного поля атмосферы почв и подпочв как реакция на Дагестанские землетрясения 1998-2000 гг.// ДАН, 2002. Т.385. №6. С.818.

Поведение животных. Примеры аномального поведения животных перед землетрясениями многочисленны. Они многократно описаны в специальной литературе¹. Сейчас известно около 70 видов животных, способных чувствовать приближение землетрясений. Среди них млекопитающие, птицы, пресмыкающиеся, рыбы. Домашние животные испытывают тревогу и пытаются покинуть здание перед землетрясением. Птицы в клетках начинают кричать и метаться, аквариумные рыбки, наоборот, неестественно застывают. Очень чувствительны змеи, которые перед землетрясением массово покидают норы. Крысы всеми способами пытаются покинуть подвалы зданий и будучи запертыми, прогрызают толстые стены или роют ходы наружу. В водоемах наблюдаются случаи массового выброса рыбы на берег. Причины повышенной чувствительности животных неясны. Изучением вопроса занимаются исследователи многих стран. В 1976 г. в Калифорнии проводилась международная конференция, посвященная этой проблеме. Что же заранее улавливают животные? Предлагаются различные варианты – электромагнитные колебания, подземные шумы, микросейсмичность, ультразвуковые сигналы, изменение атмосферного давления и др. Со своей стороны хочу добавить еще фактор дегазации. Усиление глубинной дегазации, т.е. повышенное выделение восстановленных газов (водорода, метана, угарного газа), которые или сами являются ядовитыми или влияют на концентрацию кислорода в воздухе, обязательно должно улавливаться всеми аэробными организмами.

В сейсмоопасных районах Японии и США организованы специальные пункты наблюдения за поведением животных. Можно утверждать, что на сегодняшний день, аномальное поведение животных является наиболее достоверным предвестником землетрясений, относиться к которому нужно самым серьезным образом. Так как постигли 4 февраля 1975 г. власти китайского города Хайнэня в Манчжурии, о чем мы говорили выше.

Атмосферные явления. В Гималаях землетрясения происходят наиболее часто во время муссонных дождей. Наблюдается связь землетрясений с приливами и отливами, заполняющими водоемы в новолуния и полнолуния. Иногда за несколько суток перед землетрясением появляются высокие тонкие облака. Эти «сейсмические» облака приурочены к разломным зонам. Они прекрасно фиксируются со спутников и космических станций. Образуются они, скорее всего, из-за выбросов глубинных газов и аэрозолей, которые служат ядрами конденсации атмосферной влаги.

О связи землетрясений в Андах с дождями писали еще великие естествоиспытатели XIX века А.Гумбольдт и Ч.Дарвин². Отметим, что землетрясения предшествовали обильным дождям в крайне засушливой местности, где осадки могут не выпадать годами.

Озоновые аномалии. Очень интересен вопрос о связи землетрясений с изменением общего содержания озона (ОСО). Отечественный исследователь А.В.Тертышников убедительно доказал наличие такой связи³. Природа ее легко объясняется с позиций водородной теории разрушения озонового слоя⁴. Виновником разрушения является глубинный газ – водород, выделение которого усиливается перед землетрясением, о чем говорилось выше. Связь сейсмичности с состоянием озонового слоя особенно интересна тем, что планетарное поле ОСО ежедневно отслеживается специальными спутниками и соответствующие карты общедоступны в Интернете. Для примера можно сказать, что за несколько дней до трагического землетрясения 26 декабря 2004 г. в Индийском океане, которое вызвало убийственную волну – цунами, на спутниковых картах поля ОСО инфракрасной съемкой были зафиксированы отрицательные аномалии озона над Индонезийским архипелагом, в том числе и точно над эпицентром будущего землетрясения.

Ионосферные аномалии. В 80-е годы прошлого столетия были обнаружены резкие всплески интенсивности электромагнитных низкочастотных шумов в диапазоне 100 Гц–20 кГц над эпицентрами сильных землетрясений за несколько часов до события⁵. За 2–3 суток до сейсмособытия на высотах внешней ионосферы наблюдаются изменения плотности и температуры плазмы. Эти возмущения ионосферы сохраняются несколько суток после землетрясения.

Ионосферные предвестники, также как и озоновые аномалии, и линейная облачность вдоль разломных зон могут быть легко обнаружены из космоса, их мониторинг обеспечен группировками ИСЗ, что решает сложную, но чрезвычайно важную проблему прогноза землетрясений в труднодоступных районах суши и даже в океане.

Космическая ритмика. Важнейшую прогностическую информацию имеет закономерно меняющееся взаимное расположение планет в Солнечной системе, в первую очередь Земли, Луны и Солнца. Оно влечет изменение гравитационного воздействия на Землю, на которое последняя реагирует изменением положения твердого ядра относительно жидкого, что приводит к усилению глубинной дегазации. «Если изменяются вращательные параметры спутника, то должны изменяться и параметры вращения Земли. А это повлечет за собой: изменение фигуры Земли, перетекание подкорового пластического материала мантии, изменение течений в гидросфере, ядре, изменение климата»⁶.

«Солнечные» 11-летние циклы сейсмической активности известны давно и описаны еще А.Л.Чижевским⁷.

¹ Икея М. Землетрясения и животные. От народных примет к науке. М.: Научный мир, 2008. 320 с.

² Дарвин Ч. Путешествие натуралиста вокруг света на корабле «Бигль». М.: Географгиз, 1953. 580 с.

³ Тертышников А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. СПб.: ВИКУ им. А.Ф.Можайского, 1999. 197 с.

⁴ Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.

⁵ Ларкина В.А. Сейсмоактивные зоны по космическим данным // Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса / Под ред. Н.В.Красногорской. Т. 1. Планета Земля и ее биосфера под воздействием природных факторов. СПб.: Изд-во «Гуманистика», 2002. С. 266–275

⁶ Авсюк Ю.Н., Афанасьева Л.В. Астрономическая информация в геодинамических построениях // Проблемы эволюции тектоносферы (к 90-летию со дня рождения В.В.Белюсова). М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 404–412.

⁷ Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 367 с.

Фундаментальной сводкой по этой проблеме является работа А.Д.Сытинского¹. «Лунные» (18,6 лет) циклы выявлены исследованиями длительных рядов сейсмичности Байкальской впадины, при этом через половину срока (9,3 г.) землетрясения северо-западного ряда сменяются землетрясениями юго-восточного ряда. За 150 лет (до 1966 г.) здесь было зафиксировано 23 сильных землетрясения от 6 до 10 баллов².

Заметим, что приливное действие Солнца в 2,17 раза меньше лунного, однако наша звезда может эффективно влиять на земное ядро и за счет электромагнитного излучения, особенно мощного во время солнечных бурь. Более подробно проблема космического воздействия на Землю рассмотрена нами в 2001 г.³

Космические технологии в совокупности с наземными измерениями наиболее эффективных из отмеченных выше предвестников, легли в основу комплексного **метода прогноза и мониторинга признаков землетрясений**, разработанного в **Научном центре оперативного мониторинга Земли (НЦ ОМЗ)** Роскосмоса под руководством Л.Н.Доды.

Наличие признаков подготовки землетрясений, по мнению разработчиков, обусловлено причинно-следственной связью аномалий гравитационного и электротеллурического полей, нестабильностью вращения и обращения Земли, протонной диффузией в геоболочках, с одной стороны, и сейсмотектонических процессов – с другой. Факт совпадения отмеченных аномалий по месту и времени может указывать на приближение мощных землетрясений с магнитудой больше 6,0. Облачные сейсмотектонические индикаторы, фиксируемые из космоса, позволяют определить возможную магнитуду землетрясений и локализовать зону его подготовки. Метод обеспечивает среднесрочный прогноз землетрясений с 2–3-недельным упреждением по дате, а также по месту в рамках 7-градусной круговой зоны⁴.

Сложность временного прогноза практически всех стихийных бедствий и, в первую очередь, землетрясений, связана с их неоднозначностью. Да, науке сегодня известны десятки предвестников катастрофических событий. Да, они отслеживаются, но ни один из них не работает на 100%. Отсюда возникает проблема реализации недостоверного прогноза, т.е. проблема принятия административного решения об эвакуации населения, особенно трудная в крупных городах. Это очень дорогостоящее мероприятие колоссальной организационной сложности. Именно это обстоятельство чаще всего сдерживает управляющие органы в принятии решения об эвакуации крупных масс людей. Это же обстоятельство накладывает на людей живущих или оказавшихся в сейсмоопасных районах обязанность самим уметь наблюдать и определять признаки готовящегося землетрясения. Из перечисленных выше по значимости и достоверности предвестников отметим на первом месте аномальное поведение животных и аномальные явления в естественных источниках воды. Это те признаки, которые можно наблюдать без инструментального оснащения и без специальных знаний и навыков.

В заключение приведем очень важные слова опытного отечественного сейсмолога В.И.Уломова: «Жители сейсмоопасных районов, по меньшей мере, должны знать, что разрушение здания или иного сооружения при землетрясении обычно происходит не мгновенно, а в течение десятков секунд, необходимых для накопления повреждений, которые и ведут к последующему разрушению объекта. Важно знать, что и наиболее интенсивные сотрясения возникают не сразу, а лишь с приходом поперечных волн, которые распространяются почти в два раза медленнее, чем продольные волны, с которых и начинаются все землетрясения. Этими десятками секунд и нужно воспользоваться, спасаясь от гибели!»⁵.

Как же лучше всего использовать эти драгоценные секунды? Кардинальное решение – покинуть здание, что реально, в случае нахождения в малоэтажном здании или на нижних этажах многоэтажных. Если путь эвакуации далек, нужно найти укрытие в данном помещении. Залезть под массивный стол, кровать. Встать в угол комнаты или дверной проем. Надеть толстую одежду и головной убор, накинуть одеяло. Все это способно, в какой-то мере, защитить вас от падающих предметов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авсюк Ю.Н., Афанасьева Л.В. Астрономическая информация в геодинамических построениях // Проблемы эволюции тектоносферы (к 90-летию со дня рождения В.В.Белоусова). М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 404–412.
2. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. О глобальном гидродоформационном поле // Советская геология. 1983. № 5.
3. В Мурманской области произошло странное землетрясение: то ли техногенное, то ли естественное // NEWSru.com. Новости России. 2010. 21 октября. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.newsru.com/russia/21oct2010/quake.html>.
4. Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. М.: МГУ, 1973. 592с.
5. Гуфельд И.Л., Собисевич А.Д. Импульсная региональная дегазация Земли, стимулирующая образование очагов сильных землетрясений // Дегазация Земли: геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых. Тезисы докладов Международной конференции, 30–31 мая – 1 июня 2006 г. М.: ГЕОС, 2006. С. 92–94.
6. Дарвин Ч. Путешествие натуралиста вокруг света на корабле «Бигль». М.: Географгиз, 1953. 580 с.

¹ Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. Л., Гидрометеоздат, 1987 г.

² Ломакин В.В. Периодичность Байкальских землетрясений // Докл. АН СССР. 1966. Т. 170. №2. С. 410–413

³ Сывороткин В.Л. Космический пульс земных катастроф // Система планета Земля (Нетрадиционные вопросы геологии). Материалы IX- научного семинара. М., 2001. С. 98–102

⁴ Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений // Наука в России. 2009. № 6. С. 30–37.

⁵ Уломов В.И. Указ. соч.

7. Дода Л., Новикова Н., Пахомов Л., Степанов И. Космический мониторинг предвестников землетрясений // Наука в России. 2009. № 6. С. 30–37.
8. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 416 с.
9. Злобин Т.К. Природные катастрофы в литосфере Сахалино-Курильского региона и меры безопасности. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2006. 132 с.
10. Икея М. Землетрясения и животные. От народных примет к науке. М.: Научный мир, 2008. 320 с.
11. Карпов И.К., Зубков В.С., Бычинский В.А., Артименко М.В. Детонация в мантийных потоках тяжелых углеводородов // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 6. С. 754–762.
12. Красногорская Н.В., Сывороткин В.Л. Природно-техногенные аварии и катастрофы в геофизическом аспекте // Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса. Под ред. Н.В.Красногорской. Т. 3. Проблемы безопасности в условиях природно-антропогенных воздействий. СПб.: Изд-во «Гуманистика», 2002. С. 93–103.
13. Курс общей геологии / В.И.Серпухов, Т.В.Билибина, А.И.Шалимов и др. Л.: Недра, 1976. 535 с.
14. Ларин Н.В., Ларин В.Н., Горбатов А.В. Кольцевые структуры, обусловленные глубинными потоками водорода // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды, нефть и газ, углеводороды и жизнь. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика П.Н.Кропоткина. 18–22 октября 2010 г., Москва. М.: ГЕОС, 2010. С. 284–288.
15. Ларкина В.А. Сейсмоактивные зоны по космическим данным // Стратегия жизни в условиях планетарного экологического кризиса. Под ред. Н.В.Красногорской. Т. 1. Планета Земля и ее биосфера под воздействием природных факторов. СПб.: Изд-во «Гуманистика», 2002. С. 266–275.
16. Ломакин В.В. Периодичность Байкальских землетрясений // ДАН СССР. 1966. Т. 170. № 2. С. 410–413.
17. Маракушев А.А. Флюидный режим обновления коры Земли и других планет и спутников Солнечной системы // Система Планета Земля («Нетрадиционные вопросы геологии»). XII научный семинар 4–6 февраля 2004 г. Материалы / Геологический ф-т МГУ. РОО Гармония строения Земли и планет. М., 2004. С. 268–282.
18. Методические рекомендации по режимным наблюдениям за содержанием гелия во флюидах при геодинамических исследованиях и выявлении предвестников землетрясений / В.Н.Башорин, А.М.Галинский, И.В.Кучевская, А.И.Сальников, Т.В.Созинова, И.Н.Яницкий. Под ред. А.Н.Еремеева. М.: ВИМС, 1991. 50 с.
19. Милановский Е.Е., Никишин А.М. Западно-Тихоокеанский рифтовый пояс // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1988. Т. 63. Вып. 4. С. 3–15.
20. Осика Д.Г. Флюидный режим тектонически – активных областей. М.: Наука, 1981. 204 с.
21. Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ и Балтии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1 М.: ИФЗ, 1993. С. 186–195.
22. Рогожин Е.А. Геодинамика и сеймотектоника // Проблемы эволюции тектоносферы (к 90-летию со дня рождения В.В.Белоусова). М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 84–92.
23. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 312 с.
24. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных регионов // Физика Земли. 1998. №10.
25. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.
26. Сывороткин В.Л. Космический пульс земных катастроф / Система планета Земля (Нетрадиционные вопросы геологии). Материалы IX научного семинара. М., 2001. С. 98–102.
27. Сывороткин В.Л. Мировая система рифтов-меридианов // Проблемы эволюции тектоносферы (к 90-летию со дня рождения В.В.Белоусова). М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 159–177.
28. Сывороткин В.Л., Русинова С.В. Платоэффузивы о.Кунашир – рифтовая формация на островной дуге // Магматизм рифтов (петрология, эволюция, геодинамика). М.: Наука, 1989. С. 180–188.
29. Сытинский А.Д. Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. Л.: Гидрометеоздат, 1987.
30. Тертышников А.В. Сейсмоозонные эффекты и проблема прогнозирования землетрясений. СПб.: ВИКУ им. А.Ф.Можайского, 1999. 197 с.
31. Тетяев М.М. Геотектоника СССР. ГОНТИ, 1938. 298 с.
32. Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вестник ОГПТГН РАН. 1999. № 1(7).
33. Уолтхем Т. Катастрофы: неистовая Земля. Л.: Недра, 1982. 223 с.
34. Урдуханов Р.И., Войтов Г.И., Николаев И.Н. и др. Нестабильность водородного поля атмосферы почв и подпочв как реакция на Дагестанские землетрясения 1998-2000 гг. // ДАН. 2002. Т. 385. № 6. С. 818.
35. Челябинск трясло из-за взрывов на Чебаркульском полигоне -военная прокуратура ЦВО подтвердила факты нарушений при утилизации боеприпасов. 17 марта 2011 г. // АН «Доступ». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dostup1.ru/central/central_25081.html
36. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976. 367 с.