

Сейсмическая безопасность

Землетрясения по количеству жертв, разрушительным последствиям и деструктивному воздействию на среду обитания занимают одно из первых мест среди природных катастроф.

В 2001 году Постановлением Правительства Российской Федерации была утверждена федеральная целевая программа «Сейсмобезопасность территории России», рассчитанная на 2002–2010 годы.

О том, представляет собой сейсмическая опасность, мы беседуем с руководителем исследований по созданию комплекта новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97, главным научным сотрудником Института физики Земли РАН, доктором физико-математических наук, профессором геофизики, Лауреатом Государственной премии РФ в области науки и техники Валентином Уломовым.

— Валентин Иванович, мало кто из даже очень образованных людей знает, что является причиной землетрясений на самом деле. Хотелось бы услышать об этом.

— Земля — живой организм. В ее недрах и на земной поверхности ничто не пребывает в состоянии покоя. Одни участки медленно вздымаются, создавая горные кряжи, другие опускаются, погружаясь в моря и океаны. Природа землетрясений связана с движением и взаимодействием литосферных плит — «осколков» внешней каменной оболочки Земли. Земной шар, образно говоря, можно представить в виде куриного яйца, приплюснутого в районе полюсов и сваренного вмятку. В этом случае желток будет изображать ядро Земли (см. рис. 1). Оно жидкое, расплавлено, словно сталь в мартеновской печи, и по соотношению размеров занимает примерно половину яйца. В самом центре этого ядра — желтка имеется твердое ядро диаметром поменьше, не менее раскаленное, но из-за чрезвычайно высокого давления не поддающееся плавлению. Следующая после «желтка» оболочка напоминает белок в вареном яйце. Это мантия Земли. Она пластична — может мяться, не создавая трещин. «Скорлупа» же яйца — относительно тонкая, твердая и значительно охлажденная литосфера. В мелком масштабе она примерно такой же толщины, что и скорлупа. Внешняя часть ее называется земной корой. Это — самая хрупкая оболочка планеты. Она-то и «трещит по швам» при деформационных воздействиях. Разломы земной коры и возникающие в ней трещины — это и есть «швы», порождающие очаги землетрясений, которые сотрясают ближайшие окрестности, разрушают природную среду и созданные руками человека сооружения.

Внутриземными геодинамическими процессами литосферная «скорлупа» разбита на несколько крупных плит. Перемещаясь по сфере, эти плиты взаимодействуют между собой. Границы между плитами — самые активные в сейсмическом отношении. Двигает плиты конвекция вещества в недрах Земли

(горячие и менее плотные массы поднимаются вверх, холодные опускаются вглубь). Растекаясь в разные стороны под литосферой, вещество верхней мантии раздвигает литосферные плиты и внедряется в образующиеся щели, постепенно наращивая горизонтальную протяженность плит. Как и другие внутриземные процессы, эти перемещения происходят очень и очень медленно. Примером раздвигаемых границ может служить протяженная Срединноатлантическая рифтовая зона. Именно она является причиной продолжающегося миллионы лет расширения дна Атлантического океана и «отплывания» со скоростью 10–15 сантиметров в год материков обеих Америк (Северной и Южной) от Европы и Африки (не случайно западные и восточные берега Атлантики подобны друг другу).

Поскольку размер земного шара заметно не меняется, наращиваемые в рифтах литосферные плиты, перемещаясь, начинают либо напирать друг на друга, создавая горные массивы, либо подползать одна под другую, дугообразно погружаясь в верхнюю мантию и оставляя на водной поверхности лишь следы в виде экзотических цепей островных дуг и вулканов. Примером таких зон, называемых очень крупными сейсмическими подвижками. Глубже литосфера расплавляется в верхней мантии и уже не «трещит». Однако менее тугоплавкие породы субдуктирующей плиты в виде расплавленной магмы время от времени выбрасываются вулканами на земную поверхность.

Когда-нибудь, в далеком геологическом будущем, Курило-Камчатская дуга, как и другие зоны субдукции, сблизится с материком Сибири, исчезнет Охотское море, Сахалин и Японские острова вплотную «примкнут» к матерку, возникнут новые горные массивы... Такое, например, случилось около 30 млн. лет

назад с высокогорными ныне Гималаями, представлявшими когда-то аналогичную островную дугу в древнем Индийском океане. Образно говоря, Индийский полуостров приплыл сюда, оторвавшись свыше сотни миллионов лет тому назад от Африки в районе нынешнего Мадагаскара. Он-то и прижал Гималайские дуги к Центральной Азии.

— Только ли на границах литосферных плит возникают землетрясения и какова сейсмичность остальной территории нашей страны?

— Очаги землетрясений возникают не только на границах литосферных плит. Под гигантским напором последних разломообразование в земной коре и всей литосфере может возникать и вдали от этих границ. Многочисленные разломы различного ранга оконтуривают геоблоки разных размеров. Вдоль границ блоков возникают так называемые внутриплитовые землетрясения. Они могут быть не менее значительны, чем межплитовые, происходящие в рифтовых зонах и в зонах субдукции. Именно такая сейсмичность охватывает практически всю сейсмоактивную материковую территорию нашей страны.

В сейсмическом отношении территория России принадлежит Северной Евразии, сейсмичность которой обусловлена интенсивным геодинамическим взаимодействием нескольких крупных литосферных плит — Евроазиатской, Африканской, Аравийской, Индо-Австралийской, Китайской, Тихоокеанской,



Северо-Американской и Охотоморской (см. рис. 1).

По сравнению с другими странами мира, расположенными в сейсмоактивных регионах, российская территория в целом характеризуется умеренной сейсмичностью. Исключение составляют Северный Кавказ, юг Сибири и Дальний Восток, где интенсивность сейсмических сотрясений достигает 8–9 и даже 9–10 баллов по 12-балльной макросейсмической шкале. Определенная угроза таится и в 6–7-балльных зонах густозаселенной европейской части страны. «Отзвуки» далеких землетрясений с заглубленными очагами в Восточных Карпатах достигают Москвы и Санкт-Петербурга в виде сейсмических колебаний интенсивностью до 3–4 баллов. Нередко природная сейсмическая активность усугубляется воздействием человека на литосферную оболочку Земли (бесконтрольная добыча нефти, газа и других полезных ископаемых, закачка флюидов в разломы и т.п.). Такие «индуцированные» землетрясения регистрируются в Татарстане, Пермской области и в других регионах страны.

Землетрясения, вызывая разрушения, сопровождаются и вторичными поражающими факторами — трещинами на земной поверхности, оползнями и обвалами, разжижением грунта, цунами, пожарами и паникой (рис. 2 и 4).

— Валентин Иванович, можно ли бороться с землетрясениями?

— С землетрясениями можно и нужно бороться. Но прежде всего хочу подчеркнуть, что возросла не сейсмичность, являющаяся следствием глобальной эволюции нашей планеты, продолжающейся десятки и сотни миллионов лет. Возросла не опасность, хотя по мере освоения всё новых и новых сейсмоактивных территорий она действительно может расти. Возросли наши знания о ней. Поэтому-то и «покраснели» новые карты сейсмического районирования, указав на более серьезную сейсмическую угрозу, чем считалось прежде (рис. 3). И мы обязаны были довести эти сведения до директивных органов, до общественности и специалистов по сейсмостойкому строительству.

Землетрясения неизбежны. Внезапность их возникновения еще больше усугубляет их разрушительные последствия. Предсказать время возникновения очередных подземных толчков, а тем более предотвратить их, пока невозможно. Однако разрушения и число человеческих жертв могут быть сведены к минимуму путем проведения в сейсмоактивных районах разумной и долговременной государственной политики, основанной на повышении уровня осведомленности населения и федеральных органов об угрозе землетрясений и умении противостоять им.

Первым и самым важным шагом на этом пути как раз и является адекватное сейсмическое районирование, позволяющее дифференцировать территории по степени их сейсмогеодинамической активности и сейсмической опасности. А это, в свою очередь, крайне важно для рационального землепользования и осуществления надежного сейсмостойкого строительства.

Нужно сказать, что первая в мире карта сейсмического районирования была создана в Советском Союзе в 1937 году, в Институте

физики Земли, который тогда назывался Сейсмологическим. С тех пор в нашей стране каждые 10–15 лет эти карты пересоставлялись по мере накопления материала о землетрясениях и совершенствования методов их построения. Однако фрагментарно они претерпевали исправления практически после каждого крупного землетрясения, которое имело сейсмический эффект большой, чем это было показано на карте. Такая участь постигла и последнюю «советскую» карту 1978 года, по которой осуществлялось строительство в стране в последующие годы.

После катастрофического Спитакского землетрясения 1988 года Ученым советом Института физики Земли мне было предложено возглавить работы по созданию новых карт общего сейсмического районирования (ОСР) территории Северной Евразии. Эти работы были начаты в 1990 году после моего переезда из Ташкента в Москву, а в 1997 году были завершены. Исследования проводились в рамках Государственной научно-технической программы России «Глобальные изменения природной среды и климата». В них приняли участие десятки институтов — академических,

ведомственных, российских и других стран СНГ. Поскольку разломы земной коры, как и землетрясения, «не признают» государственных границ, к исследованиям привлекались и специалисты из «дальнего» зарубежья.

Благодаря нашим исследованиям произошла смена парадигмы (модели) в оценке сейсмической опасности. Новые карты в данном случае ОСР-97 теперь имеют вероятностный характер, отражая как случайные, так и закономерные факторы в развитии сейсмогеодинамических процессов и явлений. Препятствия же были детерминистскими. Они не учитывали особенностей сейсмического режима, т.е. частоту возникновения землетрясений разной величины.

Карты ОСР-97 получены путем строгого математического моделирования природных источников землетрясений — разломов и других деформирующихся структур. В итоге нашей работы была создана модель всех известных и выявленных сейсмогенерирующих структур с характерным для них сейсмическим режимом. Затем с помощью компьютеров и разработанных нами программ была «проиграна» многотысячелетняя (геологическая и историческая) история сейсмичности Северной Евразии, охватывающей территорию России и всех сопредельных стран и регионов. И, естественно, был сделан прогноз на будущие столетия. Он-то и позволил построить целый комплект карт ОСР-97, характеризующих ту или иную степень сейсмической опасности (рис. 3). Карта А — прогнозирует сейсмическую обстановку на период в 500 лет, карта В — на 1000 лет, карта С — на 5000 лет. Пользуясь инженерной терминологией, лучше говорить о различной вероятности возможного превышения (риске) сейсмического эффекта в заданном пункте и в заданный

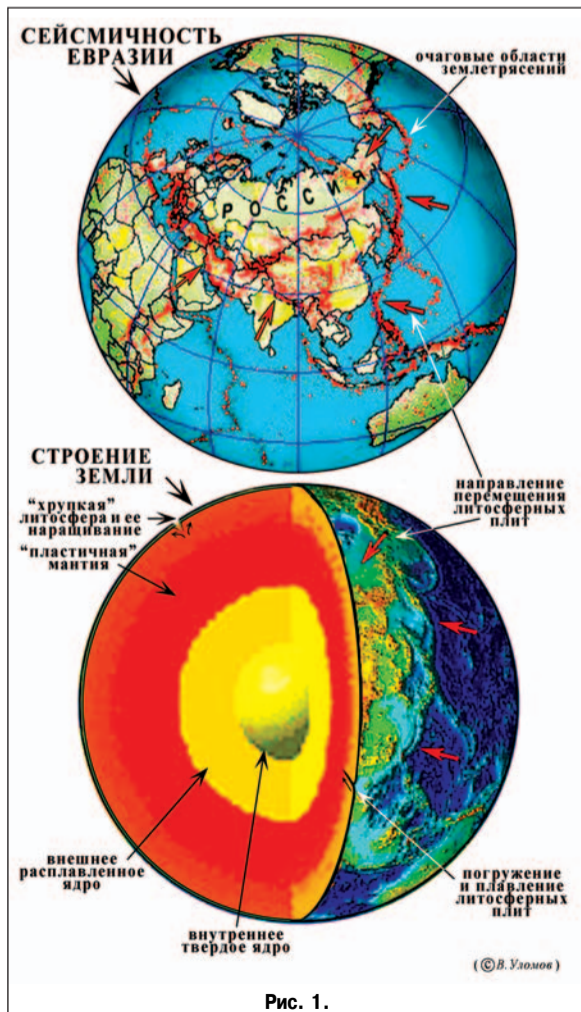


Рис. 1.



Рис. 2.
Трещина над очагом землетрясения на территории Горного Алтая

территории России

интервал времени, например, в течение 50 лет. Тогда карта А будет соответствовать 10-процентному риску, карта В — 5-процентному и карта С — 1-процентному риску.

Хотите меньше рисковать — стройте по карте В или С. Но тогда и строительство обойдется дороже, так как уменьшение риска соответствует более «сурово» окрашенной карте (см. рис 3). Для строительства атомных станций и других особо ответственных объектов нами создана также карта ОСР-97-Д, удовлетворяющая международным требованиям МАГАТЭ (повторяемость раз в 10 тысяч лет). Она отражает очень и очень малый, 0,5-процентный, риск возможного превышения сейсмического эффекта в течение 50 лет.

Созданные нами в 1991—1997 годах новые карты ОСР-97 указали на более высокую сейсмическую опасность, чем это предполагалось прежде, что в значительной мере и послужило основанием для утверждения в 2001 году правительством Федеральной целевой программы «Сейсмобезопасность территории России».

— *Насколько нам известно, работа возглавляемого вами коллектива удостоена Государственной премии. Позвольте еще раз поздравить вас от всей души с присуждением высокого звания Лауреата государственной премии РФ. Кстати говоря, подобное в истории отечественной науки произошло впервые: научные коллективы, которые составляли предыдущие карты, тоже не раз подавали на премию, но ни разу не получили. Почему именно вы были удостоены высокого звания лауреата?*

— Действительно, я и мои коллеги в декабре прошлого года стали Лауреатами Государственной премии за работу «Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации: Методология и комплект карт ОСР-97».

Как вы уже видели, речь идет не об одной карте, а о комплекте карт. Это — одна из многих других новаций наших исследований. Раньше у нас составлялась только одна, притом детерминистская, карта. Да и во всем мире до сих пор пользуются лишь одной картой. Условия неопределенностей, которые в природе всегда существуют, делают неправомерным детерминистский подход к сейсмическому районированию. Оно может быть осуществлено лишь на вероятностной основе. Иными словами, риск всегда будет иметь место, но его необходимо свести к минимуму. Это и заложено в созданных нами новых картах, позволяющих оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности на трех уровнях (карты ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С), отражающих расчетную интенсивность сейсмических сотрясений, ожидаемых на данной площади с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени.

Комплект ОСР-97 создан на основе новой методологии и имеет целью обеспечение сейсмостойкого строительства необходимыми инженерными данными. На этот раз сейсмическим районированием впервые была охвачена вся обширная территория страны, включая шельфы внутренних и внешних морей, а также сопредельные сейсмоактивные регионы. Впервые была создана унифицированная электронная база сейсмологических и других геолого-геофизических данных. Впервые была разработана единая внутренне согласованная модель зон возникновения очагов землетрясений на всей территории Северной Евразии. Впервые очаги землетрясений рассматривались не как точки, как прежде, а в виде реальных, протяженных на десятки и сотни километров, источников землетрясений.

Комплект карт ОСР-97 в 1998 году был удостоен Диплома первой степени Международной выставки-ярмарки «ИННОВАЦИИ-98» и Медали Всероссийского Выставочного Центра. Одна из наших карт — ОСР-97-А в 1999 году в виде крупного фрагмента была включена в первую мировую карту глобальной сейсмической опасности, опубликованную под эгидой ООН в США.

В 2000 году комплект карт ОСР-97 впервые стал составной частью Строительных норм и правил (СНиП) «Строительство в сейсмических районах». Введенный нами дифференцированный вероятностный подход к оценкам сейсмической опасности позволяет использовать этот комплект для проектирования и строительства сейсмостойких объектов разных категорий ответственности и сроков службы.

Сегодняшняя наша задача (в соответствии с ФЦП «Сейсмобезопасность терри-

тории России») — научное сопровождение созданных нами карт при использовании их в регионах и уточнения сейсмической опасности на территории отдельных субъектов Федерации.

Есть еще один шаг, его тоже предусматривает ФЦП «Сейсмобезопасность территории России». Это составление карт сейсмического микрорайонирования населенных пунктов и конкретных строительных площадок. Работа заключается не только в изучении местной разломно-блоковой структуры земной коры и ее динамики, но и влияния местных грунтов. Дело в том, что оценка ожидаемого сейсмического эффекта на картах ОСР-97 отнесена к так называемым средним, наиболее распространенным, грунтовым условиям. По СНиП — это грунты второй категории. Различие же в грунтах может внести существенные коррективы в инженерные расчеты. Например, в тех местах, где уровень грунтовых вод залегает высоко, эффект увеличивается чуть ли не на балл. Рыхлые грунты также усиливают сейсмические воздействия. Скальные же и другие плотные грунты сейсмический эффект понижают почти на один балл. Это может обеспечить более надежную сохранность строительных объектов.

Так же, как при детальном сейсмическом районировании, мы должны осуществлять научно-техническое сопровождение этих работ. К сожалению, этого пока не происходит. В регионах часто нанимают для выполнения работ непрофессионалов — нередко это частные структуры, для которых коммерция на первом месте, а наука — на последнем. Это могут быть и академические коллективы, которые сейсмологией никогда не занимались. В результате — отсебятина, выброшенные на ветер деньги и никчемные результаты.

— *Кто же берет на себя такую колоссальную ответственность, привлекая псевдопрофессионалов?*

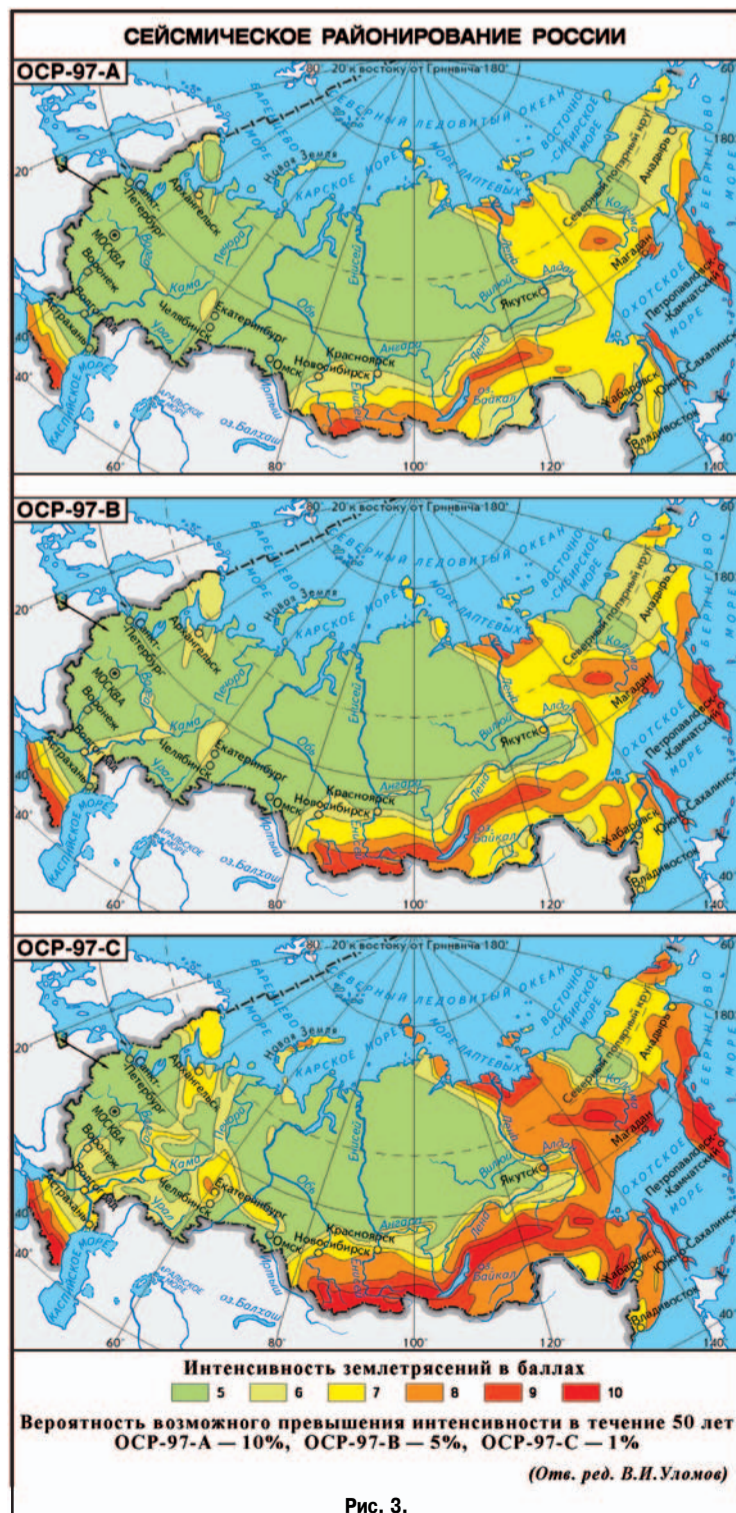


Рис. 3.

— Прежде всего сами заказчики этих работ. В том числе администрация субъектов Федерации или, допустим, те же атомщики. Я много лет являюсь членом комиссии по оценке экологической опасности атомных станций. И не раз сталкивался с этим. Дело доходит иногда до того, что даже терминологически эти так называемые сейсмологи допускают огрехи, раскрывающие их «сейсмологическое» дилетантство. Например, так же как и почти все СМИ, в том числе и журналисты (надеюсь, вы извините меня за это высказывание) нередко путают понятия «магнитуда» и «балл». Хотя нетрудно запомнить, что «баллы» — это единицы измерения сейсмического эффекта на земной поверхности по 12-балльной макросейсмической шкале интенсивности. Так, 1–2 балла практически не ощущаются людьми, 3 балла — едва-едва, 4 — сильнее и т. д. 7-балльные сотрясения могут слегка повреждать здания (начинают бежать трещинки по штукатурке), а где слабо — может и обрушиться. Особенно если это глинобитные несейсмостойкие постройки. Естественно, 9–10 баллов — это уже катастрофа. Шкала магнитуд («баллы» по Рихтеру) отражает не эффект на земной поверхности, а энергию, которая выделяется в очаге землетрясения. Самая большая магнитуда землетрясений едва достигает $M=9$.

Словом, баллы и магнитуда — не одно и то же. Баллы относятся к земной поверхности, магнитуда — к очагу. Чем глубже очаг землетрясения одной и той же магнитуды, тем слабее эффект сотрясений на земной поверхности. И наоборот, даже небольшая магнитуда при малой глубине очага может вызвать серьезные макросейсмические последствия. Например, глубоководные очаги даже очень крупных землетрясений в Курило-Камчатской зоне субдукции практически не представляют серьезной опасности. Но сейсмический толчок относительно небольшой магнитуды при мелкофокусном очаге может привести к большим разрушениям. Такое может произойти и на равнинной территории страны, в том числе и в непосредственной близости от таких чрезвычайно опасных объектов, как атомные станции.

Но самое тревожное то, что среди «псевдопрофессионалов» имеет место и нездоровая конкуренция. Нередко она состоит в торговле с заказчиком в отношении стоимости работ по «снижению балла» и якобы «удешевлению» строительства. Одни предлагают снизить цену на ОСР-97 на один балл — за определенную цену, другие обещают либо сделать то же самое за меньшую, либо за ту же цену, но понизить на два балла... Вот так-то бывает в наше непростое время.

На днях Указом Президента России принято решение усилить контроль за производством тех или иных видов работ, выведя надзорные органы из подчинения ведомствам, которые нередко и сами грешили подобными некомпетентными действиями. Вместе с тем постановлением правительства была, к сожалению, ликвидирована очень важная в нынешних условиях Межведомственная комиссия по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству, со-

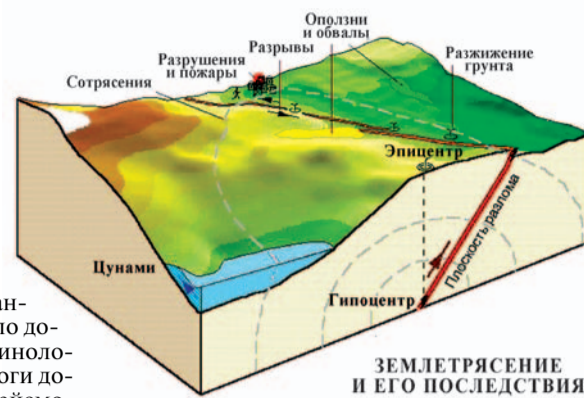


Рис. 4.

зданная в 1994 г. правительством страны при Госстрое России. Теперь таковой не существует, и может еще больше возрасти угроза «псевдопрофессионалов».

— *Можно ли в принципе успеть спасти людей в случае внезапного землетрясения? Можно ли предсказать заранее время возникновения очередного сильного землетрясения?*

— Вероятность спастись в тех зданиях, которые не будут построены в соответствии с картами сейсмического районирования, чрезвычайно мала. Что касается прогноза землетрясений и заблаговременного вывода на улицу людей, известен только один случай за всю историю сейсмологии. В Китае в 1975 году во время Хайченского землетрясения, действительно, успели вывести население из домов, даже из города вывезли. Практически обошлось без жертв, хотя многие дома были разрушены. Однако это случилось не потому, что китайские сейсмологи уже научились предсказывать землетрясения. Землетрясение само себя «предсказало» многочисленными слабыми толчками — форшоками, которые ежедневно, а затем и ежеминутно стали возникать в одном и том же месте за четыре дня до катастрофического землетрясения. Обеспокоенные власти поступили вполне разумно, объявив всеобщую тревогу и эвакуировав население. Но в следующем, 1976 году, в этом же регионе произошло другое аналогичное землетрясение без всяких форшоков (что чаще всего и бывает). Оно практически полностью разрушило крупный город Тань-Шань. Погибло более 200 тысяч человек (по неофициальным данным, свыше 600 тысяч).

Краткосрочный прогноз землетрясений в настоящее время, к сожалению, невозможен. Обращаясь к метеорологической терминологии, можно говорить лишь о прогнозе «сейсмического климата», но не «сейсмической погоды». Карты сейсмического районирования — это и есть карты «сейсмического климата». И это не менее важно, чем прогноз погоды. Не устану повторять: строить необходимо качественно.

Вот свежие примеры зависимости числа жертв и размеров ущерба от одинаковых по магнитуде ($M=6.5-6.7$) землетрясений, случившихся лишь в прошлом году в странах, по-разному относящихся к обеспечению сейсмобезопасности. Всего за 2003 год в результате землетрясений на земном шаре погибло около 40 тысяч человек, около 70 тысяч были ранены, ущерб превысил несколько миллиардов американских долларов. В том числе в Алжире погибло 2273 человека, 12000 были ранены, ущерб достиг 500 млн. долларов. При землетрясении, разрушившем в декабре город Бам в Иране, погибло 34000 человек, ранено свыше 50000, ущерб превысил 100 млн. долларов. В то же время в США при аналогичном землетрясении погибло 5 человек, ранено 30, хотя ущерб измерялся десятками миллионов долларов. Комментарии, как говорится, излишни.

Кстати, 9–10-балльное землетрясение того же 2003 года в нашем Горном Алтае, имевшее значительно большую магнитуду ($M=7.5$), подтвердило справедливость наших карт ОСР-97. Оно произошло именно там, где ему и было «предписано» этими картами. Однако лишь по счастливой случайности оно не сопровождалось разрушениями и человеческими жертвами. Этот район, к счастью, оказался очень слабо заселенным. Гигантские трещины расщелили окрестности небольшого поселка Бельтир, оказавшегося всего в 5–6 километрах от эпицентральной области (см. рис. 2). Стался такое землетрясение в густонаселенной и ненадежно застроенной местности, оно обернулось бы страшной катастрофой.

Памятное Нефтегорское землетрясение 1995 года на Сахалине с такой же магнитудой вызвало 9–10-балльные сотрясения в эпицентральной области. Оно полностью уничтожило рабочий городок Нефтегорск и унесло 2000 человеческих жизней. По числу жертв и характеру разрушений это было самое сильное из известных на территории России землетрясение.