

ISSN 0032—874X

ПРИРОДА

12 89

Землетрясения-
уроки
и проблемы



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТОШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Академик
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАШУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПОПУЛЯРНЫЙ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Характерный пейзаж Армении.

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Спитак после землетрясения.

Фото Н. М. Денилочкина.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Им обозначены материалы, которые «Природа» публикует, участвуя в этой программе.



© Академия наук СССР
журнал «Природа» 1989

В НОМЕРЕ

- 3** Лавров Н. П.
ИЗВЛЕЧЬ УРОКИ ИЗ ТРАГЕДИИ

- 4** Страхов В. Н.
К НОВОЙ ПАРАДИГМЕ СЕЙСМОЛОГИИ

Современная сейсмология базируется на эмпирическом обобщении, ретроспективном анализе и аналогии. Даже эта господствующая ныне парадигма способна обеспечить гораздо более точный прогноз землетрясений, если будет лучше изучено строение земной коры в сейсмоопасных регионах и создана современная наблюдательная сеть.

- 10** Кейлис-Борок В. И.
ДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Система сейсмоактивных разломов контролируется множеством механизмов, ведущих к детерминистскому хаосу. В результате усреднения созданы алгоритмы среднесрочного прогноза, которые прошли проверку в сейсмоактивных регионах, включая Армению и Калифорнию.

- 19** Рейснер Г. И.
ПОЧЕМУ «ОШИБЛАСЬ» КАРТА?

Спитакское землетрясение произошло там, где 9- и 10-балльные землетрясения, согласно карте общего сейсмического районирования, вообще невозможны. Причина этой трагической ошибки — в том, что при составлении карты не учитывались данные сейсмотектоники.

- 24** Годзиковская А. А.
СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА КАВКАЗА В ДНИ СПИТАКСКОЙ ТРАГЕДИИ

- 26** Борисов Б. А., Рогожин Е. А.
СЕЙСМОГЕННЫЙ РАЗРЫВ

Во время Спитакского землетрясения на поверхности возник протяженный разрыв горных пород, который прошлой зимой удалось проследить на отрезке длиной около 13 км.

- 32** Трифонов В. Г., Караханян А. С., Кожурин А. И.
АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Сильные землетрясения, в том числе и Спитакское, чаще всего связаны с разломами, по которым происходят смещения блоков земной коры.

- 39** Никонов А. А.
ЗЕМЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В легендах и хрониках, в развалинах древних городов, в рельефе и горных породах сохранились многочисленные следы бывших землетрясений на земле Армении.

- 47** Соболев Г. А.
ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Разработанные в разных странах методики долгосрочного прогноза сегодня могут претендовать на определенную надежность. Ситуация с краткосрочным прогнозом гораздо сложнее.

- 55** Сальман А. Г., Шилин Б. В.
СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ: ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА

- 60** Войтов Г. И., Попов Е. А.
ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Крупнейшим землетрясениям последних пяти лет неизменно предшествовали геохимические эффекты, которые могут стать прогнозными признаками надвигающихся катастроф.

- 65** Борисов Б. А.
ЗАМЕЧАНИЕ СЕЙСМОГЕОЛОГА ОБ ОТДАЛЕННЫХ «ПРЕДВЕСТНИКАХ» ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

- 66** Старовойт О. Е., Захарова А. И., Чепкунас Л. С.
СЛУЖБА СРОЧНЫХ ДОНЕСЕНИЙ

- 68** Айзенберг Я. М.
СТРОИТЕЛЬНАЯ НАУКА ПРОТИВ СТИХИИ

Как избежать губительного резонанса в зданиях, проектируемых в условиях неполной информации о спектрах сейсмических колебаний? Один из путей — применение самонастраивающихся систем сейсмозащиты.

- 78** Гамбурцева Н. Г.
ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

- 79** СПИТАК-88

- 87** Федотов С. А.
КАМЧАТКА ГОТОВИТСЯ К ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ

- 90** Городецкий В. М.
МЕДИЦИНА КАТАСТРОФ

- 95** Ениколопов С. Н.
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В АРМЕНИИ

- 99** Цыганков С. С.
НУЖНА ДЕЙСТВЕННАЯ СИСТЕМА ЗАЩИТЫ

- 102** НОВОСТИ НАУКИ

- 113** РЕЦЕНЗИИ

- 116** ИТОГИ ЧИТАТЕЛЬСКОЙ АНКЕТЫ

- 118** ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «ПРИРОДА» 1989 ГОДА

- 126** АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ ЖУРНАЛА «ПРИРОДА» 1989 ГОДА

CONTENTS

- 3** Laverov N. P.
LEARN A LESSON FROM THE TRAGEDY

- 4** Strakhov V. N.
TO THE NEW PARADIGM IN SEISMO-
LOGY

Modern seismology is based on empiric synthesis, retrospective analysis and analogies. Even in the frame of this dominating paradigm a much more accurate forecast of earthquakes is possible if we get more detailed information of the earthquake and create an up-to-date observation set.

- 10** Keilis—Borok V. I.
THE DYNAMICS OF THE LITHOSPHERE
AND EARTHQUAKE FORECASTS

The system of seismoactive faults is controlled by numerous mechanisms, which altogether generate deterministic chaos. After strong averaging algorithms for intermediate prediction are designed and tested worldwide, including forward prediction of recent Armenian and Californian earthquakes.

- 19** Reisner G. I.
WHY WAS THE MAP ERRONEOUS?

The Spitak earthquake happened in the region, where according to the seismic map earthquakes of 9 or 10 degrees were merely impossible. The thing is that seismotectonic data were not taken into account when the seismic regions in our country were mapped.

- 24** Godzikovskaya A. A.
THE CAUCASIAN SEISMIC SERVICE IN
THE FIRST DAYS OF THE SPITAK EARTH-
QUAKE

- 26** Borisov B. A., Rogozhin Eu. A.
SEISMOGENIC RUPTURE

A long rupture of the earth's surface appeared as a result of the Spitak earthquake. Last winter about 13 km of this fault were studied.

- 32** Trifonov V. G., Karakhanyan A. S.,
Kozhurin A. I.
ACTIVE RUPTURES AND SEISMICITY

All powerful earthquakes, the Spitak earthquake among them, are associated with ruptures along which blocks of the Earth's crust shift.

- 39** Nikonov A. A.
THE LAND OF EARTHQUAKES

Numerous traces of previous earthquakes can be found in the ruins of old cities, in the topography and rock exposures, as well as in the armenian legends and chronicles.

- 47** Sobolev G. A.
FORECASTING EARTHQUAKES

The methods of long-term forecasts of earthquakes that have been elaborated in many countries make it possible to cope with many difficult situations. Short-term forecasts are much more difficult to make.

- 55** Salman A. G., Shilin B. V.
SEISMIC ACTIVITY AS SEEN FROM
OUTER SPACE

- 60** Voitov G. I., Popov E. A.
CAN GEOCHEMISTRY FORECAST
EARTHQUAKES?

All large earthquakes of the recent five years were preceded by geochemical phenomena that can be used for forecasting earthquakes.

- 65** Borisov B. A.
SEISMOLOGIST'S NOTES ON THE RE-
MOTE PRECURSORS.

- 66** Starovoi O. E., Zakharova A. I.,
Chepkunas L. S.
THE SERVICE OF EXPRESS INFORMA-
TION

- 68** Aizenberg Ya. M.
THE SCIENCE OF CONSTRUCTION VS.
NATURAL CALAMITIES

How can dangerous resonance be avoided in buildings designed for the regions where there is no complete information of seismic conditions? One of the possible ways is to construct self-adjusting systems of seismic stability.

- 78** Gamburtseva N. G.
NUCLEAR WEAPON TESTS AND EARTH-
QUAKES

- 79** SPITAK—88

- 87** Fedotov S. A.
KAMCHATKA IS GETTING READY FOR
AN EARTHQUAKE

- 90** Gorodetsky V. M.
THE MEDICINE OF CATASTROPHES

The Armenian earthquake prompted a revision of many problems of organizational nature pertaining to the crush syndrome, the inevitable result of catastrophic earthquakes and similar calamities.

- 95** Enikolopov S. N.
PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF THE
ARMENIAN EARTHQUAKE

- 99** Tsygankov S. S.
WHAT WE NEED IS AN EFFECTIVE
PROTECTION SYSTEM

The problem of protecting people from disastrous earthquakes has numerous aspects and needs complex approach.

- 102** SCIENCE NEWS

- 113** BOOK REVIEWS

- 118** THE RESULTS OF READERS' INQUEST
PRIRODA—1989. ANNUAL CONTENTS

ИЗВЛЕЧЬ УРОКИ ИЗ ТРАГЕДИИ

Ежегодно на земном шаре происходят сотни сильных землетрясений. По большей части они приходятся на малонаселенные территории и остаются незамеченными. Однако, если сильное землетрясение случается в индустриальном районе, вблизи большого города, оно неизбежно ведет к большим разрушениям, уносит сотни и тысячи жизней. Каждый год бывает по несколько таких катастрофических событий.

В сердцах всех советских людей, мировой общественности жива последняя сейсмическая катастрофа — Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г., унесшее десятки тысяч человеческих жизней. Извлечь уроки из этого трагического события — наша первоочередная задача.

Главная проблема, стоящая перед сейсмологами, — научиться предвидеть будущие катастрофы. Сейсмологи судят о будущем по прошлому, и весь огромный мировой опыт наблюдения за землетрясениями можно сконцентрировать теперь в оценках сейсмического риска для каждой конкретной территории. Вместе с тем Спитакское землетрясение подтолкнуло международное сообщество сейсмологов к объединению усилий для решения проблемы глобального контроля за современными геотектоническими процессами. Создается стандартизованная сеть сейсмических станций, формируется комплекс методов, необходимых для прогноза. Значительный вклад в решение этой проблемы вносят и советские ученые. Разрабатываемые ими методы долгосрочного прогноза позволяют определить место будущего сильного землетрясения и провести в этом районе подготовительные мероприятия, организовать детальные прогностические исследования. Но, к сожалению, эти возможности далеко не всегда реализуются на практике.

Ситуация усугубляется еще и тем, что каждое землетрясение и похоже, и не похоже на другие, поскольку происходит в своей, особенной тектонической обстановке. Хотя известны десятки эффектов, предшествующих землетрясениям, каждое сопровождается своим набором предвестников, чаще всего слабо выраженных. Поэтому основная стратегия прогноза — сделать надежный вывод из множества посылок, каждая из которых в отдельности недостаточно надежна. Но наряду с этим надо стремиться к самому детальному изучению строения сейсмоактивных районов, чтобы понять специфику формирования очагов в каждом из них и, соответственно, избрать оптимальную систему прогнозных наблюдений.

Программа, разработанная у нас в стране после Спитакского землетрясения, предусматривает контроль за геофизическими, геохимическими, деформационными и гидрогеологическими процессами, развитие специальной сети наблюдений во всех сейсмичных районах. Такую сеть намечено создать в течение ближайших лет, вобрав лучший мировой и отечественный научный опыт, используя лучшие технологии.

Спитакское землетрясение еще раз показало, что одним из важнейших вопросов является состояние сейсмостойкого строительства. Сильные землетрясения чаще всего происходят там, где они случались в историческом прошлом, поэтому силу будущего сейсмического толчка можно с той или иной вероятностью предвидеть. Можно рассчитать сейсмические нагрузки и постараться построить здания так, чтобы они выстояли при землетрясении. И все же риск повреждений при этом остается. Ведь дело не только в умении строить строго в соответствии с проектами, но и в правильной эксплуатации строений, в непрерывном геофизическом контроле. Решение этих вопросов зависит как от уровня развития науки и техники, так и от уровня общей культуры в самом широком смысле этого слова: от культуры изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации зданий и промышленных объектов, а также от ответственности всего общества и каждого отдельного человека за принятие решения.

Катастрофическое землетрясение в Армении вызвало брожение в умах. Тема спитакской трагедии вот уже много месяцев не сходит со страниц газет и журналов, с экранов телевизоров. Ученые и журналисты, люди самых разных профессий спорят о том, можно ли было предвидеть землетрясение заранее, предсказать не только место, но и время, предупредить людей. Иногда даже спрашивают, не произошло ли это землетрясение под влиянием каких-то внешних воздействий, не было ли инициировано взрывом. Спитакское землетрясение заставило обратиться и к более общим проблемам. Какова, например, вероятность сильных землетрясений для тех или иных территорий страны! Каким требованиям должно отвечать строительство в сейсмоопасных районах! Как рационально организовать медицинскую и психологическую помощь пострадавшим при землетрясениях! Какой должна быть система реагирования на стихийные бедствия, подобные землетрясению в Армении!

Все эти проблемы, многие из которых, впрочем, еще далеки от окончательного решения, обсуждаются в специальном номере «Природы», посвященном годовщине спитакской трагедии.

Н. П. Лаверов,
вице-президент АН СССР,
председатель Государственного
комитета СССР по науке и технике

В.Н.Страхов **К новой парадигме** **сейсмологии**



Владимир Николаевич Страхов, член-корреспондент АН СССР, директор Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Научная деятельность посвящена проблемам теории и практики интерпретации аномальных гравитационных и магнитных полей.

КАТАСТРОФИЧЕСКОЕ землетрясение в Армении высветило множество тяжелых проблем, накопившихся в разных сферах жизни нашего общества. С предельной остротой оно поставило и вопрос о состоянии прикладных и фундаментальных сейсмологических исследований.

Для прикладной сейсмологии, понимаемой прежде всего как служба режимных сейсмологических наблюдений, Спитакское землетрясение сыграло ту же роль, что в свое время печально знаменитое Цусимское сражение для Российской империи. Ясно, что здесь необходимы срочные, самые радикальные меры, о чем далее еще будет сказано.

Гораздо труднее охарактеризовать состояние фундаментальной сейсмологии, призванной дать оценку сейсмической опасности для каждого конкретного региона. Именно эта проблема оказалась в центре внимания общественности. В первые же дни после катастрофы на сейсмологов и других специалистов, с разных сторон изучающих землетрясения, обрушился поток вопросов: почему не предвидели? возможен ли прогноз таких катастроф? каковы вообще возможности современной науки в этой области? Вопросы не иссякли и поныне, а вдобавок посыпались различного рода предложения — как профессиональные, так и любительские — что же делать дальше, как развивать науку об оценке сейсмической опасности и прогнозе землетрясений, какие идеи и методы использовать. В этом горячем стремлении помочь специалистам видится высшее проявление гражданственного начала в советском человеке. Желанием как-то откликнуться на многочисленные вопросы и предложения и обусловлена отчасти данная попытка проанализировать состояние фундаментальной и прикладной сейсмологии.

1

Известный американский ученый Т. Кун в своей книге «Структура научных революций» ввел чрезвычайно емкие и важные

понятия: «парадигма» и «нормальная наука». Парадигма — это сложное многоплановое понятие, включающее:

а) крупное научное достижение, определяющее уровень понимания сущности явлений и пути дальнейшего развития данной области знания;

б) систему представлений о том, какие задачи надо решать и как их ставить и решать (так сказать, профессиональная ориентация ученых);

в) профессиональное сообщество ученых, исповедующих данную систему представлений.

Развитие науки, по Куну, состоит из фаз создания и смены парадигм (научные революции) и фаз развития науки в рамках определенной парадигмы (то, что Кун назвал нормальной наукой).

Поясним эти понятия на примере. До известных работ Л. Пастера в медицине преобладало эмпирическое начало, т. е. парадигма наблюдения симптомов болезней и действия тех или иных средств на течение болезней. Открытие Пастером возбудителей инфекционных болезней в корне изменило представление о причинах болезней, способах их изучения и лечения. Оно создало новую, в подлинном смысле научную, парадигму, и современную медицину в основном можно охарактеризовать как нормальную науку в рамках этой парадигмы.

Трудами классиков сейсмологии и геологии в науке об оценке сейсмической опасности создана парадигма, для которой характерны эмпирическое обобщение, логика ретроспективного анализа и аналогии. Так вот, современная сейсмология уже несколько десятилетий развивается как нормальная наука в рамках данной парадигмы.

Раскроем содержание этого утверждения. Землетрясения — одно из проявлений жизни той суперсложной механической системы, которой является тектоносфера Земли (толща от земной поверхности до глубины 600—700 км). Верхняя часть тектоносферы — земная кора (толща горных пород мощностью от 7—10 км в океанах до 50—60 км в области горных систем) — расчленена сложной системой разломов и состоит из блоков, относительно слабо связанных между собой. Каждый блок обычно включает более мелкие и более тесно связанные блоки, каждый из которых расчленен многочисленными трещинами, заполненными флюидами и газами. Земная кора постоянно напряжена: одни из блоков находятся в состоянии сжатия, другие — растяжения. Кроме того, в глубинных слоях коры имеются магматические очаги, вещество

которых пребывает в расплавленном и полурасплавленном состоянии.

Под влиянием различных факторов состояние земных недр меняется, и эти изменения, как правило, проявляются в различных формах на дневной поверхности. В настоящее время, когда число глубоких и сверхглубоких скважин мало, жизнь тектоносферы изучают в основном по ее проявлениям на поверхности Земли и в неглубоких скважинах. Важно также, что глубинные процессы обычно протекают крайне медленно и не заявляют о себе резкими изменениями величин, за которыми ведется наблюдение. Но в отдельных случаях состояние земных недр изменяется скачкообразно, и при этом высвобождается так много энергии, что происходят землетрясения. Принято считать, что землетрясения связаны с образованием разрывов в глубинах Земли или с движениями блоков земной коры по старым разрывам, именуемым разломами. Считается также, что разрывы возникают в те моменты, когда упругие или упруго-пластические напряжения достигают (в области, прилегающей к будущему разрыву) предельных значений.

Однако это лишь качественная схема. Строение тектоносферы Земли (ее структура и вещественный состав) и тем более напряженные состояния земных недр известны лишь приближенно. Ее поведение, если даже иметь в виду медленно протекающие процессы, также не выразить количественно. Нет математических соотношений, позволяющих установить, когда в том или ином объеме земных недр медленно текущие процессы прервутся скачкообразным изменением.

Вот это-то незнание структуры земных недр, ее вещественного состава, напряженного состояния и законов, управляющих изменениями состояния, заставило ученых — геологов и сейсмологов — в деле прогноза землетрясений идти по пути ретроспективного анализа наблюдаемых событий.

Дать прогноз землетрясения — это указать его место, силу и время. За последние 2,5—3 тыс. лет произошли десятки тысяч землетрясений. Прежде всего ученые стали изучать закономерности размещения фокусов бывших землетрясений и нашли, что подавляющее большинство их связано с глубинными разломами в земной коре. Однако не все разломы фиксируются фокусами прошедших землетрясений — так сформировались понятия об активных (живущих, сейсмогенных) и пассивных (мертвых, асейсмичных) разломах. Изучение закономерностей распределения землетрясений

привело к возникновению сейсморайонирования — научной дисциплины на стыке геологии и сейсмологии. Специалисты по сейсморайонированию оценивают возможность возникновения землетрясений на различных участках поверхности Земли и их предельную силу (в баллах). Эти данные кладутся в основу программ сейсмостойкого строительства.

Но хотя число происшедших землетрясений велико и ученым удается определять их место и силу не только в историческом, а и в геологическом прошлом (палеосейсмология), единодушия, единой общепризнанной методики оценки потенциальной сейсмической опасности пока нет. Одни специалисты склонны придавать решающее значение сейсмогенным разломам и предлагают сейсмическое районирование (и даже долгосрочный прогноз места и силы землетрясений) на основании изучения структур таких разломов. Другие же связывают сильную сейсмичность только с разломной тектоникой и базируются на корреляции сейсмичности с комплексом геологических и геофизических признаков, используя при этом формализованные методики распознавания образов. В целом же положение дел с сейсмическим районированием сейчас нельзя считать удовлетворительным, так как карта сейсморайонирования страны, составленная в конце 70-х годов и изданная в 1983 г., уже устарела, да и требования к подобным картам резко повысились.

Аналогично обстоит дело и с самым прогнозом землетрясений. Здесь главное значение придается разного рода предвестникам. Понятие предвестника целиком и полностью основывается на логике ретроспективного анализа. Суть дела такова. Допустим, мы непрерывно измеряем некоторый геофизический, геохимический или другой параметр в данной точке. Если в ее окрестности произошло землетрясение и было установлено, что в поведении параметра за некоторое время (обычно — недели, дни, часы) до землетрясения имели место необычно резкие изменения, то эти аномалии связывают с землетрясением и называют его предвестником. Если связь между землетрясениями и аномалиями параметра устойчива (подтверждена многократно), то предвестник можно использовать для предсказания будущих землетрясений. Иными словами, если вдруг проявилось аномальное поведение физического параметра, аналогичное тому, что имело место перед землетрясением, есть основание для предсказания землетрясения в ближайшее время (недели, дни, часы). Таким образом, идеоло-

гия краткосрочного прогноза — эмпирическое обобщение, ретроспективный анализ и аналогия. Количественной физико-математической теории здесь нет.

К сожалению, по-настоящему устойчивые предвестники землетрясений пока не выделены. Поэтому сейсмологи пытаются использовать кибернетический подход к решению задачи краткосрочного прогноза — построить надежное целое из множества ненадежных элементов. В частности, оглядываясь на прошедшие события, ищут возможные предвестники в различных геофизических полях: в изменениях уровня воды и состава растворов в скважинах, состава выделяемых газов и т. д. Кроме того, пытаются использовать эти предвестники комплексно. Конечно, действительно большой науки в этом пока нет, чем и объясняется отсутствие полностью оправдавшихся краткосрочных прогнозов.

Если говорить о надежности, то промежуточное положение между сейсморайонированием и краткосрочным прогнозом занимают долгосрочный (несколько лет) и среднесрочный (менее года) прогнозы. При их составлении ученые опираются на сумму данных о строении земных недр и известных из прошлого сейсмических событиях — здесь и разломная тектоника района, и напряженное состояние блоков земной коры, и периодичность повторения землетрясений, и сейсмический режим в целом, и эмпирически установленные факты снижения сейсмической активности перед сильными землетрясениями (так называемые сейсмические бреши). Но и в случае долгосрочного и среднесрочного прогноза суждения также выносятся методом аналогии. При этом большинство выводов делается не на количественном, а на сугубо качественном уровне, ибо, повторим, количественные законы пока неизвестны.

В последние годы наметился новый подход к проблеме прогноза, основанный на учете космических факторов, влияющих на эволюцию земных процессов. Сам по себе он представляется вполне законным, однако здесь все зиждется на весьма неопределенных корреляциях и соображениях общего характера, короче говоря — на гипотезах. Поэтому выдвигать его на первый план, как это иногда делается, и тем более считать достоверным пока нет оснований.

Таким образом, в настоящее время в сейсмологии господствует парадигма эмпирического обобщения, ретроспективного анализа и аналогии. Однако эмпирическое обобщение — необходимое, но, увы, не достаточное основание для уверенного

прогноза. Вся беда в том, что в данном случае отсутствует главный фактор, определяющий лицо других наук (физики, химии, биологии и т. д.), — активный эксперимент.

II

Видимо, читателю уже ясно, что парадигма, господствующая в современной сейсмологии, по существу аналогична той, которая доминировала в медицине до Пастера. Наблюдательная (эмпирическая) медицина часто и с успехом лечила многие хронические болезни, но была совершенно бессильна перед тяжелыми инфекционными заболеваниями — чумой, холерой, сыпным тифом, туберкулезом и т. д. Так и господствующая в современной сейсмологии парадигма позволяет достаточно надежно оценивать потенциальную сейсмическую опасность, но, как правило, не в состоянии точно предсказывать такие события, как разрушительные землетрясения. Однако здесь есть одно «но» — многое определяется степенью нашей осведомленности о строении тектоносферы Земли (и прежде всего земной коры), а также разветвленностью наблюдательной сети, т. е. объемом информации об эволюции механической системы во времени. В принципе даже нынешняя парадигма может обеспечить гораздо более точный прогноз землетрясений, если лучше будет изучено строение земной коры в сейсмоопасных регионах, если в стране будет создана современная наблюдательная сеть.

Последнее представляется особенно важным. Хотя и сейчас сейсмологических обсерваторий и других пунктов наблюдения не так уж мало (около 400), но они в основном оснащены совершенно устаревшей аппаратурой. Самое же главное заключается в том, что система оперативного сбора и переработки прогностической информации в стране отсутствует — результаты наблюдений обрабатываются с запозданием от нескольких суток до нескольких недель. Правда, исправно функционирует служба срочных донесений о произошедших, даже довольно слабых, событиях, но от этого, как говорится, не легче... Не менее печален и тот факт, что практически отсутствуют методы комплексной обработки прогностической информации на ЭВМ.

Итак, современной системы сейсмических наблюдений в стране нет, ее еще предстоит создавать. В кратчайшие сроки необходимо сделать следующее:

развернуть серийное производство современной сейсмологической и другой геофизической и геохимической аппаратуры;

коренным образом модернизировать, а частично построить и оснастить заново, сеть автоматизированных наблюдательных пунктов, причем не только цифровой регистрирующей аппаратурой, но и средствами первичной обработки и телеметрической передачи информации;

наладить оперативный сбор и передачу прогностической информации из наблюдательных пунктов в центры ее обработки, желательно на основе спутниковой связи;

создать центры обработки данных, оснащенные мощной вычислительной техникой, не только на республиканском и региональном, но и на общесоюзном уровнях (только общесоюзный центр позволит делать обобщения для страны в целом с учетом метеорологических и иных факторов);

разработать алгоритмы комплексной обработки прогностической информации на ЭВМ, а также экспертные системы, обеспечивающие принятие решения по вопросам сейсмической опасности и прогнозу землетрясений в кратчайшие сроки и на строго научной основе.

Необходим также огромный объем исследований по изучению строения земной коры геологическими, геофизическими, геохимическими и другими методами на колоссальной по площади территории сейсмоопасных районов, включающей Молдавию, Крым, Кавказ, Среднюю Азию, значительную часть Сибири и Дальнего Востока.

Пока в стране не развернута современная наблюдательная система, эффективное решение проблемы прогноза землетрясений невозможно. Это надо четко понимать. И хотя создание такой системы будет стоить дорого и потребует громадного труда, сделать это необходимо, имея в виду не только огромность человеческих жертв и материальный ущерб от землетрясений, но и значимость психологического фактора.

Обсуждая неизбежные при этом затраты труда и материальных ресурсов, надо понимать, что на территории СССР разрушительные землетрясения происходят примерно 2 раза в год и что с начала века их произошло более 180 (по счастью, многие — в малонаселенных районах); что с 1948 по 1988 г. (от Ашхабадского землетрясения до Спитакского) от землетрясений в стране погибло около 150 тыс. человек, а материальный ущерб составил свыше 25 млрд руб.; что в последние годы суммарные потери составляют в среднем около 2 млрд руб. ежегодно; что с ростом городов и увеличением числа таких объектов, как высотные плотины, атомные электростанции

и т. п., сейсмическая опасность резко возрастает.

Поэтому затраты на современную наблюдательную сеть, оцениваемые примерно в 1,5 млрд руб., не выглядят чрезмерными. При эффективной кооперации науки и промышленности ее можно создать за 6—8 лет.

III

Выше отмечалось, что создание современной наблюдательной системы — необходимое, хотя и не всегда достаточное условие для прогноза землетрясений. Но что же тогда может играть роль достаточного условия? Ответ очевиден — становление принципиально новой парадигмы в данной области науки. Здесь опять-таки напрашивается сравнение с медициной — как парадигма наблюдательной медицины сменилась парадигмой, основанной на научной теории инфекционных заболеваний, так и господствующая в сейсмологии парадигма эмпирического обобщения, ретроспективного анализа и аналогии должна смениться парадигмой, основанной на знании количественных законов, описывающих динамику земной коры и всей тектоносферы Земли. Создание же новой парадигмы, как мы знаем из прошлого, возможно двумя путями: либо появляется один из гениев, о которых П. Беранже писал:

Если б завтра Земле нашей путь
Осветить наше Солнце забыло,
Завтра целый бы мир осветила
Мысль безумца какого-нибудь...

(к таким «безумцам» можно отнести И. Ньютона, Ч. Дарвина, Л. Пастера, А. Пуанкаре, А. Эйнштейна), либо целенаправленно осуществляется развитие фундаментальных научных исследований в данной области.

Поскольку рождение гения — событие куда более редкое, чем разрушительное землетрясение, то реальнее, на мой взгляд, второй путь.

При этом развитие фундаментальных исследований, как показывает опыт, нельзя отождествлять с составлением приоритетных общесоюзных научных программ, координацией работ множества институтов и учреждений, с простым увеличением объемов финансирования и т. п. Нельзя забывать, что и у нас действуют общемировые законы: число людей, занятых в науке, растет быстрее, чем квадрат числа высококвалифицированных ученых; трудности управления системой растут быстрее, чем квадрат числа связей в ней. Поэтому уровень фундамен-

тальных исследований, скорость их проведения и отдача от них определяются не числом занятых решением проблемы институтов (а их только в АН СССР и республиканских академиях насчитывается около 20), не количеством работающих в них сотрудников, фондом заработной платы и т. д., а прежде всего уровнем инструментальной и лабораторной базы, оснащенностью вычислительной техникой и условиями труда ведущих ученых (вплоть до их загруженности административной и общественной работой).

В этом смысле состояние фундаментальных исследований по проблемам оценки сейсмической опасности и прогнозу землетрясений совершенно неудовлетворительно. Например, в Институте физики Земли АН СССР — ведущем в стране в данной области науки — на одного сотрудника приходится в среднем 2,9 м² производственной площади. Специализированное конструкторское бюро оснащено на уровне 50-х годов, далеко не каждая лаборатория имеет вычислительную технику (персональные компьютеры, мини-ЭВМ), а мощный ЭВМ в институте вообще нет. Об уровне лабораторной базы лучше совсем не говорить. Аналогичная картина и в других институтах этого профиля. Ясно, что производственное бытие ученых во многом определяет их отдачу, и, следовательно, темпы решения самых насущных проблем оказываются крайне низкими.

Итак, необходимое условие прогресса, эффективности фундаментальных исследований — коренное техническое перевооружение фундаментальной науки. Что же касается главных направлений исследований в этой области, то я бы выделил четыре.

Первое — разработка единой методики сейсмического районирования (включая микросейсморайонирование), что позволит поднять сейсмостойкое строительство на более высокий научный уровень.

Второе — создание новых автоматизированных методов обработки и интерпретации комплексных прогностических данных, получаемых наблюдательной сетью (не безнадёжно устаревшей нынешней, а будущей), формирование современных экспертных систем.

Третье — резкое увеличение объема геолого-структурных работ, направленных на изучение глубинного строения сейсмичных регионов и особенностей тектонических процессов в этих регионах.

Четвертое — построение количественных физико-математических моделей эволюции тектоносферы Земли. Здесь в первую очередь необходимы исследования по гео-

механике сложенноструктурированных трещиноватых и пористых сред, изучение их напряженного состояния и т. д.

Первые три направления — это, по существу, исследования в духе господствующей парадигмы, направленные на ее усовершенствование. Они должны привести к достаточно быстрой практической отдаче, ибо в повестке дня — создание новой карты сейсмического районирования СССР и обработка материалов прогностической наблюдательной сети. Третье же направление — путь к новой парадигме, опирающейся на познание тех законов, которые управляют жизнью тектоносферы. Без этого предвидеть землетрясения невозможно.

IV

Нельзя не упомянуть о трех немаловажных проблемах чисто психологического плана.

Первая из них — психологический климат среди ученых, занимающихся вопросами оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений. Естественно ожидать, что сам гуманный характер стоящих перед ними задач должен был бы сплачивать их. На самом деле ничего подобного нет — специалисты разбились на ряд соперничающих группировок, занятых бесконечной неконструктивной критикой и взаимными обвинениями, и если в публичных выступлениях политес еще как-то соблюдается, то в кулуарах страсти переходят все мыслимые границы... Так что оздоровление психологического климата в среде ученых-сейсмологов — одна из первейших задач, решить которую, как мне кажется, можно, только используя общественное воздействие.

Вторая проблема — помощь науке со стороны промышленных министерств. Очевидно, что создать современную наблюдательную сеть можно только при их заинтересованности и активном участии. Это касается и серийного производства сейсмологической, геофизической и другой прогностической аппаратуры, и организации сбора и переработки информации, и многого другого. Казалось бы, важность проблемы и ее прямая связь с сохранением обще-

человеческих ценностей должны обеспечить единодушное и бескорыстное участие всех промышленных министерств и ведомств в решении возникающих задач. Увы, в действительности мы сталкиваемся с примитивным желанием получить крупный заказ, оттолкнуть конкурентов и т. д. Все это сильно вредит делу, и здесь также нужно вмешательство общественности.

Наконец, третья проблема — моральная ответственность всех пишущих в разные инстанции и дающих советы по поводу прогноза землетрясений. Тяжесть разбора всех этих непродуманных предложений ложится в конечном счете на небольшое число высококвалифицированных ученых, занятых не только решением конкретных дел, в частности по Армении, но и выработкой генеральных направлений будущих работ. Это обстоятельство неплохо бы иметь в виду всем действительно заинтересованным в решении труднейшей научной проблемы прогноза землетрясений.

В заключение еще раз повторю четыре важнейших, на мой взгляд, тезиса.

Состояние мировой науки по вопросам сейсмической опасности и прогнозу землетрясений таково, что регулярный краткосрочный прогноз невозможен (он неосуществим в рамках существующей парадигмы, тем более у нас — на архаической наблюдательной основе).

Необходимым (хотя и недостаточным) условием радикального изменения существующего положения дел является создание современной наблюдательной сети.

Достаточным условием успешного прогноза должно стать широкое развитие фундаментальных исследований, которое, по существу, немыслимо без коренного технического перевооружения существующих академических институтов.

Прогресс в области прогноза землетрясений и вообще снижение сейсмической опасности возможны лишь при высоком чувстве ответственности специалистов-сейсмологов и всех тех, кто так или иначе обеспечивает безопасность людей.

В.И.Кейлис-Борок

ДИНАМИКА ЛИТОСФЕРЫ И ПРОГНОЗ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ



Владимир Исаакович Кейлис-Борок, академик, заведующий отделом вычислительной геофизики Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР, президент Международного союза геодезии и геофизики. Научные интересы связаны с тематической геофизикой и прикладной математикой, в последние годы с теоретическим моделированием динамики литосферы и поиском методов прогнозирования землетрясений.

СОВРЕМЕННАЯ цивилизация становится все более уязвима по отношению к землетрясениям из-за демографического взрыва, разрушения грунта в крупных городах и распространения объектов повышенного риска (АЭС, больших плотин, хранилищ токсических материалов и т. п.). Сейсмически опасными становятся многие города, где землетрясения раньше вызывали лишь звон колоколов и дрожание стекол. Сильное землетрясение может унести до миллиона жизней, причинить экономический ущерб в сотни миллиардов рублей, не говоря о цепной реакции экономических последствий, и дестабилизировать общественный порядок на большой территории.

Соответственно растет и значение прогноза землетрясений. В этой области развернуты интенсивные, хотя и несколько хаотичные исследования. Тем не менее непредсказанные сильные землетрясения происходят даже в районах, насыщенных регистрирующей и вычислительной техникой. Надежду изменить состояние дел к лучшему вселяют общие современные тенденции наук о Земле: их интеграция, глобальный охват изучаемых явлений и появление новой теоретической базы — нелинейной динамики.

Землетрясения возникают в процессе динамического взаимодействия литосферных блоков. Оно контролируется рядом механизмов, приводящих к развитию неустойчивости: химическим разупрочнением (эффект Ребиндера); фильтрацией флюидов; фазовыми и петрохимическими переходами; возникновением трещин, смятием, потоком тепла и др. В сумме эти механизмы превращают литосферу в нелинейную систему с характерными проявлениями детерминистского хаоса, выраженного и в потоке землетрясений.

Сглаживая труднопредсказуемые хаотические компоненты этого потока, удастся выделить в нем признаки приближения сильного землетрясения. Эти признаки оказываются подобными для землетрясений,

происходящих в весьма разных по сейсмостектонике регионах и различающихся по энергии на 6 порядков.¹ Исходя из комбинации этих признаков, можно определить периоды повышенной вероятности (ППВ) сильного землетрясения длительностью в годы для областей диаметром в сотни километров. Такие предсказания, несмотря на невысокую точность, представляют интерес не только для поиска методов более детального прогноза, но и для принятия многих важных (хотя далеко не всех необходимых) мер по защите от землетрясений. Значение этих мер подчеркивается трагедией в Армении 7 декабря 1988 г.

МЕХАНИЗМЫ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ЛИТОСФЕРЕ

Литосфера — это внешняя оболочка твердой Земли толщиной от нескольких километров близ срединно-океанических хребтов до сотен километров в древних щитах. Она покрывает менее жесткую, частично расплавленную астеносферу.

Литосфера сложена из блоков, движущихся друг относительно друга. Самые крупные блоки имеют масштаб континентов, их линейные размеры — порядка 10 тыс. км. Они делятся на менее крупные блоки, а те, в свою очередь, на еще более мелкие, и за 15—20 делений мы приходим к зернам горных пород размером в миллиметры и меньше. Между блоками лежат относительно тонкие и менее прочные пограничные слои; для крупных блоков это зоны разломов. В пограничных слоях можно увидеть аналогичную иерархию — они также состоят из блоков, разделенных разломами, и т. п. В сейсмически активных районах значительная часть относительного движения блоков реализуется землетрясениями.

При математическом моделировании литосферы пограничным слоям долгое время отводилась пассивная роль: считалось, что они связывают блоки силами трения и сцепления, разрушаются в процессе движения и, видимо, как-то залечиваются, поскольку еще не превратились в пыль. Это правда, но не вся правда. Трение и сцепление между блоками литосферы, в свою очередь, зависят от многочисленных процессов, сосредоточенных в основном в пограничных

слоях. Многие процессы такого рода, связанные с воздействием флюидов, давно изучаются в геологии и геохимии (школами Д. С. Коржинского, В. А. Жарикова, П. А. Ребиндера, Н. В. Черского), но их роль в возникновении землетрясений долго не получала должного внимания. Опишем подробнее два таких процесса.

Эффект Ребиндера — разупрочнение твердого вещества при контакте со специфической для него поверхностно-активной жидкостью. Жидкость снижает поверхностное натяжение твердого вещества и, тем самым, его прочность. Комбинации твердых веществ и разупрочняющих их флюидов обнаружены среди обычных ингредиентов литосферы — например, базальт и сульфидный раствор².

Если в твердом теле действуют механические напряжения, то при разупрочнении в нем образуются микротрещины, жидкость в них проникает и трещины растут. Этот механизм требует для разрушения материала намного меньше энергии, чем прямое механическое разрушение, — легче отпереть дверь, чем взломать ее. Трещины и тем самым пути миграции капель флюида ортогональны максимальным растягивающим напряжениям, так что их геометрия может быть так же разнообразна, как поле напряжений. Строго ограничены, однако, возможные конфигурации зоны концентрации трещин, т. е. зоны разупрочнения³. Основные типы этих конфигураций определяются теорией сингулярности векторных полей. Подверженный напряжению массив горных пород разбивается на области, различающиеся характерной конфигурацией траекторий. Эти области разделены так называемыми сепаратрисами.

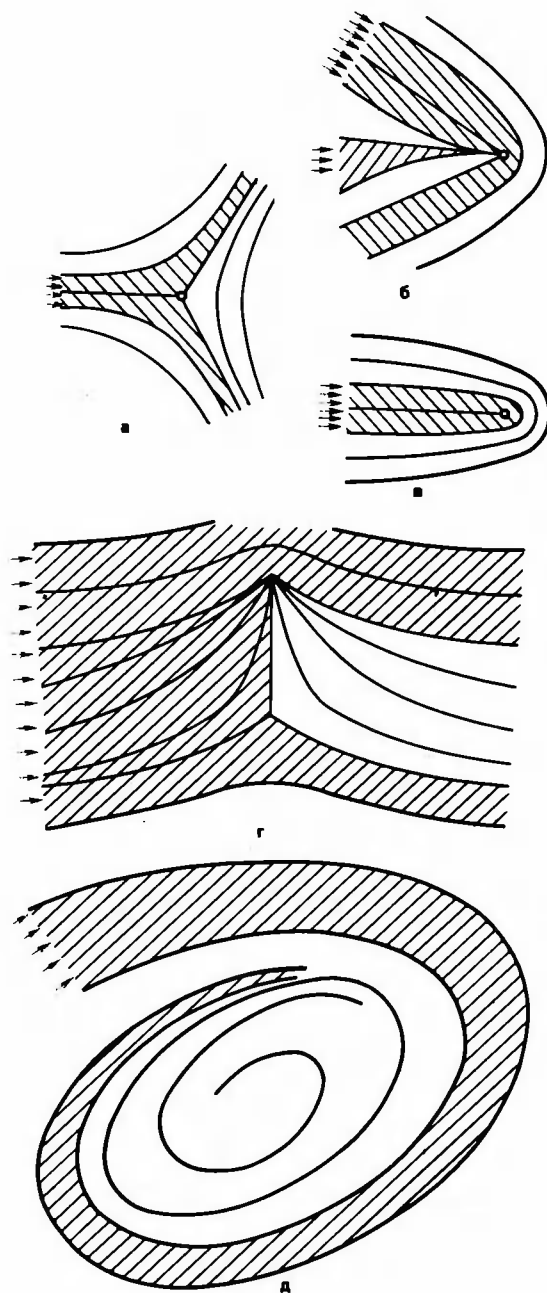
Прочность материала в зоне разупрочнения может быстро снизиться на порядок, а через достаточно большое время — еще на 4 порядка. Смещение источника флюида через сепаратрису меняет место и форму областей разупрочнения.

Таким образом, эффект Ребиндера вносит в динамику литосферы сильную и специфическую неустойчивость и мог бы объяснить ряд загадок, в том числе эмпирические предвестники землетрясений: соче-

² Перцов Н. В., Коган Б. С. Физико-химическая геомеханика // Физико-химическая механика и липфильность дисперсных систем. Киев, 1981. С. 53—64.

³ Габриэлов А. М., Кейлис-Борок В. И. Геометрия поля главных напряжений: траектории разупрочнения, обусловленного эффектом Ребиндера // Логические и вычислительные методы в сейсмологии. М., 1984. С. 17—25. (Вычислительная сейсмология. Вып. 17.)

¹ Дмитриева О. Е., Кейлис-Борок В. И., Кособоков В. Г. и др. Диагностика периодов повышенной вероятности сильных землетрясений в сейсмоопасных регионах СССР и ряда других стран // Численное моделирование и анализ геофизических процессов. М., 1987. С. 99—110. (Вычислительная сейсмология. Вып. 20.)



Геометрия разупрочнения, вызванного эффектом Ребиндера. Источник поверхностно-антиных флюидов обозначен стрелками; зона, в которой происходит потеря прочности, заштрихована. Рисунки а, б, в соответствуют различным типам сингулярности главного поля напряжений, г — двум сингулярностям типа а, д — предельному циклу. Прочность материала в зоне разупрочнения может быстро снизиться на порядок, а через достаточно большое время — еще на 4 порядка.

тание сейсмического затишья и активизации; кольца активизации вокруг готовящегося очага; рои землетрясений и др. Однако это объяснение было бы преждевременным. Естественная неоднородность поля напряжений может помешать таким конфигурациям достичь размера в десятки и сотни километров, соответствующего предвестникам землетрясений. Скорее всего эти области — только элементы, из которых складываются крупные зоны разупрочнения. И главное, есть другие не менее сильные механизмы неустойчивости. Один из них — фильтрация флюидов вдоль градиента давления.

Рассмотрим пористый слой, моделирующий зону разломов. Когда касательные напряжения на границе слоя превысят порог прочности, начнется скольжение. Если пористость достаточно мала, трение будет расти с увеличением скорости скольжения. Но если пористость превышает критический порог, проскальзывание будет ослаблять трение (в связи с разрушением твердого скелета породы) и скорость скольжения станет расти. Пористость может повыситься из-за притока самого флюида. Значит, опять-таки миграция флюидов способна быстро дестабилизировать зону разлома.

Скорость фильтрации растет с давлением. Поэтому если в массиве есть карман остаточной жидкости, то он будет пройден и дестабилизирован быстро — это и есть очаг землетрясения в данной модели. Такая фильтрация флюидов может объяснить те же предвестники землетрясений, что эффект Ребиндера, и вдобавок наблюдаемую скорость миграции сейсмичности и квазипериодичность землетрясений⁴. Но снова нет достаточных оснований предпочесть именно эту модель.

ЗАДАЧА СИНТЕЗА

В зонах разломов есть много других механизмов неустойчивости, столь же сильных и причудливых — например, распад серпентинита с выделением воды; переход кальцита в арагонит с потерей объема; локализация деформаций, исследованная школой Е. И. Шемякина; более традиционные механические процессы — растрескивание, ползучесть, смятие и др. Боль-

⁴ Баренблатт Г. И., Кейлис-Борок В. И., Монин А. С. // Доклады АН СССР, 1983. Т. 269. № 4. С. 831—834; Вилькович Е. В., Шнирман М. Г. Волны миграции эпицентров (примеры и модели) // Математические модели строения Земли и прогноз землетрясений. М., 1983. С. 27—37.

шинство из перечисленных механизмов сильно зависит от потоков тепла.

Таким образом, если энергия литосферы рассредоточена во всем ее объеме, то освобождение этой энергии, а тем самым динамика литосферы, включая и возникновение землетрясений, определяется процессами, протекающими в относительно тонких переходных слоях (зонах разломов) под действием ряда взаимосвязанных механизмов. Каждый из механизмов создает неустойчивость; ни один нельзя считать главным, пренебрегая остальными.

Для прогноза землетрясений необходимо получить описание всей совокупности процессов, о которых шла речь выше. Как построить такое описание с учетом иерархической структуры литосферы — важнейшего фактора ее динамики? Пытаться составить для этого полную систему уравнений представляется нереальным и, более того, неплюдовитым из-за эффекта супераддитивности (целое больше суммы его частей). Кажется перспективнее сразу искать модель, синтетически воспроизводящую основные черты динамики литосферы и, соответственно, потока землетрясений.

Однако задача синтеза (и, тем самым, осреднения) для динамики литосферы ставится необычно. Здесь нет традиционных для таких задач исходных положений — ни простых элементов, ни адекватных уравнений, определяющих их взаимодействие. Даже простейший элемент литосферы — зерно горной породы — одновременно может вести себя как механическое тело, источник или поглотитель воды, объема и энергии, агрегат кристаллов и играть многие другие роли, при которых его объем и поверхность участвуют в весьма различных процессах. Таким образом, чтобы описать динамику литосферы, необходимо осреднять не механические элементы, а процессы.

Даже для чисто механических явлений в литосфере осреднение затрудняется тем, что в ней есть разрывы, по-видимому с фрактальной геометрией. Думаю, ее формальное описание будет называться механикой уже не сплошной, а почти всюду сплошной или даже фрактальной среды.

Традиционные модели литосферы основаны на механике сплошной среды с различной реологией. Такие модели успешно используются за пределами их формальной применимости с помощью введения «эффективных» параметров (например, микротрещиноватость представляется как уменьшение модулей упругости). На счету этого подхода немало успехов. Однако в масштабе времени, соответствующем

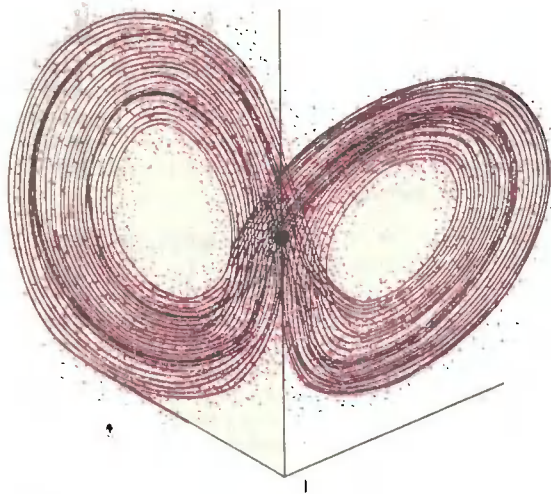
проблеме прогноза землетрясений (годы и меньше), он не применим к совокупности перечисленных выше механизмов неустойчивости, даже если понимать параметры среды в некотором пиквическом смысле. Поиск обобщенной осредненной модели заставляет обратиться к концепции детерминистского хаоса.

ХАОС И ПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Хаос возникает в детерминистских, т. е. свободных от случайных компонентов системах, если они обладают специфической неустойчивостью: влияние слабого возмущения со временем не затухает, а экспоненциально растет. Это свойство многих нелинейных систем. Простейший пример — бильярд. Благодаря выпуклости шаров слабая вариация в направлении исходного толчка будет увеличиваться от столкновения к столкновению. Если борта стола вогнуты внутрь, такая неустойчивость проявляется в движении даже единственного шара, и притом сведенного к материальной точке («бильярд Синая»).

Эта система вполне детерминирована — законы Ньютона полностью определяют траектории всех шаров, и на достаточно короткие периоды времени их можно предсказать. Тем не менее описать ее поведение в далеком будущем нельзя — потребовалась бы абсурдная точность начальных данных (со временем станет заметно влияние возмущения, сравнимого с гравитационным эффектом электрона — что, конечно, есть просто экзотическое описание экспоненциального роста). Тщетны были бы попытки разобраться в таком хаотическом поведении, изучая систему с большей детальностью, даже с электронными микроскопами и суперкомпьютерами. Но, говоря словами Шекспира, если это и безумие, то в своем роде последовательное: в таком хаосе есть ряд интегральных закономерностей — средняя частота столкновений, вероятность попадания траектории в данную площадку и др.

Классический пример закономерности в хаотическом процессе дан в знаменитой работе Э. Лоренца о термической конвекции в атмосфере. Состояние конвективной ячейки можно приближенно описать тремя функциями времени, характеризующими интенсивность конвекционного потока, вертикальный и горизонтальный градиенты температуры. Иными словами, состояние системы в данный момент времени можно определить как точку в пространстве, где по осям координат отложены значения этих



Странный аттрактор Лоренца. Цветными точками в 3-мерном фазовом пространстве обозначены 10 000 разных состояний конвективной ячейки, в которую она может перейти за 0,2 с из такого же количества разных исходных состояний, настолько близких, что они сливаются на рисунке в один черный кружок. С течением времени эти точки все ближе группируются вокруг аттрактора — сложной фигуры из множества линий. [По: Crutchfield J. P. et al. // *Scient. Amer.* 1986. № 12. P. 38—49.]

трех функций (фазовом пространстве). Эволюция системы во времени задается траекторией движения этой точки. Микроскопические возмущения и здесь ведут к макроскопическим, растущим во времени последствиям. Это еще один пример детерминистского хаоса. Однако здесь существует ярко выраженная закономерность; все траектории постепенно стягиваются к некоторой области фазового пространства, называемой странным аттрактором.

Линейные системы тоже имеют аттракторы, но лишь двух гораздо более простых типов: точка (неподвижное состояние) или петля (периодическое колебание) Аттрактор Лоренца, о котором идет речь, имеет структуру Канторова множества. Рассматривая часть аттрактора в микроскоп, мы увидим рисунок, подобный этой части в целом; увеличив часть этой малой части, обнаружим тот же рисунок и так до бесконечности. В нелинейных системах встречено большое разнообразие странных аттракторов, но их общей теории пока нет.

Поведение нелинейных систем имеет много других особенностей, неожиданных для интуиции, воспитанной на линейных представлениях: внезапная смена типа движений, переход из хаотического состояния в упорядоченное и обратно при изменении

параметров и др. Но нас в первую очередь интересует предсказуемость поведения хаотических систем. Для обсуждения этого вопроса вернемся к термической конвекции.

С абсолютной достоверностью можно утверждать, что конвективная ячейка со временем сколь угодно близко приблизится к аттрактору Лоренца и будет эволюционировать вдоль одной из входящих в него траекторий. Но вдоль какой именно, предсказать невозможно — вероятность выхода на любую заданную точку равна нулю, и даже времена перехода с одной ветви на другую распределены случайно. Прошлое и настоящее не определяют будущее хаотической системы. Описывающие ее в целом уравнения в принципе невозможно вывести из поведения ее элементарных составляющих. Поэтому естественные, казалось бы, и нередкие попытки понять хаотическую систему, разобрав ее на части, остаются безрезультатными.

Но все же некоторые особенности поведения хаотической системы удастся предсказать — правда, с конечной точностью и в пределах ограниченного срока. Например, по резкому изгибу траектории можно предвидеть в ближайшем будущем переход на другую петлю аттрактора Лоренца. Время перехода действительно совершенно случайно, однако сам переход представляет собой не мгновенный скачок, а короткий процесс, начинающийся с такого изгиба. С поиском подобного рода сценариев развития сильных землетрясений можно связывать одну из надежд на их краткосрочный прогноз.

Другая надежда связана с тем, что в отличие от модели, изученной Лоренцом, литосфера обладает иерархией. Поведение иерархической системы с детерминистским хаосом в некоторых случаях может быть предсказано ценой его сглаживания (осреднения) — иначе говоря, ценой потери деталей. Чем сильнее степень сглаживания, тем больше пространственный и временной масштабы, для которых возможен надежный прогноз.

Следовательно, при изучении динамики литосферы необходимо найти максимально сглаженное описание протекающих процессов, в котором, однако, были бы сохранены интересующие нас эффекты. «Сглаженность» означает, что описание дается небольшим числом интегральных характеристик.

Первые шаги в этом направлении поневоле носят феноменологический характер: проблема пока находится в той начальной

стадии, в которой было изучение гравитации до Кеплера.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Сказанное выше может относиться к динамике литосферы в разных пространственно-временных масштабах. Не исключено, что всю геологическую историю Земли можно представить как цепь эпизодов потери устойчивости. Мы ограничимся здесь масштабом, относящимся к среднесрочному прогнозу землетрясений, — это сотни километров и годы.

Непосредственно связанные с прогнозом поля — напряжений, деформаций и прочности — поддаются прямым измерениям лишь в очень малой приповерхностной части литосферы. При поиске интегральных эмпирических закономерностей приходится рассматривать ее как «черный ящик», который ежегодно генерирует по всему миру порядка 10^6 землетрясений (считая от магнитуды 2), в том числе порядка 10^2 разрушительных. Мы будем искать во всем потоке землетрясений данной территории признаки сильного землетрясения.

Даже в пределах одного региона эти признаки могут быть весьма разными по многим причинам: пространственные неоднородности литосферы; изменчивость полей напряжений и прочности во времени — в том числе и в результате самих землетрясений; наконец, хаотический характер динамики литосферы. Тем не менее мы ищем способы определения ППВ, применимые не только в одном регионе на протяжении длительного периода времени, но и в разных регионах мира. В соответствии со сказанным выше о предсказуемости хаотических процессов мы надеемся, что это противоречие удастся разрешить сглаживанием: мы ищем интегральные проявления динамики литосферы, в которых сглажены индивидуальные, но сохранены общие особенности приближения сильных землетрясений. Такой подход заставляет отказаться от понятия «предвестник» и ориентирует на обнаружение комплекса явлений, каждое из которых в отдельности может быть недостаточно информативным для прогноза.

Для поиска закономерностей, общих в разных регионах, приходится ввести дополнительную гипотезу о том, что сглаженные характеристики процессов, приводящих к сильным землетрясениям, имеют одинаковый вид в разных сеймотектонических условиях. В отсутствие количественной модели возникновения землетрясений обосновать

эту гипотезу трудно. Но мы вынуждены ее испытать, так как необходимый для эмпирического анализа объем материала можно набрать только в глобальном масштабе.

Общая схема обнаружения ППВ такова. В скользящих временных «окнах» рассматриваются поля, потенциально информативные для прогноза. Эти поля характеризуются некоторыми функциями времени, отнесенными к общему концу временных окон. По комбинации значений этих функций и диагностируется ППВ. Эта схема может быть опробована для анализа любых явлений, гипотетически отражающих приближение сильного землетрясения. До сих пор она применялась к наиболее полной и доступной группе данных — общему потоку землетрясений на рассматриваемой территории.

Проблема прогноза землетрясений ставится как последовательное, постадийное сужение пространственно-временной области, в пределах которой следует ожидать сильного землетрясения. Здесь рассматривается одна из стадий (выделение которой несколько условно): периоды повышенной вероятности сильного землетрясения диагностируются для территорий диаметром в несколько раз больше линейных размеров возможного очага и для интервала времени в несколько лет.

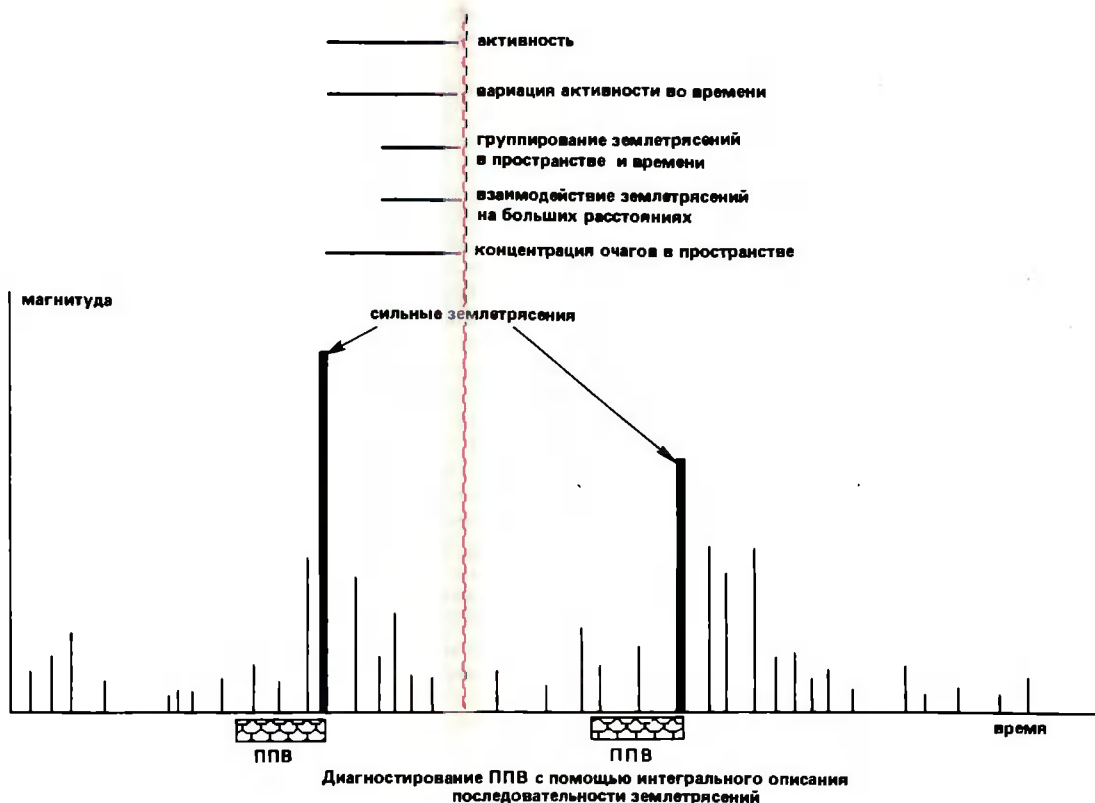
Для диагностики ППВ предложены два алгоритма: один⁵ адаптирован к прогнозу землетрясений в Калифорнии и Неваде с магнитудой $M \geq 6,4$; второй⁶ — к прогнозу сильнейших землетрясений мира с $M \geq 8$. Соответственно эти алгоритмы названы КН и М8.

Грубо говоря, ППВ диагностируется, если интенсивность потока землетрясений достаточно велика и продолжает расти, причем увеличились также временные вариации этого потока, его контрастность в пространстве и пространственно-временное группирование («роистость») землетрясений.

О каждом из алгоритмов можно утверждать следующее: рассмотренные при его разработке сильные землетрясения в большинстве случаев предварялись ситуациями, которые этот алгоритм диагности-

⁵ Аллен К., Кейлис-Борок В. И., Кузнецов И. В. и др. Долгосрочный прогноз землетрясений и автомодельность сейсмических предвестников. Калифорния, $M \geq 6,4$; $M \geq 7$ // Достижения и проблемы современной геофизики. М., 1984. С. 152—165.

⁶ Кейлис-Борок В. И., Кособоков В. Г. Периоды повышенной вероятности возникновения сильнейших землетрясений мира // Математические методы в сейсмологии и геодинимике. М., 1986. С. 48—58. (Вычислительная сейсмология. Вып. 19.)



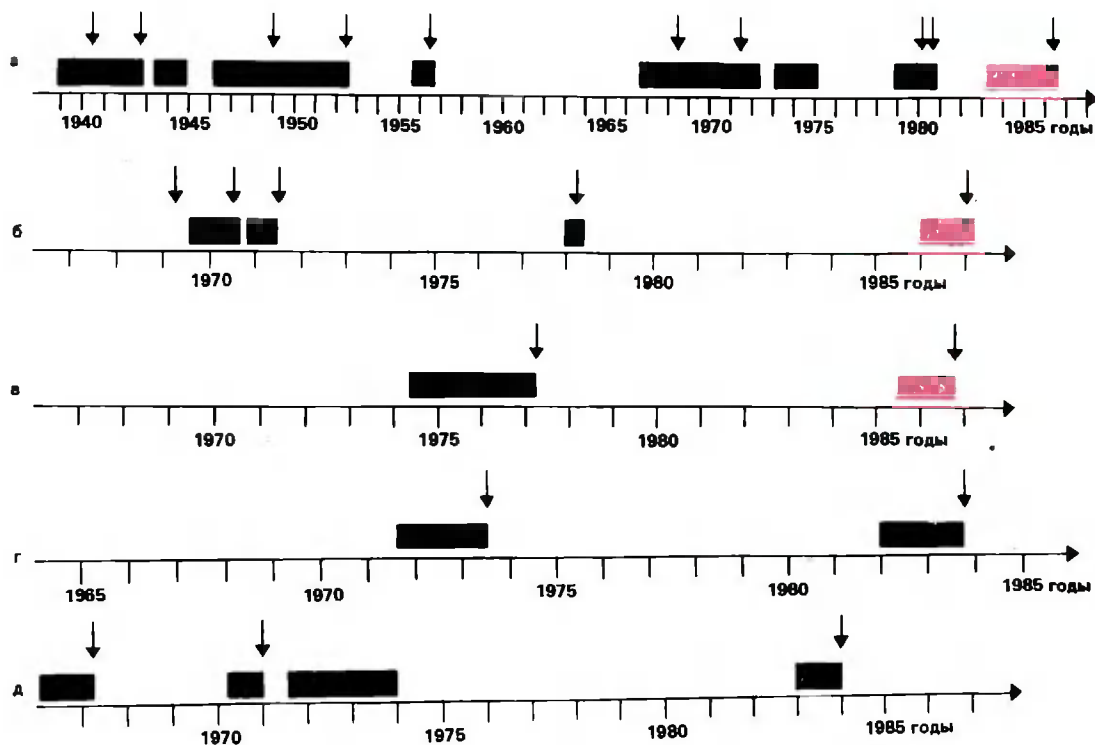
Осредненное описание потока землетрясений для диагностики периода повышенной вероятности (ППВ) сильных землетрясений. Вертикальными линиями показана последовательность землетрясений на данной территории, каждое характеризуется магнитудой (высота линии) и временем. ППВ должны диагностироваться перед сильными землетрясениями. В скользящий момент (цветная вертикальная линия) определяется ряд свойств последовательности землетрясений за истекшие интервалы времени (перечислены над горизонтальными линиями). По комбинации этих свойств диагностируются ППВ.

рует как ППВ. И напротив, большинство таких ситуаций на рассмотренных территориях заканчивались сильными землетрясениями в «предсказанные» интервалы времени.

Однако поскольку алгоритмы разработаны ретроспективно, остается открытым вопрос, действительно ли они диагностируют ППВ, отражая реальные закономерности возникновения землетрясений. Для ответа на этот вопрос необходимо проверить алгоритмы на независимом материале — например, на данных по другим регионам Земли. Поэтому алгоритмы были испытаны в весьма разных регионах, от самых активных зон субдукции до слабосейсмической платфор-

мы, зоны с промежуточной глубиной очага и даже района наведенной сейсмичности. Помимо Калифорнии и Невады это Кавказ, Памир и Тянь-Шань, Копетдаг и Эльбурс, Прибайкалье и Саяны, северо-западный сегмент Тихого океана от Камчатки через Японию до о. Тайвань и Бонинской дуги, Центральная и Южная Америка, Восточные Карпаты (Вранча), Гималаи, Северные Аппалачи, Бранд-Арденны, Койна (Индия), Греция и др.

Результаты испытаний алгоритма КН на независимом материале следующие: за рассмотренный период времени в исследованных регионах произошло 29 сильных землетрясений; ППВ диагностированы перед 23 из них; средняя продолжительность тревоги на сильное землетрясение — 1,8 года. Для алгоритма МВ аналогичные цифры следующие: всего в 14 регионах было 28 сильных землетрясений, ППВ диагностированы перед 25 из них; общий пространственно-временной объем ППВ — 16 % от рассмотренного. Статистическую значимость результатов пока оценить трудно, однако они дают основание для решающего испытания — текущего мониторинга ППВ.



Испытание алгоритма КН на независимых данных. На рисунке а показаны результаты работы алгоритма на данных региона обучения (Южная Калифорния, прогноз землетрясений магнитуды $M \geq 6,4$), на остальных — результаты его проверки в других регионах: б — Тянь-Шань, $M \geq 6,4$; в — Вранча (Восточные Карпаты), $M \geq 6,4$; г — район Нью-Йорка, $M \geq 5$; д — Бельгия, $M \geq 4,5$. Стрелками обозначены моменты землетрясений, черным — ППВ землетрясений, обнаруженные при ретроспективном анализе данных, цветом — предсказанные заранее.

1

Сходство результатов для разных регионов указывает на подобие процесса возникновения землетрясений в широком диапазоне энергии и сеймотектонических условий, хотя говорить об автомодельности в строгом смысле слова пока преждевременно. Точность прогноза и число ошибок оставляют желать лучшего. Тем не менее и такой прогноз представляет интерес — в частности, как основа для принятия ряда защитных мер типа гражданской обороны. Об этом стоит сказать отдельно.

ПРОГНОЗЫ И СИСТЕМА ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Как использовать прогнозы, которые можно сделать сегодня — неточные и недо-

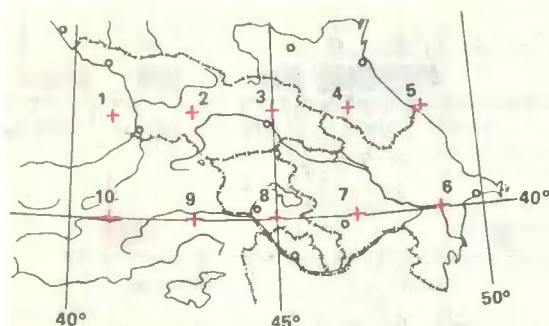
статочно надежные? Сейсмическая опасность — далеко не единственная область, где приходится принимать решения на основе неполной и ненадежной информации. Принципы создания системы защитных мероприятий от землетрясений были предложены в свое время Л. В. Канторовичем и сотрудниками⁷. Идея системы состоит в том, чтобы заранее подготовить серию мероприятий нарастающей эффективности и в зависимости от текущих прогнозов землетрясений выбирать тот или иной их набор.

Защитные мероприятия, необходимые для предотвращения ущерба от землетрясений, можно классифицировать следующим образом.

Фоновые (постоянно проводимые) мероприятия, основанные на сейсмическом районировании:

- ограничения в землепользовании, прежде всего в размещении новостроек;
- укрепление сооружений и сейсмостойкое строительство;
- демонтаж недостаточно сейсмо-

⁷ Канторович Л. В., Кейлис-Борок В. И. Экономика прогноза землетрясений // Тр. конф. ЮНЕСКО по сейсм. риску. Париж, 1977.



Испытание алгоритма М8 на независимых данных (Кавказ, $M \geq 6,5$). Горизонтальные линии — шкалы времени для областей с центрами, отмеченными на карте крестиками. ППВ землетрясений показаны цветом, стрелками отмечены моменты сильных землетрясений.

стойких сооружений, укрепление которых экономически нецелесообразно;

ограничения в размещении опасных или легко повреждаемых объектов внутри зданий;

исследования по прогнозу времени и силы землетрясений;

подготовка мероприятий, основанных на прогнозе момента землетрясения: определение возможного ущерба для конкретных объектов; разработка сценариев необходимых действий; подготовка их финансирования; создание материальных резервов; тренировка населения и персонала спасательных служб; учебные тревоги;

специализированное страхование, налоги и субсидии.

Защитные мероприятия, которые необходимы, когда предсказан момент землетрясения:

развертывание наблюдений, необходимых для уточнения прогноза;

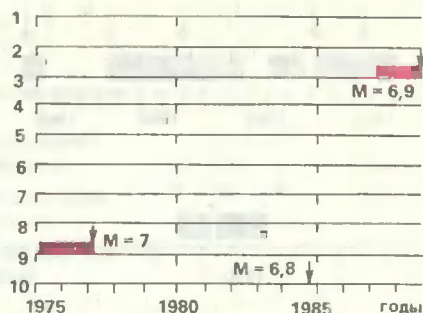
пересмотр очередности строительства и капитального ремонта;

усиление общественных служб (пожарной охраны, медицинской помощи, охраны общественного порядка, системы снабжения и т. п.), увеличение резервов снабжения, усиление надзора за выполнением постоянных правил безопасности;

ввод в действие специальных правил регламентации экономики и общественного порядка, вплоть до чрезвычайного положения;

повышение частоты учебных тревог;

нейтрализация источников повышенной опасности при землетрясении (газовых и электрических линий, атомных электро-



станций, токсических производств, громоздких и неустойчивых объектов внутри зданий), в том числе за счет частичного или полного прекращения операций с ними, дополнительного укрепления или демонтажа;

мобилизация спасательных служб;

частичная эвакуация населения;

подготовка к возможным в будущем восстановительным работам;

подготовка мер нормализации экономики.

Как следует из этого перечня, для осуществления ряда важнейших мероприятий нужны многие годы и, следовательно, долгосрочный или среднесрочный прогноз. Другие важные мероприятия можно осуществить быстро, но на короткое время — месяцы или дни. Для таких мероприятий необходим краткосрочный прогноз. Для осуществления многих защитных мероприятий необязательно точно знать место, время и магнитуду готовящегося землетрясения; разные мероприятия можно начинать при разной определенности предсказания.

Эти соображения и определяют выбор конкретного набора защитных мероприятий. Исходными материалами должны служить каталог возможных мероприятий с оценкой их стоимости и предотвращаемого ими ущерба, а также набор типовых сценариев действий.

Поиск эмпирических закономерностей для прогноза землетрясений пока находится в начальной стадии. Идеи и опыт нелинейной динамики, по-видимому, относятся к самому существу этой проблемы, но конкретные пути их применения только начинают проявляться. Однако при должном выборе масштабов осреднения можно использовать уже имеющиеся данные, чтобы существенно сократить неопределенность места и времени приближающегося землетрясения и ввести в действие многостадийную систему защитных мероприятий.

Г.И. Рейснер Почему „ошиблась“ карта?



Георгий Игоревич Рейснер, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сейсмо-тектоники Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Специалист по неотектонике и сейсмо-тектонике. Автор нескольких моно-графий, в том числе: Геологические методы оценки сейсмической опасности. М., 1980.

МОЖНО ли было предвидеть Спитакское землетрясение? — такой вопрос задают сегодня и те, кто пережил трагедию, и те, кто живет в сейсмо-опасных районах страны, и те, кто пытается осмыслить происшедшее по сообщениям средств массовой информации. Вопрос этот мучает и специалистов в области прогноза землетрясений.

Чтобы было понятно, почему Спитакское землетрясение оказалось столь катастрофическим по своим последствиям, необходимо напомнить, что прогноз землетрясений в научной его постановке включает решение трех задач: где ожидать землетрясение, какой силы и когда?

С последней задачей, ставшей объектом пристального изучения сравнительно недавно, около двух десятилетий назад, дело обстоит более или менее ясно: задача предсказания времени возникновения землетрясений сегодня в полном объеме не решена. По крайней мере на том уровне, который позволил бы оповещать и эвакуировать население, останавливать предприятия и т. п. Но даже и успешное решение этой задачи не станет панацеей от всех тяжелых последствий сейсмических событий: будут разрушены промышленные объекты, административные, социально-бытовые и жилые здания. Особенно опасны аварии на объектах энергетики, химии и коммуникациях.

В этих условиях гораздо более действенным и стратегически правильным представляется не прогноз времени землетрясения, а надежное строительство в сейсмо-опасных регионах с проведением мероприятий, гарантирующих устойчивость и живучесть сооружений при максимально возможных в данной области сейсмических сотрясениях. В этом случае и задача сохранения человеческих жизней, на которую прежде всего направлен прогноз времени возникновения землетрясений, будет решаться достаточно надежно.

Но строители должны знать, какие максимальные сотрясения возможны на той или



Граница зоны ВОЗ с магнитудой 6,1—7,0

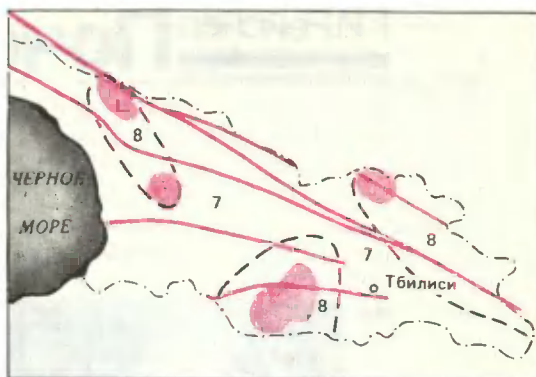
Граница 7-балльной и 8-балльной зон

Фрагмент карты ОСР-78 для территории, в пределах которой возникло Спитакское землетрясение 1988 г. Видно, что в Спитаке и Кироваване ожидалось лишь 7-балльные сотрясения поверхности, тогда как реально в Спитаке землетрясение ощущалось силой до 10 баллов, а в Кироваване — 8—9 баллов. На рисунке выделена также зона ВОЗ с магнитудой 6,1—7,0.

иной территории в будущем, т. е. им нужна надежная карта сейсмического районирования, реализующая решение двух других задач общей проблемы прогноза — определение места и силы ожидаемых землетрясений.

Сейсмическое районирование как научная задача гораздо старше прогнозирования времени землетрясений: первые карты общего сейсмического районирования (ОСР) страны появились еще в 30-е годы. В настоящее время нормативной считается карта ОСР-78 (цифры означают год завершения работы над картой)¹. На ней Ленинакан попадает в зону 8-балльных сотрясений, Спитак и Кироваван — в 7-балльную зону. Реальная же интенсивность сотрясений на земной поверхности во время катастрофы достигала 9—10 баллов в районе Спитака и 8—9 баллов — в районах Ленинакана, Кировавана и соседних сел.

Таким образом, в местах максимального несогласования ошибка карты ОСР-78 достигла 3 баллов. Это означает, что в ней допущена тяжелая ошибка первого рода, именуемая «пропуском цели»².



Крупнейшие разломы

Очаги 8-балльных землетрясений

Зоны разной балльности, показанные на карте ОСР-78

Фрагмент карты ОСР-78 для территории Грузии, дополненный сеймотектонической основой той же территории. Видно, что при составлении карты ОСР-78 сеймотектонические данные не учитывались: опасными считались только те участки разломов, где уже произошли землетрясения определенной силы, тогда как потенциально опасные участки разломов в расчет не принимались. Иными словами, для территории Грузии карта ОСР-78 не является прогнозной.

Опыт общего сейсмического районирования в нашей стране показывает, что ни одна из карт, обновляющихся примерно раз в 10 лет, не была свободна от ошибок первого рода. «Не на своих местах» произошли такие катастрофические землетрясения, как Ашхабадское (1948 г.) и Дагестанское (1970 г.), а в почти готовый вариант карты ОСР-78 пришлось вводить существенные изменения в связи с Газлийским землетрясением 1976 г. Так что Спитакское землетрясение 1988 г. лишь подтверждает общее правило.

Итак, в картах ОСР заложена какая-то систематическая ошибка, какой-то скрытый порок, который время от времени дает о себе знать. Чтобы в этом разобраться, следует подробнее рассказать, что же такое сейсмическое районирование и как оно осуществляется.

Любое землетрясение характеризуется прежде всего магнитудой и балльностью. Имеется и третья характеристика, их связывающая, — это глубина очага. (В случае Спитакского землетрясения глубина очага оказалась очень небольшой, если судить по инст-

¹ Материалы по карте ОСР-78 опубликованы в сб.: Сейсмическое районирование территории СССР / Отв. ред. М. А. Садовский. М., 1980.

² Существуют также ошибки второго рода, связанные с ложной тревогой и опасные своими экономическими, психологическими и другими последствиями.

рументальным наблюдениям, а по результатам геологического обследования очаг даже вышел на земную поверхность³). Именно эти основные характеристики и должна в том или ином виде представлять строителям карта ОСР. На ней показываются и зоны возникновения ожидаемых землетрясений (зоны ВОЗ) той или иной магнитуды, и зоны разной балльности, возможной при данной магнитуде и глубине очага⁴.

Задачи общего сейсмического районирования решаются последовательно, в две стадии. На заключительной — рассчитываются сотрясения на земной поверхности при той или иной, в каждом случае вполне конкретной, магнитуде и глубине очага (т. е. определяется балльность). Эта задача не представляется сегодня непреодолимо трудной для сейсмологов. Дело в том, что на земном шаре ежегодно происходит много землетрясений с различной магнитудой и глубиной очага, и проявления их на земной поверхности хорошо изучены.

Отсюда следует, что пороки карт ОСР возникают на предыдущей стадии, когда выделяются зоны ВОЗ. Делается это с помощью двух разных подходов. Согласно первому из них, очаги землетрясений определенного энергетического уровня могут и в будущем генерировать землетрясения той же магнитуды. Этот принцип служил отправным при составлении первых карт ОСР, которые по сути были сейсмостатистическими: они лишь фиксировали информацию о землетрясениях, произошедших к моменту завершения работы над картой. Этот подход оказался неверным; очаги сильных землетрясений возникали в не предусмотренных картой местах.

В 50-х годах возобладал сейсмотектонический подход к выделению зон ВОЗ, согласно которому очаги землетрясений определенного энергетического уровня возникают в определенной сейсмотектонической обстановке. В будущем в сходной обстановке могут возникать землетрясения того же уровня независимо от того, где такие районы расположены и какой магнитуды землетрясения в них зафиксированы.

Принятие этого постулата означало, что сейсмическое районирование перестало

быть уделом одних только сейсмологов. Чтобы уверенно описать сейсмотектоническую обстановку в сейсмоопасных регионах страны, потребовались усилия геофизиков самого разного профиля, тектонистов, геоморфологов, геодезистов, геохимиков.

В их совместной работе условно можно выделить два этапа. На первом изучаемая территория дробится на отдельные районы, различающиеся строением, историей развития, интенсивностью тектонических процессов. Иными словами, на первом этапе осуществляется сейсмотектоническое районирование. При этом описание сейсмотектонической обстановки в отдельных районах складывается, условно говоря, из «силовой» и «геометрической» частей единой системы. «Силовая» отражает способность того или иного участка накапливать определенное количество потенциальной энергии для порождения землетрясения данной силы. Но этот сейсмический, или сейсмотектонический, потенциал реализуется в виде землетрясений лишь там, где существует «геометрическое» выражение системы. (На практике эта геометрическая часть системы представляет собой карту разрывных нарушений разного порядка.)

На втором этапе данные сейсмотектонического районирования сопоставляются со статистикой землетрясений в исследуемом регионе, чтобы понять, какой силы землетрясения здесь возможны. И по результатам такого «обучения» выделяются прогнозные зоны ВОЗ. К ним относятся прежде всего те участки карты сейсмотектонического районирования, которые еще не проявили себя землетрясениями максимальной силы, известными в данной сейсмотектонической ситуации.

Таким образом, прогноз на картах ОСР реализуется с использованием геологических данных и геологических методов анализа⁵. При таком подходе возникновение ошибок типа «пропуск цели» должно, казалось бы, свестись к минимуму или вообще стать невозможным. Однако и теперь, когда признана необходимость использования сейсмотектонических данных, ошибки по-прежнему возникают. Это значит, что декларируемые принципы составления карт ОСР расходятся с реальной практикой их подготовки.

Сейчас уже ни один специалист в области общего сейсмического районирования в нашей стране не позволит себе открыто под-

³ Подробнее см. в этом номере: Борисов Б. А., Рогожин Е. А. Сейсмогенный разрыв; Трифонов В. Г., Караханян А. С., Кожурин А. И. Активные разломы и сейсмичность.

⁴ Существуют номограммы и эмпирические формулы, позволяющие определить балльность землетрясения по глубине очага и магнитуде (подробнее см.: вступительный раздел к «Новому каталогу землетрясений СССР от древнейших времен до 1975 г.» М., 1977).

⁵ Подробнее см.: Борисов Б. А., Рейснер Г. И., Шолпо В. Н. Выделение сейсмоопасных зон в альпийской складчатой области. М., 1975.



Зоны с магнитудой 5,75–6,75
(по И.В. Ананьину и др., 1969)

Зоны с магнитудой 6,1–7,0,
показанные на карте ОСР-78

Пример прогнозного подхода к выделению зон ВОЗ, при котором учитываются сейсмотектонические данные. Фрагмент карты показывает, что для территории, где произошло Спитакское землетрясение, еще в 1969 г. прогнозировалась возможность возникновения землетрясения с магнитудой 5,75–6,75, что близко к реальным значениям магнитуды Спитакского землетрясения.



Прогнозируемая магнитуда:

6,7–6,9 6,5–6,6 ≤ 6,4

Еще один пример прогнозного подхода к выделению зон ВОЗ с использованием алгоритмов по опознаванию образов. Эта схема, составленная Б. А. Борисовым и др. еще в 1975 г., показывает, что прогнозируемая магнитуда для района Спитакского землетрясения (6,7–6,9) близка к реальной магнитуде состоявшегося землетрясения [7,0]. Авторы данной схемы исходили из предположения, что максимально возможная магнитуда землетрясений нигде на Кавказе не достигает 7.

держивать тезис о возможности решения этой проблемы без привлечения сейсмотектонических данных. Но на практике при составлении каждой карты (и ОСР-78 в том чис-

ле) складывается двойственное положение. С одной стороны, карта должна быть прогнозной и потому сейсмотектонические исследования считаются обязательным элементом ее подготовки. С другой стороны, если быть до конца последовательным и действовать в согласии с требованиями науки, карта становится «неудобной» для строителей.

Дело в том, что карты, построенные методом фиксации происшедших событий, и прогнозные (действительно учитывающие данные сейсмотектоники) разительно отличаются. На прогнозных картах сильно увеличиваются площади опасных зон и, соответственно, возрастают площади, в пределах которых допускается интенсивность сотрясения высших баллов. А это в свою очередь ведет к многократному увеличению стоимости строительства из-за дорогостоящих антисейсмических мероприятий.

Эта коллизия прекрасно известна специалистам, которые при подготовке тех или иных экспертных заключений, оценке состояния разных отраслей народного хозяйства и разработке стратегических перспектив их развития вынуждены сталкиваться с интересами разных ведомств. Возникла она и при составлении карты ОСР-78. Для многих регионов страны эта карта представляет собой плод различного рода компромиссов между наукой и практикой. Ситуация усугубилась еще и тем, что первоначальные макеты карты ОСР-78 составлялись отдельно в каждой республике под руководством соответствующих академических институтов и только потом все эти разнородные фрагменты сводились воедино.

В большинстве случаев в тех областях, где зарегистрированы землетрясения, классифицируемые как максимальные для данных областей, зоны ВОЗ выделялись на основе сейсмотектоники. Зато другие, более обширные области, где следовало бы выделять прогнозные зоны ВОЗ (поскольку в их пределах возникали только слабые землетрясения), с этих позиций вообще не рассматривались. Иными словами, на указанных территориях составители карты ОСР-78 проигнорировали сейсмотектонические данные.

Все это нетрудно показать на примерах. В частности, для территории Грузии в качестве сейсмотектонической основы карты ОСР-78 была выбрана карта разломной тектоники. Однако ее сравнение с картой ОСР-78 убедительно показывает, что районирование проводилось без учета сейсмотектонических данных. Так, в отдельных частях зон крупнейших разломов возникали 8-балльные землетрясения. Естественно было бы предположить, что при прочих рав-



Общий вид сейсмодислокаций над очагом Спитакского землетрясения. На переднем плане — трещины, вдали — вал нагнетания.

Фото Л. Н. Рыбакова

ных условиях аналогичные землетрясения возможны в будущем и в других частях этих зон. Между тем на карте ОСР-78 в единую 8-бальную область выделены лишь те участки, где землетрясения уже произошли. При этом оказались объединены сейсмические события, связанные с разными по природе разломами, что совсем уже нелогично.

Другой пример касается Кавказа в целом. В работе И. В. Ананьина с соавторами в 1969 г. приведена карта зон ВОЗ, построенная с привлечением данных о разломной тектонике. Ее сравнение с картой ОСР-78, созданной почти через 10 лет, показывает, что при составлении последней сейсмотектонические данные не использовались. Общий вывод очевиден: карта ОСР-78 для Кавказа строилась без привлечения результатов сейсмотектонических исследований и по существу не являлась прогнозной. Как это ни парадоксально, но реальные методы работ по общему сейсмическому районированию

за 50 лет не изменились. Отсюда и ошибки.

Между тем к моменту завершения работы над картой ОСР-78 были разработаны и другие методики сейсмотектонического районирования (например, Б. А. Борисов и др.), результаты применения которых однозначно показывали, что в области, где возникло Спитакское землетрясение, следовало ожидать сейсмического события магнитудой до 6,9. При неглубоком очаге сотрясения на поверхности здесь должны были превысить 9 баллов, как и оказалось в действительности.

Результаты этих работ составители карты ОСР-78 не приняли во внимание, как уже отмечалось, из соображений «экономической целесообразности». Не были учтены выводы ученых, зато получился вариант карты, удобный для строительных ведомств.

Вообще же, ошибки на картах ОСР связаны вовсе не с бессилием науки, а с тем, что новые модификации методов сейсмического районирования пока не применяются на практике. Необходимо поэтому срочно пересмотреть карту ОСР-78, поскольку новые ошибки типа «пропуск цели» реально заложены в ней и могут вновь проявиться как на Кавказе, так и в других сейсмоопасных регионах.

Сейсмологическая служба Кавказа в дни спитакской трагедии

А. А. Годзиковская

Институт «Гидропроект» Минэнерго СССР
Москва

ГЛАВНЫЙ толчок Спитакского землетрясения положил начало активному афтершоковому процессу. Если этот толчок зафиксировали все сейсмостанции земного шара, то подавляющее большинство событий в первые дни после него было зарегистрировано главным образом на станциях Армении. Лишь наиболее сильные из них записали и другие региональные станции Кавказа.

Координаты и глубину очага главного толчка определили в Опытно-методической экспедиции (ОМЭ) ИФЗ АН СССР в первые же часы. Однако с обработкой информации, полученной близкими станциями, дело обстоит существенно хуже, и тому были серьезные основания. Но все это я узнала позже, когда 22 декабря прилетела в Ереван. Вскоре выяснилось, что Институт геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) АН АрмССР в Ленинкане и сейсмостанция «Ленинкан» — в аварийном состоянии, а центр обработки сейсмологических данных переведен на сейсмостанцию «Ереван».

24 декабря я приступила к обработке данных, накопившихся на сейсмостанции «Ереван». Но, прежде чем говорить о результатах, несколько слов о том, как и кем собирался и обрабатывался материал. Кстати, это поможет понять, почему в первые недели после катастрофы оперативную обработку взял на себя «человек со стороны».

Когда один из ведущих сейсмологов ИФЗ АН СССР И. Л. Нерсесов предложил мне поехать в Армению, он не сформулировал конкретно мою задачу, и только оказавшись на месте, я поняла, какая огромная работа предстоит. Я сразу же почувствовала, в каком тяжелом состоянии находятся мои армян-

ские коллеги. Так, руководитель группы сводной обработки сейсмостанций Армении Г. В. Саргян с четырехлетней дочерью лишь чудом выбралась из-под развалин многоэтажного дома. Почти у каждого погиб кто-то из близких. Многие потеряли не только родных, но и кров.

Да и на сейсмостанции, куда стекались сейсмограммы с десятков пунктов, царил изрядная неразбериха. Никто не знал, где находятся новые станции и как они называются. А материалов с каждым днем становилось все больше. Все это напоминало маленькую библиотеку, в которую, даже не установив дополнительные стеллажи, свозят множество других библиотечных фондов.

В первый же день, просмотрев материалы, я поняла, что даже записи главного толчка на региональных станциях остались не обработанными. Главный афтершок, сыгравший самую серьезную (может быть, даже решающую) роль в катастрофе, вообще нигде не фигурировал. А ведь после катастрофы прошло уже больше двух недель! На станции тьма людей, все вроде бы заняты обработкой сейсмограмм, но при этом никто не может сказать, сколько и каких событий произошло в первые часы и дни процесса. Обрабатывались первые попавшиеся записи последних толчков, которые были более доступными.

Очень скоро стало ясно, что по имеющимся на станции данным можно довольно точно определять координаты землетрясений, начиная с энергетического класса¹ (К) 9,5. Это ограничение обусловлено тем, что региональные станции Кавказа ведут регистрацию «на малых

увеличениях» и, как и по всей стране, на устаревшей аппаратуре.

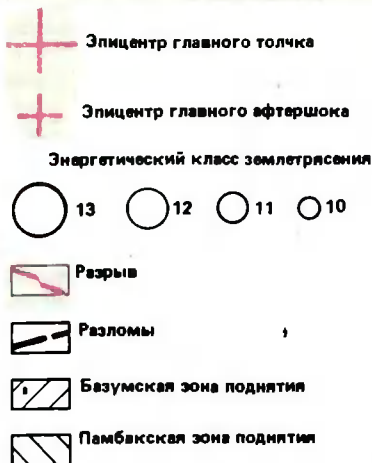
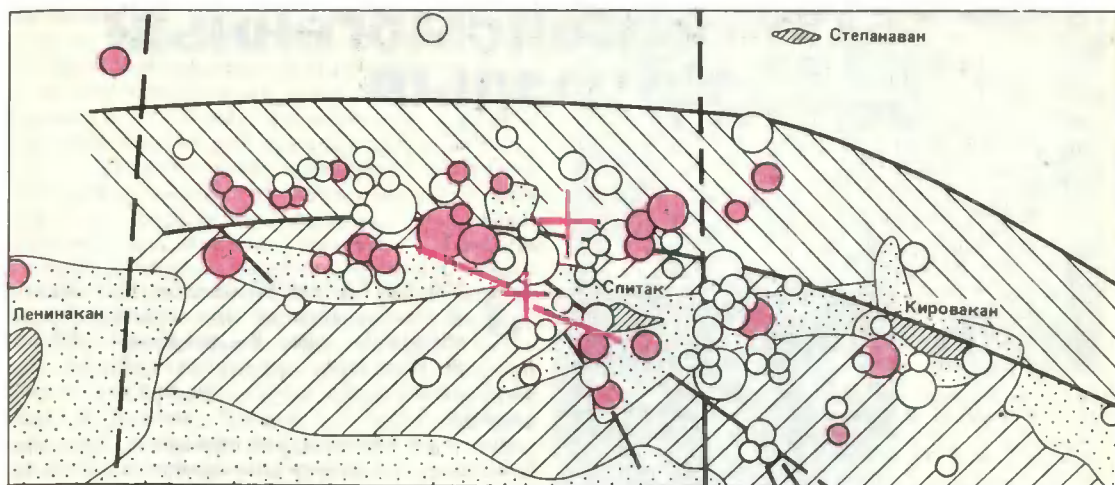
Толчки с $K \geq 10,5$ обрабатывались нами за 3—4 ч. Параллельно обрабатывались записи толчков с $K \geq 9,5$, произошедших накануне, затем — еще на день раньше и т. д., вплоть до 7 декабря. Наиболее часто использовались материалы постоянных станций — «Степанаван», «Ереван», «Иджеван», «Варденис» и временных — «Кировакан», «Артик», «Алагяз», «Шенаван». Очень ценной для нашей работы была информация станции «Бакуриани». В обработке широко применялись также телетайпные сводки грузинских сейсмостанций.

Самыми сложными для расшифровки оказались записи первых часов после катастрофы — сейсмограммы были «забиты» колебаниями главного события и афтершоки выделялись с трудом. Наиболее надежно записи этого периода прочитывались на сейсмограммах станций северной Грузии. Позднее выборку уточнили по записям станции «Белый Уголь» (400 км от Спитака). Ежедневно эпицентры наносились на карту и тут же передавались всем заинтересованным комиссиям и специалистам.

По предварительным результатам оперативной обработки региональных материалов с 7 декабря 1988 г. по 24 января 1989 г. в очаговой зоне отмечено более 100 толчков с $K \geq 9,5$. Основной толчок с $K = 15,5$ произошел в 7 ч 41 мин 23 с (по Гринвичу) в 6 км к северо-западу от Спитака на глубине 10—20 км. Спустя 4 мин 22 с в 5 км западнее Спитака последовал сильнейший афтершок с $K = 14,3$. Вслед за этим на площади около 50×12 км начался активный афтершоковый процесс.

Определенный нами гипоцентр основного толчка прихо-

¹ Энергетический класс землетрясения — десятичный логарифм энергии (в джоулях), выделившейся в очаге землетрясения.



Эпицентры сейсмических событий в Спитакской очаговой зоне с 7 декабря 1988 г. по 24 января 1989 г. [Эпицентры афтершоков первого дня выделены цветом.]

дится на основание взбросо-сдвига, который, согласно данным сейсмогеологов, произошел в эпицентральной зоне. Главный афтершок проецируется на разрыв, являющийся выходом очага на поверхность. Интересны также некоторые детали, проявившиеся при обработке сейсмограмм местных станций.

Прежде всего, на сейсмограммах станций, расположенных к югу от очаговой зоны, просматриваются существенные различия записей землетрясений в северо-западной и юго-восточной частях этой зоны.

Обусловлено это, по-видимому, тем, что в первом случае лучи проходили через нарушенную разрывами сейсмогенерирующую область, а во втором — минуя ее. Напомню, что разрушения в Ленинакане оказались куда значительнее, чем в Кировакане, находящемся ближе к эпицентру. Думается, это связано не только с инженерно-геологическими особенностями их территорий, но и со спецификой строения среды на пути распространения сейсмических волн.

Кроме того, анализ записей основного толчка и главного афтершока показал, что афтершок «наложился» на высокочастотные, еще значительные по амплитуде смещения, вызванные основным толчком. Возможно, это одна из причин сложной макросейсмической картины в области катастрофы. Для Спитака ситуация усугубилась еще и тем, что подход к нему сейсмических волн от этих двух событий заметно различался.

В заключение несколько слов о той обстановке, в которой работали сейсмологи Армении в первые недели после катастрофы. На сейсмостанцию «Ереван» информация шла нарастающим потоком, и ориентироваться в ней было бы просто невозможно, если бы не заведующая станцией Е. О. Манукян. До Нового года почти все сотрудники станции работали с раннего утра до полуночи и зачастую оставались на станции по несколько суток.

Ближе всего к эпицентру, на открытом плато, располагалась временная станция АН КазССР — «Шенаван». Здесь и аппаратура, и люди находились в одной палатке. Была уже настоящая зима с морозами и ветрами, и на руки этих людей страшно было смотреть. Работа в таких условиях, — конечно же, подвиг.

Станция «Степанаван» в кратчайшие сроки была восстановлена ее заведующим А. А. Саакяном. Обработка материалов здесь отличалась высоким профессионализмом. В начале января в обработку активно включилась сотрудница ИГИСа А. Товмасын. В феврале заработала группа Г. В. Саргян. Начальнику Опытно-методической сейсмической экспедиции ИГИС Э. Г. Гедакяну приходилось одновременно бывать в нескольких местах, и это ему удавалось.

Возможно, в дальнейшем, после сбора воедино всей имеющейся информации, положение некоторых гипоцентров будет уточнено, изменится энергетический класс некоторых землетрясений. Не исключено, что последующий анализ материалов, полученных другими отечественными сейсмологами, а также нашими зарубежными коллегами с их превосходной аппаратурой, позволит выявить более тонкие детали процесса в очаговой зоне. Но в целом картина останется такой, какой она предстала нам в те первые дни в Армении.

**Б.А.Борисов,
Е.А.Рогожин**

Сейсмогенный разрыв



Борис Аронович Борисов, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Специалист в области сейсмотектоники альпийского пояса. Автор многих научных работ по этой проблеме. Совместно с Н. В. Шебалиным в «Природе» опубликовал статью: Спитакское землетрясение (1989, № 4).



Евгений Александрович Рогожин, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник того же института. Занимается структурной геологией и сейсмотектоникой. Автор монографии: Палеозойская тектоника западной части Туркестанского хребта. М., 1977.

ЭПИЦЕНТРАЛЬНУЮ область Спитакского землетрясения армянские геологи объехали уже 8 декабря 1988 г. Мы же оказались на месте событий через несколько дней. Основной нашей задачей был анализ сейсмодислокаций — смещений грунта, трещин и разрывов, возникших на земной поверхности в результате землетрясения. Такой анализ помогает понять характер глубинного процесса, породившего землетрясение.

Важнейшая особенность Спитакского землетрясения — образование хорошо выраженных первичных сейсмодислокаций (их называют еще сейсмотектоническими). Разъясним подробнее, что под этим понимается. Подземный толчок происходит в результате мгновенной разрядки упругих напряжений в некотором объеме горных пород — очаге землетрясения. Напряжения реализуются в виде подвижки по глубинному «сейсмическому» разрыву, в результате чего в одном направлении происходит сжатие горных пород, а в перпендикулярном — растяжение. Если сейсмический разрыв, распространяясь от очага, рассекает всю толщу пород над ним и выходит на дневную поверхность, возникает первичная сейсмодислокация. Ее появление не связано ни с эрозионными процессами, под действием которых формируется рельеф поверхности (хотя и то, и другое — следствие глубинных процессов), ни с изменениями в поверхностных грунтах вследствие прохождения через них сейсмических волн.

Под действием сильных колебаний земной поверхности при прохождении сейсмических волн возникают и вторичные сейсмодислокации — оползни и обвалы, срывы рыхлых пород с крутых и неустойчивых склонов, просадки в насыпных грунтах, провалы и наклоны поверхностных грунтов в результате разжижения линз насыщенного водой песка. Эти проявления катастрофически быстрой эрозии склонов происходят благодаря силе тяжести. Нередко они подготовлены предшествующими тектоническими и эрозионными процессами (поднятием или опу-

сканием, размывающим действием текущих вод и т. д.) или деятельностью человека (подрезкой склонов при строительстве дорог и других сооружений, уничтожением растительного покрова, обводнением склонов, возведением на них тяжелых зданий и т. п.).

Особенно много вторичных сейсмодислокаций возникает в горных районах, сложенных непрочными рыхлыми породами. Обвалы и оползни приносят большой ущерб, разрушая населенные пункты, дороги, линии электропередач, создавая запруды на реках и т. п. Их тщательно изучают, пытаются распознавать опасные участки, выделять места, где вообще строить ничего не следует. Однако для исследования глубинных процессов и выяснения характера подвижек в очагах землетрясений (т. е. с точки зрения сейсмотектоники) вторичные сейсмодислокации дают мало полезных сведений. Например, при Газлийских землетрясениях 1976 и 1984 гг. в 100 км от очага обваливались берега Амударьи, а ближе к эпицентру из-за плоского рельефа местности дислокаций не было.

Только когда очаг сильного землетрясения располагается неглубоко и не отделен от поверхности толстым слоем горных пород с иными, нежели в породах области очага, механическими свойствами (жесткостью, упругостью и т. д.), возникают первичные сейсмогенные разрывы. Известны сейсмотектонические дислокации Гоби-Алтайского землетрясения 1957 г. (Монголия), Эль-Аснамского 1980 г. (Алжир), сильных землетрясений в Калифорнии, а также в Японии, Индии, Иране, Турции и других регионах.

В складчатых горах, таких как Альпы, Апеннины, Карпаты, Большой Кавказ, первичные сейсмодислокации, как правило, не возникают. Началом формирования этих складчатых областей было образование глубоких морских впадин и заполнение их мощной толщей осадков. Затем в результате инверсии тектонических движений дно моря поднялось и как бы «вывернулось наизнанку». Верхние части таких складчатых толщ, в которых образовался современный горный рельеф, сложены деформированными осадочными породами, а очаги землетрясений обычно приурочены к нижнему структурному этажу — фундаменту, более жесткому и менее разнородному по механическим свойствам. Сейсмический разрыв, зародившийся в фундаменте, проникает в осадочный слой, но быстро в нем «затухает», встретив податливые породы с собственной системой трещин и разрывов.

Осадочный слой Малого Кавказа относительно тонок и слабо деформирован. В от-

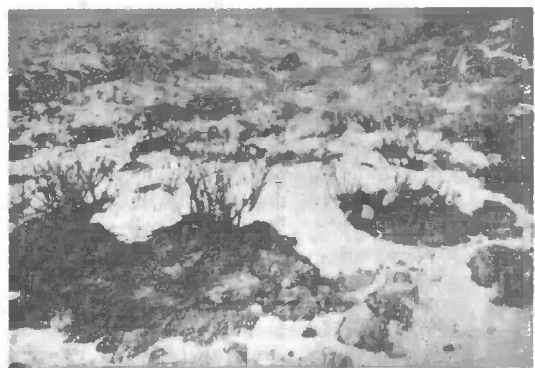


Ремонт поврежденного участка железнодорожного полотна. Рельсы, «не уместившиеся» на прежнем месте (из-за сжатия пород), будут заменены.

Здесь и далее фото Б. А. Борисова.

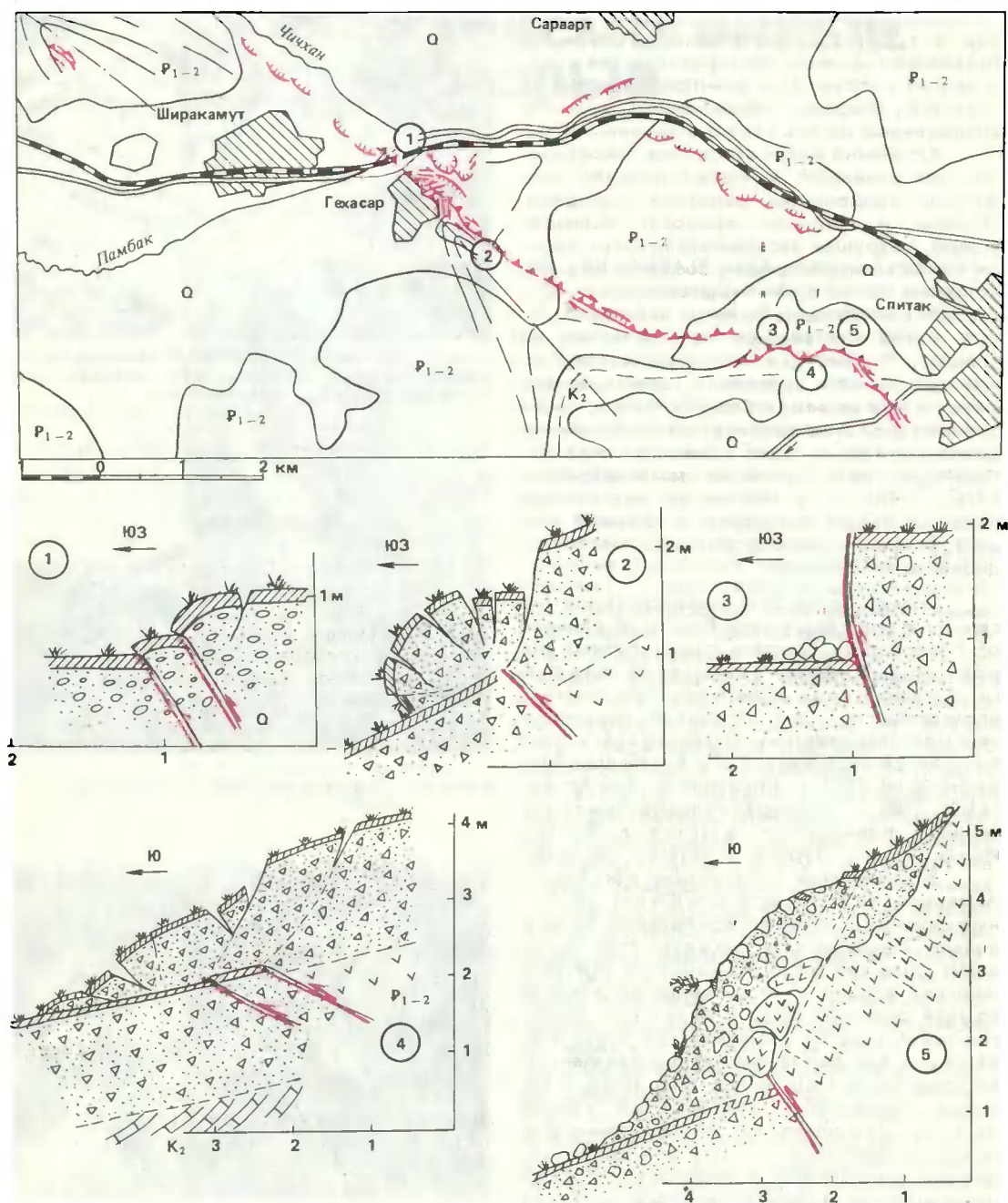


Сейсмогенный разрыв нарушает пологий склон.



Обгоревшие кусты вдоль сейсмогенных разрывов и отходящих от них тонких трещин. Вероятно, кусты загорелись в результате выхода горючих газов.

личие от Большого Кавказа в нем мало глин и глинистых сланцев, а преобладают прочные карбонатные породы (известняки) и вулканические лавы, мало отличающиеся по жест-

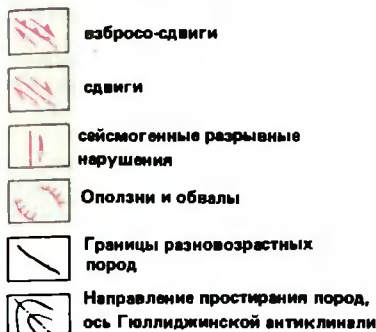


кости и упругости от пород фундамента. Так что возникновение первичных сейсмодислокаций в той зоне Малого Кавказа, где произошло Спитакское землетрясение и которая относится к Анатолийско-Иранскому срединному массиву, весьма вероятно. Впрочем, глубинное строение этой зоны, скры-

той под молодыми лавами, известно недостаточно; возможно, разные ее части устроены по-разному. В историческое время первичные сейсмодислокации на Малом Кавказе (в пределах СССР) не возникали; во всяком случае, никаких надежных сведений о них в литературе нет.

Карта сейсмодислокаций на центральном участке зоны Спитакского землетрясения [составлена Е. А. Рогожиным после зимних полевых работ при участии Б. А. Борисова, Ж.-К. Буске, А. С. Караханяна, Э. Филипа] — вверху. Сейсмогенный разрыв протяженностью около 13 км пересекает породы верхнего мела (К₁), палеогена (Р₁₋₃), а также четвертичные отложения (Q). Ц и ф р а м [1—5] обозначены участки, на которых изучено строение зоны. Амплитуда вертикального смещения и форма взбросо-сдвига изменяется от окраинных частей системы сейсмодислокаций к центру. На участках 1—3 высота уступа невелика (0,5—1 м), на участке 2 разрыв сопровождается валом, отсутствующим при крутом положении плоскости разрыва на участке 3. На участках 4,5 вертикальная амплитуда уступа достигает 1,5 м, при пологом разрыве (на участке 4) формируется зона растяжения и проседания блоков в теле вала. На участке 5, где разрыв совпадает с существовавшим ранее уступом в рельефе, он сопровождается обвалом и выбросом камней в южном направлении.

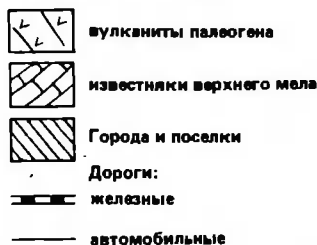
Первичные дислокации:



Молодые рыхлые образования:



Прочные древние образования:

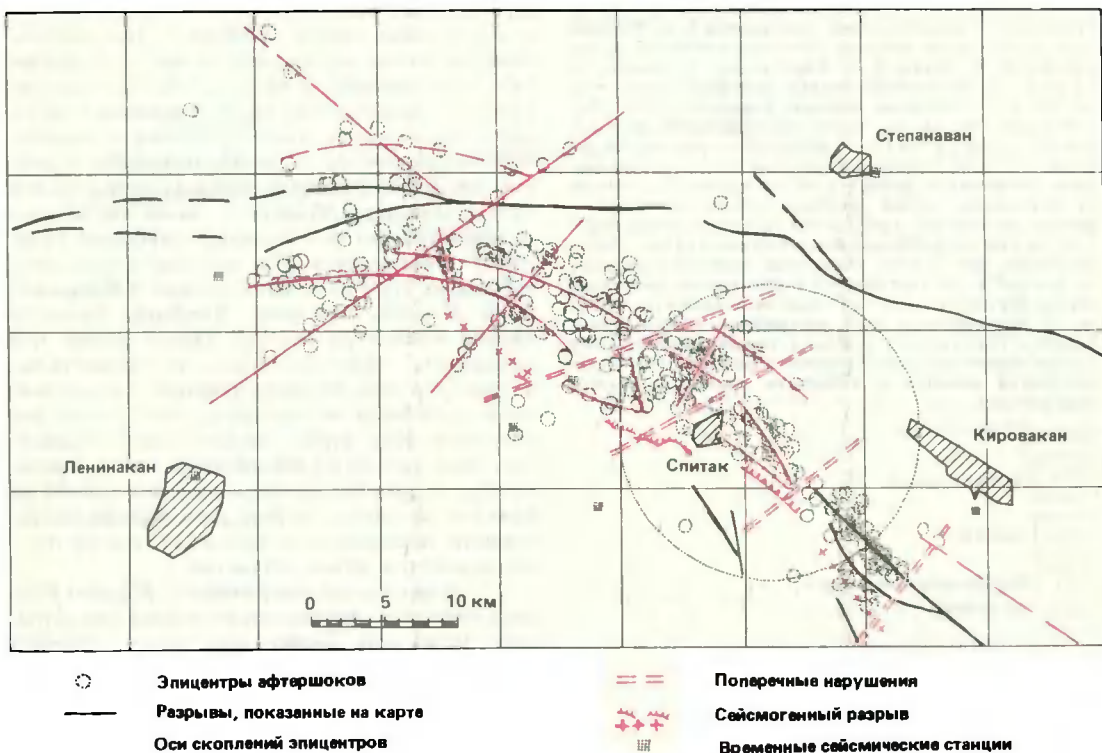


На соседних территориях — в Турции и Иране — такие разрывы довольно часты. Наиболее характерный вид сейсмогенных нарушений в зоне Северо-Анатолийского разлома (восточная Турция) — сдвиги и взбросо-сдвиги со смещением в несколько метров. Такие же сейсмодислокации описаны

для сильных землетрясений в центральном и восточном Иране. Вместе с тем упоминаются случаи, когда сейсмогенные разрывы там не возникали, в связи с чем был сделан вывод о чередовании слоев различной прочности над очагом землетрясения и вероятной их способности деформироваться пластично. Действительно, как в Турции, так и в Иране имеются области с таким строением осадочного чехла и большой глубиной залегания фундамента. По многим характеристикам их строение было сходно с Большим, а не Малым Кавказом. Вообще, Большой Кавказ похож на Малый Кавказ разве что названием, обусловленным их соседством, и тем, что обе области горные. Геологическое строение и история тектонического развития этих стран имеют мало общего. Поэтому попытки сейсмологов найти какие-то общие закономерности землетрясений на Кавказе «в целом» могут дать только искусственно осредненные критерии, плохо подходящие для обеих областей.

На огромных территориях Малого Кавказа покровы неоген-четвертичных лав скрывают все, что лежит под ними. Однако местами из-под лав выступают древние породы фундамента и нижние горизонты почти не нарушенного осадочного чехла. Это дает основание считать, что его небольшая толщина меняется в данном регионе незначительно. Структуры Малого Кавказа плавно переходят в структуры восточной Турции и северо-западного Ирана. Только в пределах узкой субмеридиональной полосы в южной Грузии и Армении, где образовались цепочки молодых (неоген-четвертичных) вулканов, оси структур резко меняют направление. Тектонические особенности этой полосы таковы, что некоторые исследователи считают ее рифтом. Здесь часто возникают рои слабых землетрясений, причем механизмы их очагов (типы и направления смещений) указывают на растяжение коры. Таким образом, Армянское нагорье обладает специфическими свойствами, отличающими его от соседних территорий.

Слабые и умеренные землетрясения с очагами, сформировавшимися в условиях растяжения, можно считать типичными для западных районов Малого Кавказа. Прежде (до 7 декабря 1988 г.) предполагалось, что землетрясения другого типа здесь происходить «не должны». Известные факты сейсмической истории не давали основания думать иначе. Правда, в древние времена Армения была ареной очень сильных землетрясений, но их магнитуда и механизм неясны. Возможно, это были события иной природы, нежели «малокавказские».



Эпицентры афтершоков Спитакского землетрясения (за период 22.XII.88 — 08.I.89, по материалам советско-французской сейсмологической экспедиции) и положение тектонических разрывов, показанных на геологической карте Кавказа.

Эпицентр главного толчка располагается вблизи Спитака в центре круга большого диаметра. Скопления афтершоков демаскируют положение активных разрывов, недоступных непосредственному наблюдению. Полоса эпицентров разбита на отдельные сгущения, что определяется, вероятно, неоднородностью глубинного строения: единая зона глубинного разрыва делится поперечными нарушениями на участки с разной структурой и механическими свойствами.

Некоторый намек на возможность возникновения на Малом Кавказе землетрясений «северо-анатолийского» типа с очагами, формирующимися в обстановке преобладающего горизонтального сжатия, дало Ахалкалакское землетрясение 1986 г. (эпицентр которого располагался примерно в 70 км к северо-западу от Спитака). Его механизм представлял собой взброс-сдвиг, ориентированный в северо-западном направлении. Не было роя сильных афтершоков, типичного для «малокавказских» землетрясений. Эпицентры слабых афтершоков тяготеют к двум диагональным (северо-западного и северо-восточного направлений) зонам, пересекающимся у эпицентра главного толчка.

Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. произошло в районе, часто относимом к Армянскому вулканическому нагорью, но на самом деле представляющем собой часть позднеальпийской складчатой структуры — Севанского синклиниория. По мнению ряда специалистов, он расположен над зоной крупных тектонических нарушений в фундаменте¹.

Зима — не лучшее время для геологических наблюдений, так что здесь мы приводим лишь предварительные результаты обследования различных сейсмогенных разрывов. Зимой мы проследили сейсмогенный разрыв (с перерывами) на отрезке длиной около 13 км. В процессе летних работ 1989 г. обнаружилось то, что зимой было скрыто под снегом. Найдено продолжение сейсмогенного разрыва как на юго-восток, так и на северо-запад². Общая протяженность зоны дислокаций составила около 35 км.

¹ Шебалин Н. В., Борисов Б. А. Спитакское землетрясение // Природа. 1989. № 4. С. 69—72.

² См. в этом номере: Трифонова В. Г., Караханян А. С., Кожурин А. И. Активные разломы и сейсмичность.

Наиболее четко разрыв выражен на центральном участке — от с. Гехасар до Спитак (на протяжении 8 км), где выявлен взбросо-сдвиг, простирающийся на запад-северо-запад. Его северное крыло приподнято. Вертикальное смещение редко превосходит 1,5—2,0 м, горизонтальное — 1,5 м. Наклон плоскости разрыва около 50°.

В зоне дислокаций отмечаются 40—60-метровые участки обгорелых кустов (иногда — вдоль тонких, еле различимых трещин), свидетельствующие о выходе и возгорании газов — вероятно, водорода и метана. Вблизи сейсмогенных разрывов и на их предполагаемом продолжении в рыхлых отложениях зимой были видны «кратовины» — следы жизнедеятельности растревоженных грызунов. Обычно в холодное время эти животные неактивны.

Одновременно с геологическим обследованием сейсмодислокаций проводились полевые сейсмологические наблюдения. В эпицентральной области (между Ленинканом и Кироваканом) были расставлены приборы, регистрирующие афтершоки. Анализ сейсмограмм, записанных этими приборами, позволил точно определить координаты и глубину гипоцентров повторных толчков, в том числе весьма слабых, а также установить характеристики движений в их очагах. К сожалению, аппаратура, имеющаяся в распоряжении советских сейсмологов, недостаточно компактна и надежна для такого анализа, и большая часть сейсмологических данных об афтершоках получена с помощью приборов наших коллег из Франции и США.

Сотрудничество сейсмологов из ИФЗ АН СССР и Института физики Земли Страсбургского университета не прекращается. В июле 1989 г. проводились полевые сейсмо-тектонические исследования с участием французских специалистов А. Систернаса, Э. Филипа, Л. Дорбата. По данным советско-французской эпицентральной экспедиции построены карты и профили афтершоков. Профили распределения гипоцентров афтершоков, совмещенные со схематическими геологическими разрезами, показывают, что очаги повторных толчков как бы «нанизаны» на сейсмогенный разрыв, а также на другие наклонные зоны — видимо, разрывы, не вышедшие на поверхность. Предполагается, что истинные размеры очага главного толчка приблизительно соответствуют размерам об-

лака афтершоков, вытянутого примерно на 50 км при средней ширине около 10 км. В поперечных разрезах гипоцентры афтершоков образуют более или менее четкие зоны, соответствующие, как принято считать, хрупким сколам, подвижки по которым и порождают сейсмические волны. Как правило, эти сколы не доходят до поверхности, затухая в поверхностных рыхлых отложениях.

На юго-восточном конце облако афтершоков имеет вид узкой зоны, которая совпадает с тектоническим нарушением, показанным на геологических картах. Преобладающий тип смещений в этой зоне — сдвиг, что и объясняет характер скопления эпицентров. В средней части эпицентральной области преобладают взбросы.

Глубина очагов афтершоков в большинстве случаев не превышает 5—7 км — они в основном сформировались в самых верхних горизонтах фундамента и в осадочном чехле. Разрезы показывают, что там, где по геологическим данным имеются выступы магматических и метаморфических пород, очаги землетрясений, как правило, тяготеют именно к этим образованиям. Однако детали глубинного строения района неизвестны и конкретное сопоставление сейсмологических и геологических данных пока невозможно.

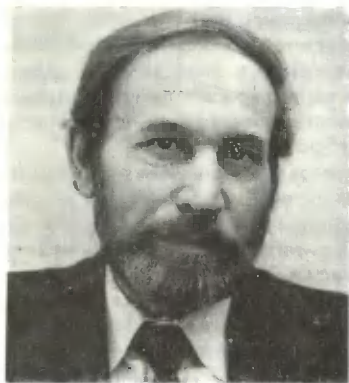
Поскольку очаги землетрясений расположены на небольшой глубине, можно предполагать либо малую толщину хрупкого «гранитного» слоя, либо интенсивный тепловой поток, под действием которого нижние горизонты размягчаются и не могут накапливать упругие напряжения. Возможны, конечно, и другие объяснения.

В плане распределение эпицентров имеет несколько сгущений; возможно, поперечные нарушения делят зону глубинного разрыва на разные по механическим свойствам участки. Некоторые из таких нарушений совпадают с известными элементами рельефа и геологического строения района.

Детальное изучение сейсмогенного разрыва и анализ данных об афтершоках Спитакского землетрясения позволяют сделать определенные выводы о глубинном строении очаговой области и происходящих в ней тектонических процессах. Геологи получили новые данные, заставляющие пересмотреть прежние представления об условиях возникновения землетрясений в северной Армении. Исследования продолжаются.

В.Г.Трифонов
А.С.Караханян,
А.И.Кожурин

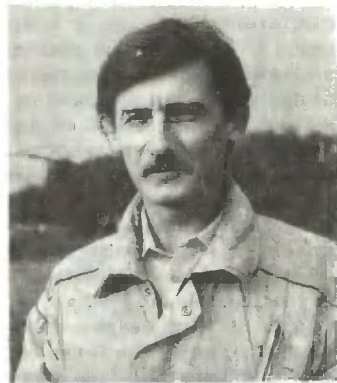
Активные разломы и сейсмичность



Владимир Георгиевич Трифонов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией неотектоники и космической геологии Геологического института АН СССР, заместитель председателя Комиссии АН СССР по изучению природных ресурсов с помощью космических средств. Специалист по неотектонике и современной геодинамике активных областей. Неоднократно выступал в «Природе».



Аркадий Степанович Караханян, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией тектоники Института геологических наук АН АрмССР. Основные научные интересы связаны с проблемами сейсмотектоники и неотектоники Армении и изучением новейших глубинных структур Ближнего Востока и Закавказья с помощью космических снимков.



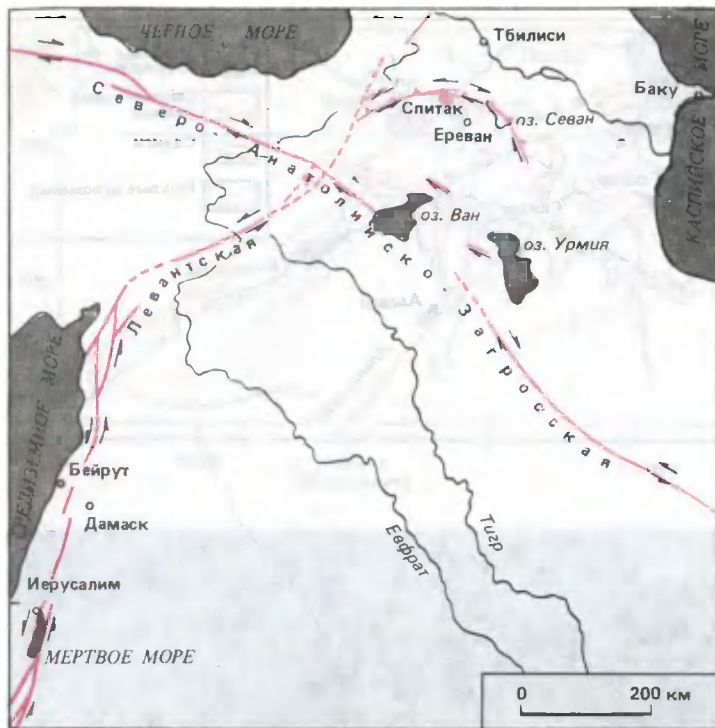
Андрей Иванович Кожурин, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Геологического института АН СССР. Занимается проблемами неотектоники. Один из авторов карты активных разломов СССР и сопредельных территорий.

СОВРЕМЕННАЯ тектоническая активность проявляется в разнообразных движениях земной коры. Они могут происходить плавно или импульсами, образовывать обширные и пологие изгибы поверхности или смещения блоков по разломам. Сильные землетрясения чаще всего связаны именно со смещениями, и Спитакское землетрясение — характерный тому пример. Попытаемся осмыслить связь сейсмичности с движениями коры, прибегнув к трем последовательным масштабным приближениям, т. е. рассматривая сначала весь Ближний Восток, затем более детально его североармянскую часть и, наконец, еще детально район самого землетрясения. Возможность такого «многоярусного» анализа дают космические снимки, аэрофотоснимки и наземные наблюдения.

ПЕРВОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ: КРУПНЕЙШИЕ АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ БЛИЖНЕГО ВОСТОКА

Если отвлечься от частных, активная тектоника Ближнего Востока определяется сочетанием двух пересекающихся крупнейших зон разломов. Одна из них, Северо-Анатолийско-Загросская, рассекает с запада на восток Турцию, возле оз. Ван изгибается и продолжается в юго-восточном направлении вдоль гор Загрос в Иране. Другая зона, Левантская, начинается от залива Акаба в Красном море, тянется на север через Израиль, Ливан и западную Сирию, а на юге Турции изгибается к северо-востоку, продолжаясь до верховий р. Куры. Здесь она прерывается, но через несколько десятков километров ее продолжает Казбек-Цхинвальский разлом, достигающий горы Казбек в Главном Кавказском хребте.

В обеих зонах происходили и проис-



Крупнейшие Северо-Анатолийско-Загросская и Левантская зоны активных разломов Ближнего Востока и Закавказья. Эпицентр Спитакского землетрясения располагается к югу от дуги активных разломов северной Армении, ответвляющейся от Левантской зоны. Движения по всем крупным активным разломом региона обеспечивают сближение Аравии и Кавказа и раздвигание Турции и Ирана.

-  Сдвиги
-  Взбросы и надвиги
-  Предполагаемые участки разломов
-  Эпицентр Спитакского землетрясения

ходят многочисленные землетрясения. Так, вдоль значительной части первой зоны, в 1939—1944 гг. прокатилась волна сильных землетрясений, вызвавших суммарное смещение горных масс вдоль нее на 4 м по горизонтали и на 1 м по вертикали¹. В 1966 и 1976 гг. землетрясения с таким же направлением движений произошли на юго-восточных отрезках зоны. Известны землетрясения и в Левантской зоне. Им обязано, например, разрушение и смещение античного (или ранневизантийского) акведука возле сирийского селения Эль-Хафр. Обилие летописных свидетельств позволило определить средний интервал повторяемости землетрясений интенсивностью не менее 9 баллов в Левантской зоне: в районе г. Дамаска он составляет около 300 лет².

По обоим зонам смещения коры имели преимущественно характер сдвигов, т. е. происходили вдоль разломов в горизонтальном направлении. В Северо-Анатолийско-Загросской зоне сдвиги правые — крылья разломов

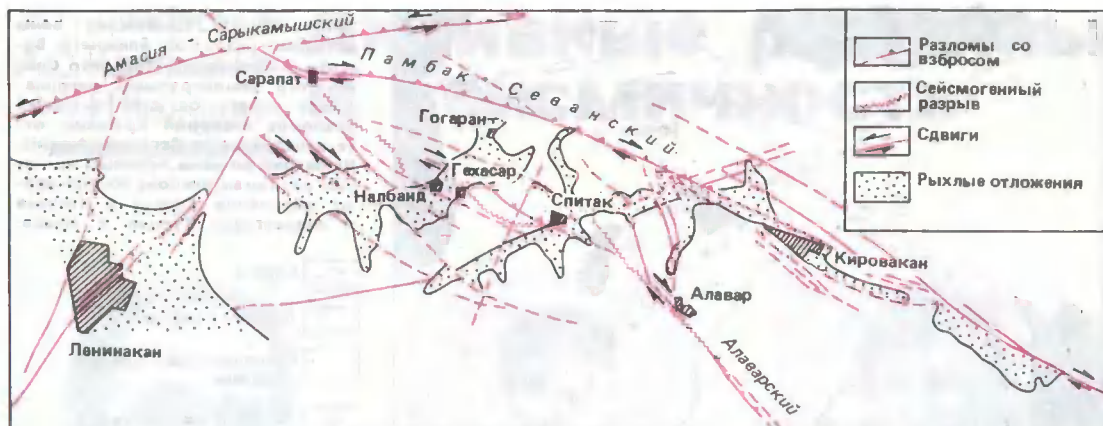
двигались по часовой стрелке (иначе говоря, если бы наблюдатель поставил ноги на разные стороны разлома, то его правая нога «поехала» бы назад, а левая — вперед). В Левантской зоне сдвиги левые, т. е. крылья разломов двигались против часовой стрелки. За многие тысячелетия части пересеченных разломами молодых форм рельефа сместились на сотни метров. В Левантской зоне удалось подсчитать среднюю скорость сдвиговых перемещений — она составила 5—7,5 мм/год. В Северо-Анатолийско-Загросской зоне скорость, вероятно, еще больше.

Таким образом, интенсивные движения по разломам в последние тысячелетия соответствуют здесь высокому уровню сейсмичности. Движения происходили вполне упорядоченно: взаимное расположение зон и направление сдвигов таково, что Аравия и Кавказ сближаются, а территория Анатолии и Ирана как бы раздвигаются (первая — на запад, вторая — на восток).

На севере Левантской зоны, в 50 км западнее турецкого г. Сарыкамыш, от нее ответвляются на восток крупные активные разломы северной Армении, образующие выпуклую на север дугу. Непосредственно к югу от нее и произошло Спитакское землетрясение 1988 г., связанное, таким образом,

¹ Подробнее см.: Трифонов В. Г. Позднечетвертичный тектогенез. М., 1983; Аэрокосмическое изучение сейсмоопасных зон. М., 1988.

² Karam El Hakeem. Analysis of the 1759 A. D. Damascus earthquake. Damascus, 1986.



Дуга активных разломов северной Армении. Она состоит из Амасия-Сарыкамышского и Памбак-Севанского разломов: вдоль первого долины и водоразделы сдвинуты влево, вдоль второго — вправо на сотни метров. У обоих разломов северные крылья подняты и немного наведены на южные, но эта взбросовая составляющая движений многократно уступает сдвиговой. Оба разлома оперяются с юга второстепенными активными разломами, один из которых активизировался в 1988 г. и проявился разрывом земной поверхности при Спитакском землетрясении.



Разрушенная церковь в селении Ши́ракамут.

Фото Н. М. Данилочкина.

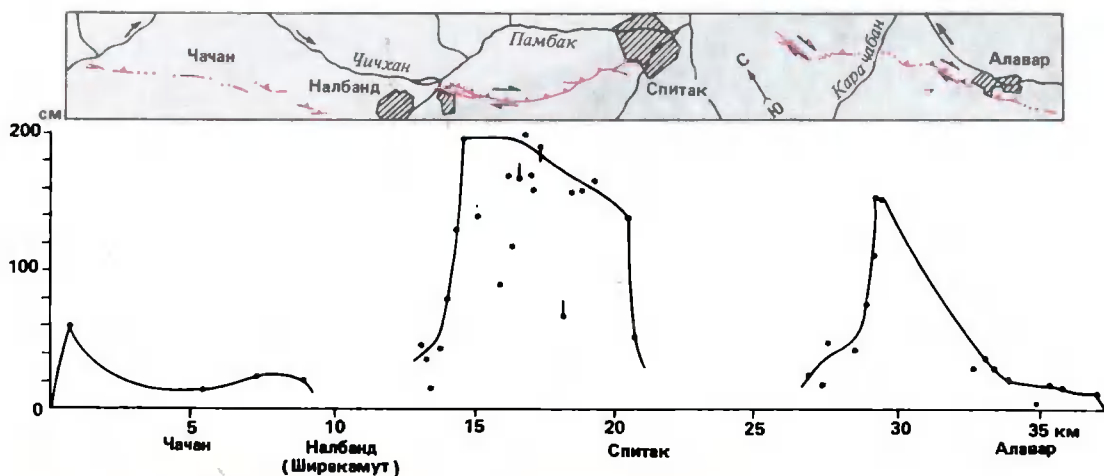
с крупнейшими активными разломами Ближнего Востока.

ВТОРОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ: АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ СЕВЕРНОЙ АРМЕНИИ

Более детальное рассмотрение упомянутой дуги показывает, что она состоит из двух разломов: Амасия-Сарыкамышского на западе и Памбак-Севанского на востоке, сочленяющихся под острым углом. Оба разлома круто наклонены на север, первый под углами $45-60^\circ$, второй — $70-80^\circ$, у обоих подняты северные крылья, но эта вертикальная составляющая движений, сопровождающаяся при наклоне разломов на север небольшим перекрытием крыльев (геологи называют такой тип смещения

взбросом), в несколько раз уступает одно-возрастной ей сдвиговой. По Амасия-Сарыкамышскому разлому происходили левые сдвиги, а по Памбак-Севанскому — правые. Таким образом, эти разломы играют ту же роль, что и рассмотренные выше главные зоны разломов Ближнего Востока: обеспечивают сближение южных частей территории с северными.

Величины как сдвиговых, так и вертикальных смещений зависят от возраста смещаемых форм рельефа. У самых молодых долин и водоразделов величина сдвигов достигает метров, у тех, которым десятки тысяч лет — сотен метров, поскольку их смещения происходили неоднократно. Наиболее интересные сведения получены нами о смещениях двух речных террас в западной части



Разрыв, возникший на земной поверхности при Спитакском землетрясении 1988 г. (вверху) и общее смещение вдоль его длины (внизу).

Остатки крепости VII в. Лори-Берд, пережившей многие землетрясения. При Спитакском землетрясении она оказалась в 8-балльной зоне и испытала незначительные повреждения.

Фото А. А. Никонова.

Памбак-Севанского разлома возле селений Сарапат и Гогаран, поскольку палеонтологические и геоморфологические данные позволили довольно точно определить их возраст (верхней — примерно 70 тыс. лет, нижней — 20—25 тыс. лет)³. Верхняя терраса смещена по разлому вправо на 300 м, а нижняя — на 80—120 м. Отсюда была вычислена средняя скорость сдвига, превосходящая 5 мм/год. Она почти не уступает скорости перемещений в Левантской зоне разломов, что может свидетельствовать и о столь же высокой сейсмической опасности.

Землетрясения последних лет сопровождались дальнейшими подвижками по обоим разломам. Так, при землетрясении с магнитудой 6,9, которое произошло в юго-западной части Амасия-Сарыкамышского разлома 30 октября 1983 г., имели место левый сдвиг на 1 м и поднятие северо-западного крыла разлома до 80 см. При Спитакском землетрясении 7 декабря 1988 г. на участке Памбак-Севанского разлома, ближайшем к очагу, возникла 200-метровая трещина с правым сдвигом стенок на 3 см и поднятием северного крыла до 6 см.

Спитакское землетрясение произошло, однако, не непосредственно на Памбак-Севанском разломе, а южнее него. Здесь выделяется целая система второстепенных активных нарушений, «оперяющих» Памбак-

³ Мкртчян К. А. К характеристике послелюрских тектонических движений бассейна р. Памбак // Вопросы геологии и гидрогеологии Армянской ССР. Ереван, 1956. С. 65—73.



Уступ разлома в зоне максимального взброса на участке между Спитаком и с. Гехасар.

Фото Дж. Боммера.

Севанский и Амасия-Сарыкамышский разломы, причем к югу от первого они простираются на северо-запад, а к югу от второго — на северо-восток. С последними могли быть связаны сильные Ленинаканские землетрясения 1926 г. При Спитакском землетрясении 1988 г. возник 37-километровый разрыв земной поверхности, который с перерывами протягивается от с. Алавар до р. Чичхан. Этот разрыв находится в зоне влияния Памбак-Севанского разлома и занимает относительно него то же положение, что и другие оперяющие его нарушения северо-западного простираения. Мы подробно обследовали его в мае 1989 г., а предварительные наблюдения А. С. Караханян провел еще зимой 1988 г., сразу после землетрясения.

ТРЕТЬЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ: РАЗРЫВ ПРИ СПИТАКСКОМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Разрыв состоит из трех участков, разделенных двумя большими промежутками — юго-восточнее Спитака и в окрестностях пос. Ширакамут (Налбанд). Оба перерыва при-

ходятся в основном на впадины, заполненные рыхлыми наносами, которые затрудняют выход сейсмогенных трещин на поверхность. На всех трех участках смещения при землетрясении имели как взбросовую (с поднятием северо-восточного крыла), так и правостдвиговую составляющие. Их соотношения изменчивы. Так, в 1 км юго-восточнее с. Гехасар взброс не превышает 80 см, а правый сдвиг достигает 180 см. В 2,5 км юго-восточнее практически все смещение на 170 см оказывается взбросовым.

Мы проанализировали, как зависит отношение взбросовой и сдвиговой составляющих от ориентации того или иного отрезка разрыва. Обнаружилось, что на отрезках северо-западного и север-северо-западного простираений (направления 315—340°) чаще преобладает сдвиговая компонента, а на отрезках запад-северо-западного простираения (310—270°) все большую роль приобретает взбросовая. Это означает, что различные формы смещений на отрезках разных простираений обусловлены единым перемещением горных масс, при котором северная и южная части Кавказа сближаются и территория «укорачивается» в меридиональном направлении. Иначе говоря, подвижка при землетрясении стала следствием той же



Сейсмогенный оползень в среднем течении р. Чичхан.
Фото Л. Н. Рыбакова.

тенденции, которая проявилась за последние десятки тысяч лет в смещениях по всем крупным активным разломам Закавказья и Ближнего Востока.

Суммарное смещение на каждом отрезке разлома определялось векторным сложением взбросовой и сдвиговой составляющих. Оно оказалось наибольшим на центральном участке (170—200 см). Вероятно, здесь разлом в очаге землетрясения 1988 г. непосредственно вышел на земную поверхность, тогда как на периферических участках лишь косвенно отразились его продолжения на глубине. Если так, то, продолжая центральный участок от поверхности на глубину (а он наклонен на северо-восток под углом около 60°), можно определить положение гипоцентра главного толчка. Скорее всего, гипоцентр располагается посередине афтершокового роя, т. е. на глубине 10—12 км. Следовательно, гипоцентр и его проекция на поверхность (эпицентр) находятся восточнее с. Гогаран — примерно там, где их положение определяется по данным удаленных сейсмических станций.

Если не на всем, то на значительном протяжении разрыв 1988 г. возник на месте ранее существовавшего разлома. На его юго-восточном участке обнаружены правосдвиговые смещения в долинах р. Карачобан и двух других левых притоков р. Лернаджур на десятки метров и совсем молодого оврага — на 8—9 м. Севернее с. Гехасар у шоссе Спитак — Ленинакан по северо-восточной ветви разрыва почвенный слой взброшен на 30 см, а нижележащий пласт вулканического туфа возрастом около 70 тыс. лет смещен в том же направлении на 120 см, т. е. он испытал до 1988 г. еще одну или даже несколько подобных подвижек. Более того, эта и другие ветви разрыва совпадают с зоной интенсивных деформаций туфа и соседних слоев: они наклонены на юго-запад под углами до 28° , тогда как в других местах залегают почти горизонтально.

Итак, при Спитакском землетрясении 1988 г. произошла подвижка по одному из второстепенных разломов, оперяющих Памбак-Севанский разлом, который, в свою очередь, связан с крупнейшими разломами Ближнего Востока в единую систему. Подвижка при землетрясении была очередным шагом в направленном движении горных масс региона, обуславливающим сближение Аравии и Кавказа и раздвигание Анатолии и Ирана. А если случившееся закономерно, то мы вправе, опираясь на известную геологическую обстановку этого и других сильных землетрясений, попытаться решить обратную задачу: обнаружив признаки подобной обстановки, оценить опасность сильных землетрясений в том или ином регионе.

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ КАК КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Метод использования геологических критериев, и прежде всего данных об активных разломах, для оценки сейсмичности можно представить как последовательное решение трех групп задач, соответствующее трем стадиям работ⁴. На первой выделяются и исследуются новейшие геологические структуры, возникшие в последние 10—30 млн лет. Не все области концентрации деформаций и смещений этого времени сохранили активность до сих пор. Поэтому определяются тенденции развития: ускорение или замедление движений в том или

⁴ Подробнее см.: Трифонов В. Г. Активные разломы и сейсмичность // Современная тектоническая активность территории СССР. М., 1984. С. 24—34; Аэрокосмическое изучение сейсмоопасных зон. М., 1988.

ином тектоническом элементе, перестройка структуры (появление нового разлома на месте старого) и т. п. Это позволяет выбрать потенциальноопасные области.

На второй стадии в выбранных областях определяются, изучаются и картируются разломы и другие структуры, активные в последние тысячи и десятки тысяч лет. Именно к ним приурочено подавляющее большинство известных сильных землетрясений. Для оценки сейсмической опасности важно знать размеры и морфологию активных структур, величины и скорости недавних движений. Но не все активные зоны, даже сходные по этим параметрам, одинаково потенциально опасны сильными землетрясениями, поскольку движения в таких зонах могут происходить как в виде редких, но сильных сейсмических импульсов, так и более плавно, сопровождаясь лишь слабыми толчками. Поэтому необходима третья стадия работ — оценка возможностей сильных землетрясений в активной зоне двумя путями.

Если предполагать, что сильные землетрясения возникнут там, где они происходили (а нам это предположение кажется справедливым), то первый путь — это поиски следов прошлых землетрясений, оценка их интенсивности и средней повторяемости. В. П. Солоненко, Н. А. Флоренсов, В. К. Кучай, А. А. Никонов, В. С. Хромовских и ряд других советских сейсмотектоников убедительно показали возможность выявления сейсмодислокаций, созданных на земной поверхности нарушениями гравитационного равновесия и действием ударной волны при сильном землетрясении. Американцы Р. Е. Уоллес и К. Си предложили другой способ поиска следов прошлых землетрясений. Он основан на выявлении дискретности смещений по активным разломам, свидетельствующей об импульсном характере подвижек, и на определении возраста этих импульсов. Развивая этот способ, нам удалось показать, что в зонах таких разломов, как Хангайский и Кобдинский в Монголии или Таласо-Ферганский на Тянь-Шане, землетрясения с магнитудами не менее 7,5 повторяются через 600—800 лет; их эпицентральные области захватывают отрезки разломов протяженностью в сотни километров.

Другой путь выделения активных зон и их участков, где вероятны сильные землетрясения, предусматривает оценку физической предпосылки сильного землетрясения — возможности высокой концентрации тектонических напряжений в значительном объеме горных пород. Для этого прежде всего необходимо изучить прочность горных пород в приразломной зоне и степень их

раздробленности. Прочные массивы пород более способны концентрировать напряжения, а значит, и генерировать сильные землетрясения. Для относительно неглубоких потенциальных очагов землетрясений состав и залегание пород, определяющие прочность в массиве, как и степень их раздробленности, можно оценить с помощью геологического картирования. Современная раздробленность проявляется и в морфологии активных разломов: более компактные зоны (где подвижки происходят вдоль одной линии) представляют большую опасность, чем зоны, где активные нарушения рассеяны на большой площади.

Для более глубоких коровых очагов важно знать, как ведет себя активный разлом на глубине. Если он насквозь пронизывает значительную толщу и выходит на поверхность, вероятность концентрации напряжений в его зоне ниже, чем у разлома, скрытого на глубине и перекрытого недеформированным слоем или слоем с иным характером нарушений. В последнем случае напряжения концентрируются на границах между активными структурами разных слоев, происходит срыв и скольжение одного слоя по другому, что само по себе может быть источником сильного землетрясения. Однако наибольшую сейсмическую опасность, как показали Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг., представляют сочленения разломов разных направлений, активных в разных слоях земной коры⁵. Комплексный анализ разнообразных факторов, способствующих концентрации напряжений, помогает оценить вероятность возникновения сильного землетрясения в исследуемой части активной зоны.

Мы далеки от мысли предлагать использовать для сейсмического районирования и оценки опасности возникновения землетрясений только геологические критерии, но всесторонне и широко учитывать их необходимо. И дело не только в отсталости нашей сейсмической аппаратуры, а прежде всего в оперативности и относительной дешевизне геологических методов. Даже в такой технически оснащенной стране, как США, еще в 60—70-е годы было выполнено детальное геологическое изучение и картирование активных разломов сейсмичной Калифорнии. Это позволило рационально размещать строительные объекты, в особенности экологически опасные.

⁵ Макаров В. И., Щукин Ю. К. // Геотектоника. 1979. № 1. С. 96—109.

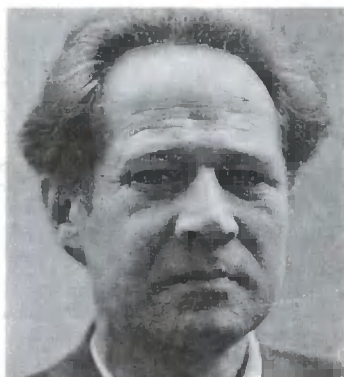


А. А. Никонов

ЗЕМЛЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Армения испытывала и испытывает частые и сильнейшие колебания земли.

Ф. Дюбуа де Монпере



Андрей Алексеевич Никонов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией палеосейсмологии Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Специалист в области движений земной коры, сейсмотектоники и палеосейсмологии. Автор многих работ по этим проблемам, в том числе монографий: Голоценовые и современные движения земной коры. М., 1977; Сейсмотектоника и землетрясения в зоне сближения Памира и Тянь-Шаня (в соавторстве с А. В. Ваковым и И. А. Васеловым). М., 1983. Неоднократно публиковался в «Природе».

КОГДА средства массовой информации называли (часто со слов сейсмологов) 10-балльное Спитакское землетрясение беспрецедентным для Армении, мне вспомнились вынесенные в эпиграф слова известного французского географа, написанные в 1839 г. после путешествия по Кавказу. Почему же в прошлом веке де Монпере не сомневался в сильных и частых землетрясениях в Армении, а современные сейсмологи уверяли, что катастроф, подобных Спитакской, не бывало в северной Армении тысячу лет?

Помимо свойственной каждому человеку забывчивости, дело, мне кажется, в несерьезном отношении многих геологов и геофизиков к землетрясениям доинструментального периода, изучаемым палеосейсмологией. Направление, приверженцем которого является автор, обобщает все возможные свидетельства бывших сейсмических катастроф: археологические, исторические и собственно геологические, т. е. следы землетрясений, запечатленные в рельефе и горных породах. Применение комплекса палеосейсмических данных позволяет заполнить пробелы в каталогах сейсмических событий и на картах сейсмического районирования.

Однако до сего дня палеосейсмология должного развития не получила. Хотелось бы напомнить, что еще в 70-х годах один из основателей палеосейсмогеологического метода исследований, недавно скончавшийся известный иркутский геолог В. П. Солоненко и его ученик В. С. Хромовских пришли к выводу, что палеосейсмогеологические, исторические и археологические данные рушат 8-балльный сейсмический «потолок» Большого Кавказа, появившийся не на научной, а на конъюнктурной основе¹. Эти же слова применимы к Малому Кавказу и, конечно, к Армении.

В нашей огромной стране, где сейсмически опасными теперь считаются уже 40 % территории, трудно отыскать другой район, где бы свидетельства разрушительных сейсмических событий сохранились в таком количестве, как в Армении.

Великий просветитель Месроп Маштоц создал армянский алфавит уже в начале V в., и письменная культура народа, несмотря на его полную драматизма историю, непрерывно поддерживалась в многочисленных монастырях с тех древнейших времен. В одном только монастыре Макеноцац, на берегу оз. Севан, написанием, копированием и оформлением книг в VII—IX вв. занималось около тысячи монахов. В древних источниках множество различных сведений о землетрясениях — от самых общих до вполне конкретных — с указанием времени и описанием разрушенных городов.

Так, уже в самой ранней «Истории Армении» Мовсеса Хоренаци (480 г.) приводятся не только легенда о боге Торке, ударяющем по твердой скале так, что она распадается на куски, но и свидетельства о разрушении землетрясением в IV в. г. Мцурна (примерно в 120 км от Спитака), построенного в 301 г. Правитель города повелел развалить «разобрать и заново построить город более нарядный»².

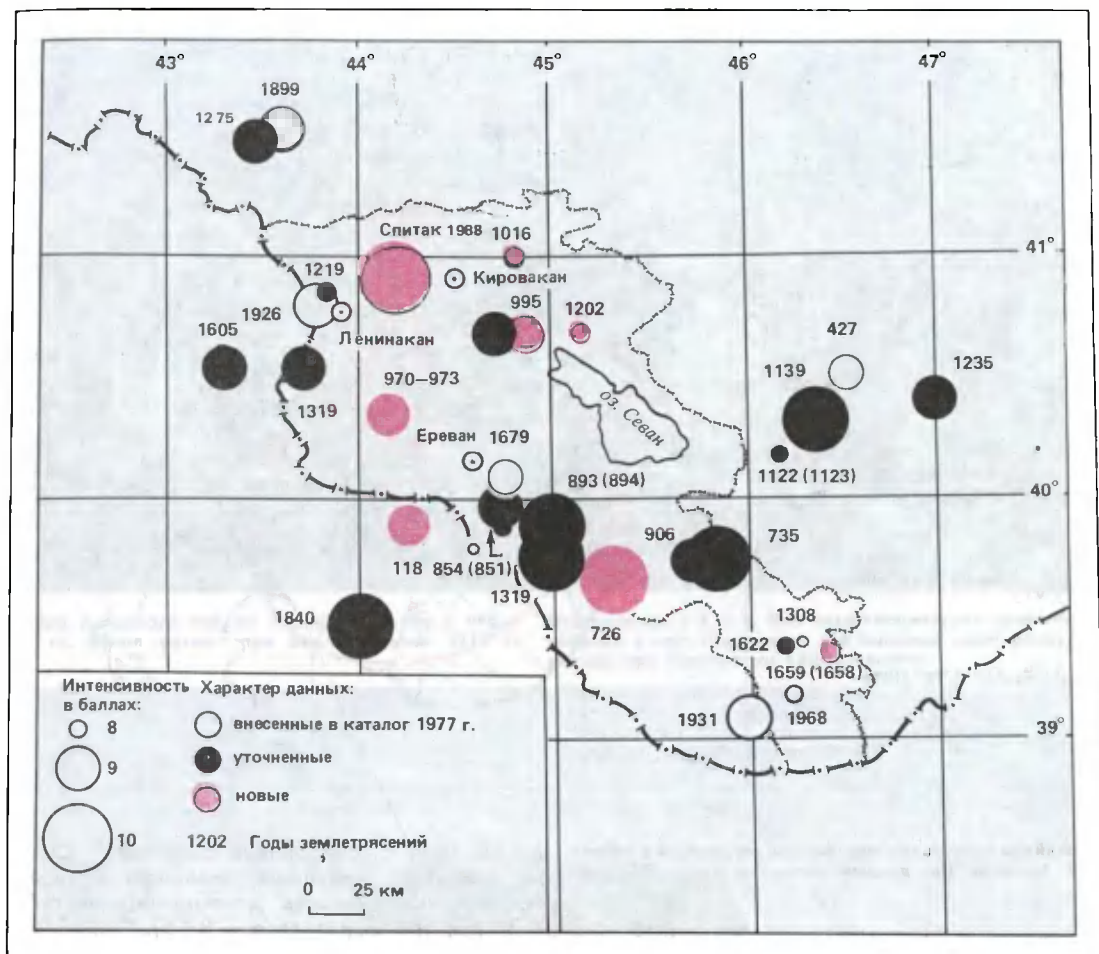
Не нужно быть специалистом, чтобы увидеть признаки сильных землетрясений, происходивших на многострадальной земле Армении, в знаменитом народном эпосе «Давид Сасунский», сложенном в VIII—IX вв.³ На странице 158 читаем:

Сасунский Мгер и Мсра-мелик
Сошлись, взялись,
Вступили в бой.

¹ Солоненко В. П., Хромовских В. С. Мощные землетрясения Большого Кавказа // Природа. 1974. № 6. С. 35—47.

² Мовсес Хоренаци. История Армении. Ереван, 1968.

³ Давид Сасунский. Армянский народный эпос. Л., 1982.



Эпицентры сильных землетрясений на территории Армении с начала нашей эры (по данным автора).

Земля под их ногами вспахивалась.
Как будто бы плугами вспахивалась.
Объяли твердь и землю стук и гром.
Мир дрожал от ударов и толчков.

А на странице 274 новое описание:

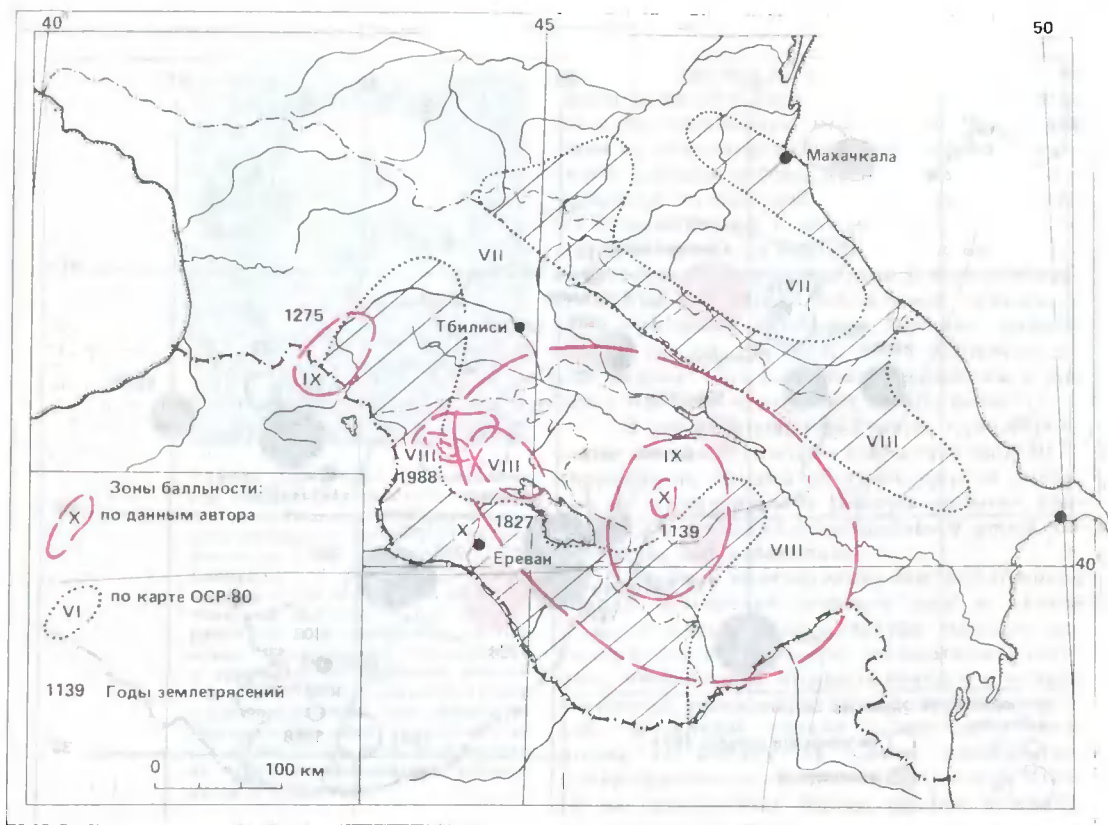
...Земля загудела, взвыла, как пес от удара.
Как под плугом, что сорок волов волокут,
Распоролась, взрыхлилась земля!
Тучи пыли небо и землю затмили,
Это пыльная мгла и за сутки осесть
не могла...

В эпосе точно даны признаки именно сильных землетрясений («горы в долину свергаются», «давала трещину земля», «распоролась, взрыхлилась земля»)! Несомненно, речь идет о катастрофических землетрясениях в 10 баллов и более по существующей 12-балльной шкале сейсмической интенсивности.

Уже этих строк достаточно, чтобы провести в Армении палеосейсмогеологические исследования и выявить очаги катастрофических землетрясений. Они наверняка обнаружили бы в северной Армении, и в том числе в эпицентральной зоне Спитакского землетрясения, следы многократных сильнейших землетрясений. Но этот шанс реальной оценки сейсмической опасности, к сожалению, был упущен.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ИЗ-ЗА КОТОРЫХ ПЕРЕНОСИЛИСЬ СТОЛИЦЫ

Пожалуй, самое древнее землетрясение, поддающееся современной научной обработке, — это землетрясение 735 г. (по комплексу данных можно определить его координаты, глубину очага, интенсивность, магнитуду и т. п.). Оно разразилось в местности Вайоцзор (Долина стенов) к югу от Севана в верховьях р. Арпа (примерно 200 км



Изосейсты нескольких сильных землетрясений в северной Армении (по данным автора и карте ОСР-80).

от Спитака). Вот как оно описано свидетелями: «Частые землетрясения и сверканье огня, гром и пламя гнева божьего и молнии содрогали весь край, раскалывались скалы, разрушались холмы, сравнивались горы, заваливались источники ... опустошались дворцы, обрушивались дома на своих обитателей»⁴. Толчки повторялись 40 дней. Считается, что при этом землетрясении погибло около 10 тыс. человек, в том числе из-за оползней, обвалов и камнепадов, т. е. сейсмогравитационных дислокаций. С помощью аэрофотоснимков и наземных геоморфологических исследований ленинканскому геофизику Г. С. Гаспаряну удалось обнаружить место, где следы землетрясения сохранились до сих пор. Уточнена локализация эпицентральной области и магнитуда⁵. В новом каталоге сильных землетря-

сений 1977 г. она сильно занижена⁶. Судя по масштабу нарушений рельефа и числу жертв, интенсивность должна оцениваться в 10 баллов (в каталоге — 8 ± 1). Подобное землетрясение разразилось в Вайоцдзоре и в 906 г.

Более подробные сведения о сейсмических катастрофах дошли до нас из Двина — древней столицы Армении, располагавшейся в Араратской долине к юго-востоку от Еревана (примерно 120 км от Спитака). Средневековые армянские историки сообщают, что этот город разрушался «страшными землетрясениями» в 854 (851), 858, 863, 869, 893 (894) гг. Последнее землетрясение считается сильнейшим. Довольно полное его описание находим у Иованнеса Драсханакертци (40-е годы IX в. — 925 г.): «...в нежданный час, среди ночи в городе Двине произошло страшное землетрясение — сильные толчки и грохот, ужас и погибель обрушились на жителей города, до основания разрушившегося. (...)

⁴ Памятники армянской агиографии. Ереван, 1973. С. 68.

⁵ Гаспарян Г. С. Сейсмогеология юго-запада Армянской ССР (автореферат дисс.). Иркутск, 1987.

⁶ Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР / Под ред. Н. В. Кондорской и Н. В. Шебалина. М., 1977.

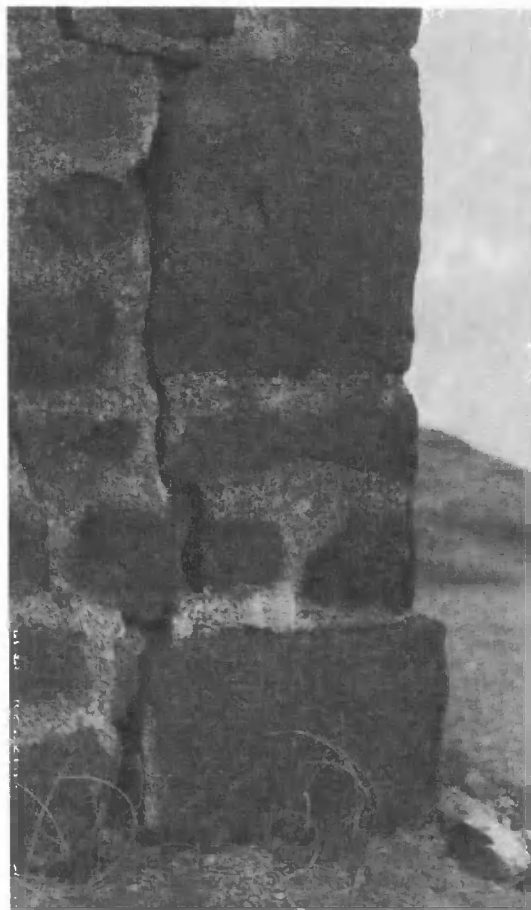


Остатки Анийского собора в Ани. Построен в 980—1101 гг. Купол рухнул при землетрясении 1319 г.

Построенная в XIX в. без антисейсмических приемов церковь в пос. Ширакмут (10-балльная зона) разрушилась при Спитякском землетрясении.

Фото А. А. Никонова.





Угол, отбитый у нижней из сохранившихся Севанских церквей, по-видимому, при сильном землетрясении 1827 г.

Фото А. А. Никонова.

И даже богом созданная церковь патриаршего дома (кафедральный собор Григория Просветителя. — А. Н.), как и другие прочные часовни, с грохотом разваливаясь, низверглись вниз, представляясь зрителю страшными бесформенными горами камней, и тут же — груды задавленных, погребенных под развалинами, распростертых на земле мертвых тел...»⁷

В каталоге 1977 г. интенсивность этого землетрясения 8—9 баллов (± 1), магнитуда — $5,3 \pm 1$. Но полное уничтожение города (несомненно, тщательно отстроенного после предшествующих толчков) и гибель большей части его жителей — резуль-

тат по меньшей мере 10-балльных сотрясений.

Вообще, с Двинскими землетрясениями IX в. еще много неясного. С точностью ± 20 км они помещаются в одну эпицентральною область и называются Двинскими только потому, что древние авторы упоминали единственный пункт, подвергшийся разрушению, — Двин. Не потому ли, что он был столицей? Но при сильных землетрясениях разрушения в Двине могли происходить и в случае, если эпицентр располагался в десятках километров. Тогда и основные параметры землетрясений, включая интенсивность и магнитуду, окажутся более высокими.

Несовпадение эпицентров Двинских землетрясений (или части из них) представляется вполне вероятным еще и потому, что изучение подобных событий более близкого времени почти не дает примеров такого скопления последовательных разрушительных землетрясений в одном месте. А вот цепочки мигрирующих очагов хорошо известны. Тогда ничто не мешает допустить, что эпицентр одного или нескольких разрушительных землетрясений IX в. мог оказаться на месте Еревана или западнее.

Но даже если отнести эпицентры всех событий IX в. к Двину и принять интенсивность только одного землетрясения 893 г. в 10 баллов, этого достаточно, чтобы не строить в 50 км от этого места атомную электростанцию, что было сделано 20 лет назад, и вообще не размещать ее на армянской земле. Однако и этот шанс использования исторических данных для оценки сейсмического потолка Армении был упущен.

Как ни прекрасна была древняя столица Армении Двин в великолепной Араратской долине, но после катастрофы 893 г. столицу пришлось перенести на Карсское плоскогорье, в долину р. Ахуриян (ныне территория Карсского вилайета Турции). Величественные развалины храмов и дворцов Ани, столицы государства багратидов в X—XIII вв., до сих пор напоминают о высокой культуре и строительном искусстве армянского народа, но одновременно свидетельствуют и о разрушительном действии подземной стихии.

Как и множество других прекрасных городов, новая столица Армении была разгромлена при внутренних войнах, а затем полчищами Чингисхана. С огромными потерями пережив эти удары судьбы, разрушительного землетрясения 1319 г. город уже не выдержал. Значительная часть жителей отправилась на поиски новых земель. Тогда-

⁷ Иоаннес Драсханакертци. История Армении. Ереван, 1986. С. 91

то и были основаны армянские колонии в Крыму, Приазовье и Предкарпатье. Между прочим, древний Ани располагался менее чем в 40 км от Ленинакана...

Изучая развалины, можно получить немало данных о катастрофических землетрясениях прошлого. Характер разрушения здания, расположение трещин, подвижки блоков и другие признаки позволяют определить интенсивность неизвестных катастроф. Особенно велика возможность использования такого метода в Армении из-за обилия памятников каменной архитектуры. Сравнительно недавно в результате такого рода исследований С. А. Пирузяну с коллегами удалось «открыть» землетрясение 970—973 гг., разрушившее замечательный памятник архитектуры — храм Звартноц к западу от Еревана⁸, а автору этих строк — землетрясение 995 г., уничтожившее храмы на берегах Севана. Но пока сейсмологические возможности «каменной летописи» используются очень слабо.

Комплекс палеосейсмологических данных позволяет утверждать, что Гек-Гельское (Ганджинское) землетрясение 1139 г. на Малом Кавказе (в 30 км южнее Кировабада) достигало интенсивности в 10 баллов и имело магнитуду $7,3 \pm 0,7$; 9-балльная зона при этом, видимо, захватывала и часть современной территории Армянской ССР к востоку от Севана⁹.

КАТАСТРОФЫ НОВОГО ВРЕМЕНИ

Наиболее жестокими в Новое время были известные историкам и сейсмологам Гарнийское землетрясение 1679 г., Цахкадзорское 1827 г. и Арабатское 1840 г. Однако не все важные исторические источники проанализированы должным образом. Вот описание Гарнийского землетрясения, неизвестное сейсмологам: «Вся земля Арабатская дрожала и колебалась... это землетрясение, которое пришло со стороны Гарни, разрушило все строения и красивые жилища, и монастыри, и церкви... До основания рухнула Ереванская крепость, мечеть и минареты. Во многих местах стали бить родники, а многие родники иссякли. Обрушились скалы и, заполнив арыки, закрыли путь воде. Многие села обратились в развалины... Мертвых было больше, чем живых»¹⁰.

В этом и других описаниях (кстати, приведенных в новом каталоге) легко найти такие признаки, которые отвечают полному 9 баллам по современной шкале интенсивности. Но в каталоге 1977 г. указаны 8—9 баллов, принятые после ряда оговорок. И магнитуда землетрясения, скорее всего, занижена. А ведь это оценка важнейшего для Армении события, при котором погибло не менее 10 тыс. человек (при тогдашней-то плотности населения!).

Именно при этом землетрясении разрушился знаменитый храм Гарни, восстановленный спустя 300 лет, в 70-х годах нашего столетия по решению ЮНЕСКО. Полное обрушение храма в 1679 г., вероятно, связано не с дефектами проекта и строительства и даже не с исключительной силой сейсмических толчков, а с причиной весьма прозаической. Местные жители выплавили из стен и конструкций скреплявшие их свинцовые бруски (пироны), бывшие важным элементом антисейсмического каменного строительства в древности.

Явно занижены и оценки Цахкадзорского землетрясения 1827 г. (6—7 баллов), хотя при определении интенсивности привлекались исторические и архитектурные источники, производились некоторые расчеты и даже специальные эксперименты¹¹. В 7 баллов оценили максимально возможную интенсивность сотрясений во всей Памбакско-Северосеванской зоне, к которой относится и Спитак.

Недавно нам удалось обнаружить несколько забытых источников с информацией, которая принципиально изменяет эти оценки. Неизвестным, например, оставалось такое свидетельство: «Воздвигнутый в память майора Монтрезора монумент недалеко от Амамлов 8 октября прошлого года (1827, старый стиль.— А. Н.) от землетрясения совершенно разрушился, так что остался только один фундамент»¹². Селение Амамлы — не что иное, как нынешний Спитак. Вот и судите об утверждении, что до 1988 г. здесь не было подобных землетрясений 1000 лет!

По палеосейсмологическим данным, для 13 населенных пунктов мы определили основные параметры Цахкадзорского землетрясения. Конечно, оно оказалось зна-

⁸ Пирузян С. М., Матевосян А. С., Шахсварян Л. В. // Историко-филолог. журн. 1984. № 3. С. 189—193.

⁹ Никонов А. А., Никонова К. И. // Пробл. инженерной сейсмологии. 1986. № 27. С. 152—183.

¹⁰ Закарий Канакертци. Хроника. М., 1969. С. 196—197.

¹¹ Пирузян С. А. // Инженерная сейсмология. 1986. № 3—4. С. 45—60.

¹² Акты, собранные Кавказской археографической комиссией. Т. VII. Тифлис, 1878. С. 324.

Сильнейшие исторические землетрясения на Малом Кавказе

Название	Год	Интенсивность в эпицентре, баллы			Число погибших, тыс. чел.*
		по оценкам С. А. Пирюзьяна, 1967 г.	по каталогу 1977 г.	по оценкам автора, 1988 г.	
Вайоцдорское	735	—	8 ± 1	10	~10
Двинское	854(851)	—	8 ± 1	—	~12
Двинское	869	7	—	—	~112
Двинское	893(894)	8	$8-9 \pm 1$	≥ 10	~70—150
Гек-Гельское (Ганджинское)	1139	—	9 ± 1	$10 \pm 0,5$	~190—230
Гарнийское	1679	—	$8-9 \pm 0,5$	$9 \pm 0,5$	>10
Цахкадзорское	1827	6—7	$7-8 \pm 0,5$	$8,5 \pm 0,5$	
Арабатское	1840	8	$8-9 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	>1 (только в долине р. Аракс)
Ленинаканское	1926	—	$8-9 \pm 0,5$	8,5	0,35
Спитакское	1988	—		10	25—50

* Для землетрясений VIII—XIX вв., по данным исторических хроник.

чительно сильнее, чем указано в каталоге, — до $8,5-9$ баллов (см. табл.).

Сильнейшее землетрясение прошлого века в Армении — несомненно, Арабатское 1840 г. Его эпицентральной зона располагалась за пределами Армянской ССР, на территории Турции и Ирана. Оно характеризовалось значительными глубиной очага и магнитудой (по каталогу 1977 г. — 18 км и $6,7 \pm 0,5$ соответственно) и охватило на большом протяжении долину Аракса. От сильных толчков пострадали селения в обширной области (от Арташата до Нахичевани), в земле возникли крупные трещины, а сорвавшаяся с северо-восточного склона Большого Арабата каменно-ледяная масса распространилась на 20 км и засыпала крупное селение Ахура у подножья, где было заживо погребено свыше тысячи человек.

Сильные землетрясения текущего столетия — Ленинаканское 1926 г. и Зангезурское 1931 г. с интенсивностью $8-9$ баллов и достаточно тяжелыми последствиями — известны специалистам, хотя и стали явно забываться в последние десятилетия.

Что же следует из этой весьма неполной истории землетрясений Армении? За последние 12 столетий в разных ее частях многократно происходили 9-и и 10-

балльные землетрясения. Представление об их отсутствии на ряде участков — в значительной мере результат несовершенства методики определения «потолка» сейсмической опасности, невнимание к свидетельствам истории, в том числе геологическим. Несомненно, что при сильнейших землетрясениях на Малом Кавказе образовались крупные поверхностные нарушения гравитационного и сейсмотектонического характера — трещины, рвы, обвалы, оползни и т. д. А это не только свидетельство высокой (не менее 9 баллов) интенсивности породивших их землетрясений, но и важная предпосылка применения на Кавказе вообще и Малом в частности палеосейсмогеологического метода для оценки сейсмической опасности. К сожалению, призывавшие его использовать еще 15 лет назад В. П. Солоненко, В. С. Хромовских, как и автор этих строк, остались в «подавленном» меньшинстве. Парадоксально, но на нормативной (обязательной для строителей) карте общего сейсмического районирования ОСР-78 Армения попала в 7- и 8-балльную зону.

Вспомним слова Н. К. Рериха: «Не знающий прошлого не может думать о будущем». Наглядных предостережений земля Армении за прошедшие тысячелетия давала много. Трагический, потрясший души урок декабря 1988 г. заставляет даже тех, чьи головы убелены сединами, сесть за парты начальных классов истории.

Г.А.Соболев

Проблема прогноза землетрясений



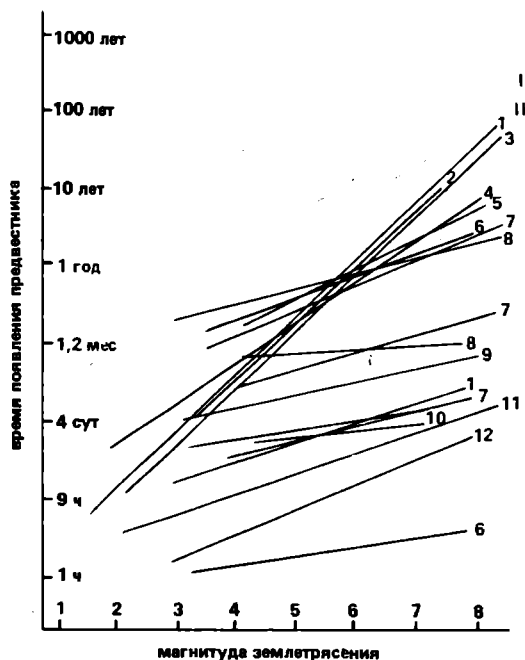
Геннадий Александрович Соболев, доктор физико-математических наук, заместитель директора и заведующий отделением сейсмологии Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Основные работы посвящены разведке полезных ископаемых, поиску предвестников и моделированию землетрясений. Лауреат Государственной премии СССР.

ОЧАГИ большинства разрушительных землетрясений расположены в земной коре на глубине до 40 км. Сам очаг представляет собой разрыв или систему разрывов, распространяющихся в Земле со скоростью несколько километров в секунду. Размеры очагов разрушительных землетрясений составляют обычно десятки километров. Движение бортов разрывов приводит к излучению сейсмических волн, которые достигают земной поверхности в считанные секунды. Они-то и вызывают землетрясения.

При сильнейших (катастрофических) землетрясениях из окружающего очаг объема горных масс выделяется энергия порядка 10^{18} Дж, что соответствует магнитуде землетрясений порядка 8. Интенсивность колебаний земной поверхности в эпицентре такого землетрясения при небольшой глубине очага может достигать 11—12 баллов.

Проблема прогноза землетрясений состоит, как известно, в определении с удовлетворительной вероятностью трех главных характеристик: магнитуды землетрясения, его места и времени. Но сначала надо договориться, какой магнитуды землетрясения следует предсказывать.

Магнитуда пропорциональна логарифму энергии сейсмических волн, излучаемых очагом. Практика показывает, что опасность для населения и сооружений представляют землетрясения с интенсивностью колебаний на поверхности 7 баллов и более (по принятой в СССР 12-балльной шкале MSK-64). При интенсивности 7 баллов серьезно повреждаются кирпичные, каркасные и панельные дома. Такую балльность может вызвать землетрясение с магнитудой больше 5, если его очаг расположен в десятках километрах от земной поверхности (известное Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. имело магнитуду всего 5,1, но при глубине очага около 8 км возбудило под старым городом колебания интенсивностью до 8 баллов). Таким образом, прогноз земле-



Зависимость времени проявления предвестников от магнитуды землетрясения (по данным С. И. Зубкова). Долгосрочные предвестники, основанные на вариациях таких параметров, как деформации земной коры (1), геомагнитное поле (2) и сейсмический режим (3), проявляют более тесную связь с магнитудой землетрясения, чем остальные предвестники, связанные с вариациями скорости сейсмических волн (4), выделения радона (5), электросопротивления горных пород (6), уровня подземных вод (7), дебита природных газов и флюидов (8), земных токов (9), электромагнитного излучения (10), форшоков (11) и атмосферного электричества (12). Прямая 1 соответствует средним периодам повторения землетрясений, прямая 11 — максимальному времени проявления всех известных предвестников; видно, что время проявления предвестников составляет примерно 10 % интервала между землетрясениями.

трясений с магнитудой 5 и выше, несомненно, представляет практический интерес.

Теперь о точности, с которой определяют место землетрясения и размеры опасного района. Площадь 7-балльной зоны растет с увеличением магнитуды. Для землетрясения с магнитудой 5, 6, 7 и 8 она составляет в среднем 100, 500, 3000 и 20 000 км², соответственно. Например, 7-балльная зона Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г., имевшего магнитуду около 7, захватила площадь 4000 км². Если место землетрясения прогнозируется с точностью в десятки километров, то это дает возможность достаточно надежно определить подвергающийся угрозе район и принять меры пре-

досторожности. Если же в качестве опасных указываются огромные районы, протягивающиеся на несколько тысяч километров, то такие прогнозы трудно использовать на практике.

ВИДЫ ПРОГНОЗА

Прогнозы землетрясений бывают долгосрочными (несколько лет), среднесрочными (месяцы) и краткосрочными (дни и часы), причем каждый вид прогноза имеет вполне конкретную практическую направленность. Долгосрочный — дает возможность планировать землепользование и застройку в сейсмоопасных районах. Среднесрочный — позволяет привести в готовность аварийные службы, накопить запасы медикаментов и продовольствия и т. д. Краткосрочный — может быть использован для принятия ряда чрезвычайных мер, начиная с остановки особо опасных производств и кончая эвакуацией населения.

К надежности краткосрочного прогноза ввиду его большого социального значения должны предъявляться самые строгие требования. Особенно высока ответственность ученых и должностных лиц при объявлении «сейсмической тревоги». Чтобы было понятно, насколько непроста здесь ситуация, напомним о знаменитом прогнозе китайских сейсмологов. В 1975 г. они неоднократно объявляли тревогу в районе относительно небольшого города Хайчена, даже проводили эвакуацию населения. Несколько тревог оказались ложными, но в условиях аграрного района это не приводило к значительным экономическим потерям. Зато одна из эвакуаций была проведена за 2 ч до 9-балльного землетрясения и позволила сохранить тысячи жизней. Однако уже в следующем году, обнаружив предвестники надвигающегося землетрясения, ученые не решились объявить тревогу в г. Таншане с населением 1,3 млн чел. и развитой горнодобывающей промышленностью. Последовавшее землетрясение привело к гибели сотен тысяч людей.

В настоящее время американские сейсмологи ожидают землетрясение умеренной силы (магнитуда 6) в районе Парк-филда (Калифорния). Руководством штата принято решение информировать население о сейсмической тревоге при относительно невысокой вероятности землетрясения: свыше 37 % в течение 3 ближайших суток или 22 % в течение суток. Такой вероятностный уровень вполне достижим при хорошем обеспечении сейсмоопасного района аппаратурой для регистрации большого ком-

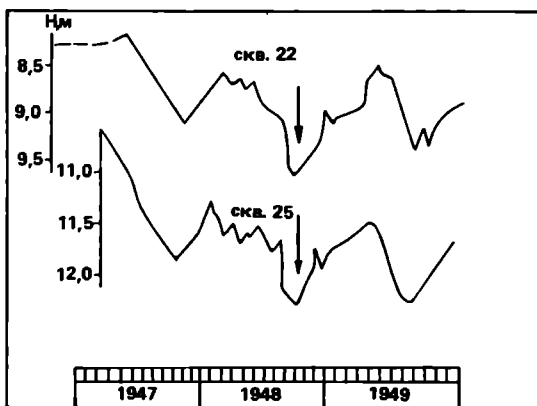
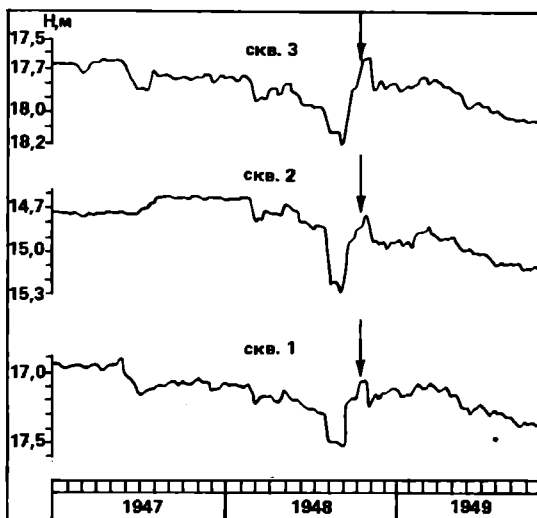
плекса предвестников и незамедлительном анализе всех данных на ЭВМ.

В результате широкого развертывания наблюдений в сейсмоактивных районах мира за последние 20 лет обнаружено немало предвестников землетрясений. К наиболее надежным и часто повторяющимся я бы отнес так называемое сейсмическое затишье, форшоки, резкое изменение уровня подземных вод в скважинах, сжатие или расширение участков земной поверхности, а также изменение электрического и магнитного полей Земли и электросопротивления горных пород.

Исследователями разных стран сделано немало обобщений относительно особенностей пространственно-временного распределения предвестников, их величины и связи с очагом землетрясения. В частности, обработав данные более чем по тысяче предвестников, сотрудник нашего института С. И. Зубков обнаружил, что в большинстве случаев время появления предвестника относительно момента землетрясения (ΔT) прямо пропорционально магнитуде (M) последнего. При этом время появления долгосрочных предвестников, возникающих за несколько лет до сильных землетрясений с магнитудой больше 7, примерно в 10 раз меньше периода повторения землетрясений. Это хорошо согласуется с представлениями С. А. Федотова о стадии активизации сейсмичности, занимающей примерно десятую часть сейсмического цикла — периода между землетрясениями одной и той же энергии в одном и том же месте.

Весь цикл включает три основные стадии: сейсмического покоя, активизации и разрядки. Стадия активизации, для которой характерен высокий уровень тектонических напряжений в районе готовящегося сильного землетрясения, завершается крупным сейсмическим событием и последующими толчками — афтершоками. На следующей стадии происходит частичная разрядка напряжений, а также перераспределение их в соответствии с новой системой разрывов. Каждая из указанных стадий занимает примерно 10—15 лет при сильнейших землетрясениях с магнитудой около 8. Основная же часть сейсмического цикла приходится на стадию сейсмического покоя, длящуюся более 100 лет. На этой стадии пониженные после землетрясения напряжения медленно накапливаются до некоторого уровня, достаточного для следующей активизации сейсмичности.

Долгосрочные предвестники, возникающие на стадии активизации, отражают высокий уровень тектонических напряжений



Пример регистрации предвестников Ашхабадского землетрясения 1948 г. (по данным М. Р. Милькиса). Уровень подземных вод сначала падал в скважинах, удаленных от эпицентра на 90 км (вверху), и только затем вблизи эпицентра (внизу), т. е. наблюдалась миграция предвестников к эпицентру со скоростью около 5 км в сутки. Стрелками показан момент землетрясения.

и ускоренное образование трещин в месте будущего очага. Такие предвестники (деформации земной коры, вариации магнитного поля и сейсмического режима и др.) обнаруживают, как уже отмечалось, прямо пропорциональную зависимость между временем их появления и магнитудой готовящегося землетрясения. Для краткосрочных же и среднесрочных предвестников (вариаций электросопротивления пород, уровня подземных вод, земных токов, электромагнитного излучения и др.) эта зависимость выражена гораздо слабее,

Изменение уровня подземных вод перед Таншаньским землетрясением 1976 г. (магнитуда 7,8) в Китае — еще один пример миграции предвестников. Сначала зона проявления предвестника находилась вдали от эпицентра землетрясения, а затем переместилась к нему.

Область распространения предвестника:



за 3—5 дней до землетрясения



за 1—2 дня



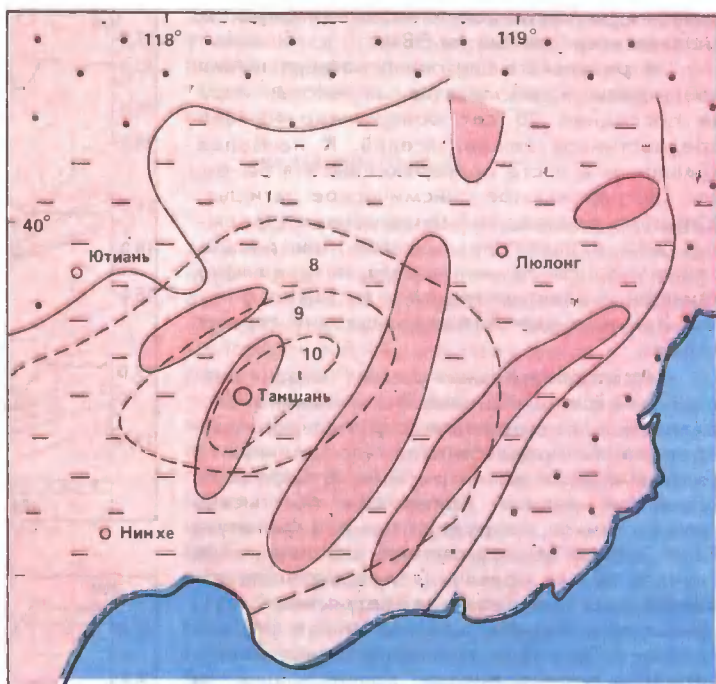
за 16 часов



интенсивность колебаний земной поверхности, в баллах, и границы между зонами разной балльности



эпицентр землетрясения



что свидетельствует лишь о косвенной связи таких предвестников с землетрясением.

Значительную сложность при определении места очага будущего землетрясения по наблюдениям за предвестниками представляет большой ареал распространения последних: расстояния, на которых наблюдаются предвестники, в десятки раз превышают размеры разрыва в очаге. При этом краткосрочные предвестники наблюдаются на больших расстояниях, чем долгосрочные, что подтверждает более слабую их связь с очагом.

Дополнительные трудности создает так называемое мозаичное распределение краткосрочных предвестников. Оно неоднократно отмечалось китайскими исследователями, а в нашей стране проанализировано в обобщающих работах И. Л. Нерсесова. Явление мозаичности было воспроизведено нами в экспериментах по деформированию и разрушению больших блоков горных пород. Эти опыты позволили установить, что мозаичность предвестников связана с неоднородностью поля механических напряжений, особенно ярко проявляющейся перед разрушением пород.

Можно считать установленным, что предвестники возбуждаются и вне очага землетрясения. Кроме того, отмечена миграция предвестников от периферии «зреющего»

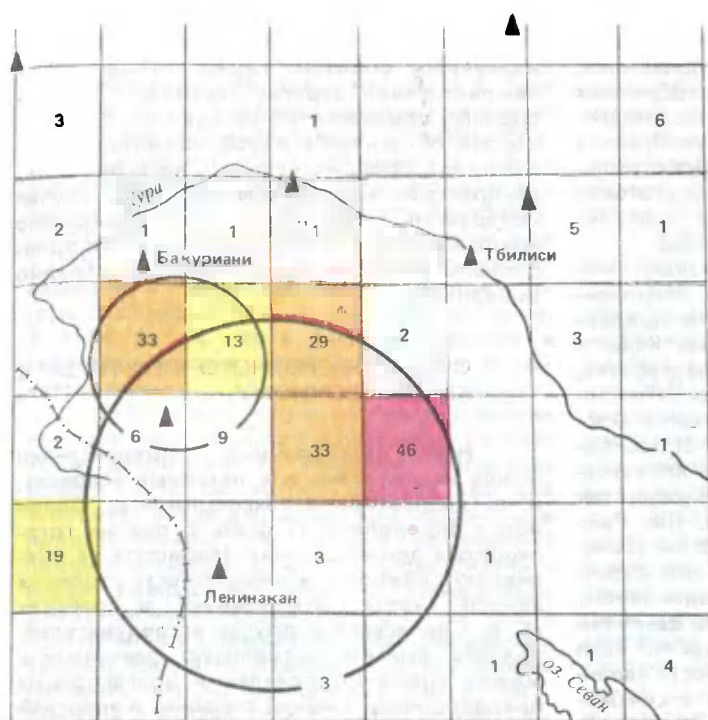
землетрясения к его эпицентру. По данным М. Р. Милькиса, скорость, с которой мигрировали вариации уровня подземных вод перед Ашхабадским землетрясением, составила 5 км/сут. Перед Таншаньским землетрясением в Китае она достигла 30 км/сут. Причем независимые определения вариаций содержания радона в воде, сделанные Х. Ли, показали, что этот предвестник переместился за сутки на 25—30 км.

Приведенные примеры относятся к довольно надежным, так как зарегистрированы в нескольких пунктах наблюдений. Менее достоверные данные свидетельствуют, что направления миграции предвестников могут меняться по мере подготовки землетрясения, как это было отмечено, например, перед Хайченским землетрясением в Китае 31 января 1975 г. (магнитуда 7,3).

В целом же миграция предвестников еще раз доказывает, что они могут возникать вне очага, а область их генерации в десятки раз превышает размеры тех разрывов, которые образуются при землетрясении.

ГИПОТЕЗЫ О ПРИРОДЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ

Базируясь только на полевых наблюдениях, трудно выяснить природу тех яв-



Фрагмент карты ожидаемых землетрясений на Кавказе, составленной на основании обработки сейсмологических данных в 1985 г. [примерный размер ячейки 33×25 км]. Кругами показаны места произошедших впоследствии землетрясений: Параванского 13 мая 1986 г. с магнитудой 5,6 и Спитакского 7 декабря 1988 г. с магнитудой 6,8—7,0.

Вероятность возникновения землетрясения (p), в %:

20 > p > 10

40 > p > 20

p > 40

▲ Сейсмические станции

лений, которые называются предвестниками землетрясений. По пальцам можно пересчитать случаи, когда землетрясения повторялись в одном и том же месте, да еще оборудованном приборами для регистрации предвестников. А если нет повторяемости, то о каком эксперименте может идти речь? Кроме того, плохо известны свойства вещества в глубинах Земли. Поэтому так важны попытки смоделировать землетрясение в лаборатории, где можно контролировать условия эксперимента, неоднократно повторять его. Неудивительно, что большинство гипотез о природе предвестников возникло на основании опытов с горными породами, подвергаемыми действию высоких давлений и температур. Там же, в лаборатории, отрабатываются и модели землетрясений.

Согласно модели лавинно-неустойчивого трещинообразования, созданной специалистами нашего института, генерация предвестников связана с образованием трещин в земной коре. Суть модели состоит в том, что различные стадии образования трещин (разных масштабов), сопровождаемые изменениями скорости деформирования в очаговой области и вне ее, неизбежно ведут к изменениям физических свойств среды. Отражается это и в вариациях сейсмического режима, т. е. изменениях

числа слабых землетрясений, их величины и пространственного расположения.

Одна из таких ситуаций недавно проверялась автором в лаборатории на простой модели землетрясения, развивающегося в условиях долговременного сейсмического затишья. На множестве образцов размером от десятков сантиметров до нескольких метров были прослежены все этапы образования трещин и установлены три главные стадии подготовки микроземлетрясения.

На первой стадии постепенно накапливались трещины, размер которых на несколько порядков меньше главного разрыва. Затем мелкие разрывы объединялись в более крупные. На заключительной стадии образование разрывов лавинообразно нарастало, причем все они локализовались в области будущего главного разрыва. Характерно, что даже в такой упрощенной модели удалось выделить периоды повышения сейсмической активности и затишья, аналогичные наблюдающимся перед реальными землетрясениями.

Эксперименты подтвердили справедливость основных положений модели лавинно-неустойчивого трещинообразования. В частности, было доказано, что изменения поля упругих деформаций и сейсмического режима можно рассматривать как долго-

срочные предвестники. Однако в рамках данной модели пока не удалось обнаружить надежные краткосрочные предвестники.

На объяснение природы долгосрочных предвестников претендует и гипотеза подготовки землетрясения за счет уплотнения вещества, предложенная И. П. Добровольским. Последняя стадия процесса подготовки объясняется в ней все тем же лавинно-неустойчивым трещинообразованием.

Другая, дилатантно-диффузная, модель землетрясения разработана американскими учеными. В ней появление предвестников объясняется поступлением воды в очаговую зону будущего землетрясения, после того как из-за резкого роста тектонических напряжений там начинается массовое образование микротрещин. В последнее время эта модель дополнена количественными оценками. Рассматривая вариант так называемого мягкого включения, Дж. Райс показал, что состояние динамической (сейсмической) неустойчивости в реальном массиве пород должно наступать с запаздыванием, так как изменяется внутрипоровое давление и начинается фильтрация жидкости. Если исходить из предполагаемой скорости увеличения механических напряжений в сейсмоопасном районе, равной 1 кг/см^2 в год, то расчетное время «запаздывания» землетрясения по сравнению с началом фильтрации воды в очаговую зону должно составлять несколько месяцев, т. е. этот эффект приложим только к долгосрочным и среднесрочным предвестникам. Вопрос о природе краткосрочных предвестников в рамках данной модели остается открытым.

В разных странах широко развивается также гипотеза появления предвестников землетрясений за счет крипа — постепенно ускоряющегося движения бортов уже существующего разлома. Классические лабораторные эксперименты в рамках этой гипотезы выполнил в США Дж. Дитрих. Перед подвижкой, рассматриваемой как аналог землетрясения, на лабораторной модели разлома последовательно наблюдались два явления. Вначале регистрировался медленный (несколько сантиметров в секунду) крип. Затем вдоль разлома или его части он экспоненциально ускорялся (до десятков и сотен метров в секунду), завершаясь динамической подвижкой и излучением сейсмических волн. Несмотря на привлекательность модели, при объяснении природы краткосрочных предвестников землетрясений она также наталкивается на ряд трудностей. Во-первых, остаются непонятными большой ареал распространения таких предвестников, а также обширность области их генерации. Во-вто-

рых, даже в районе разлома Сан-Андреас в Калифорнии, где данная модель работает наилучшим образом, перед большинством землетрясений зарегистрировать краткосрочные предвестники не удалось. Возможно, это объясняется малой областью развития крипа, предшествующего неустойчивому распространению разрыва. В таком случае обнаружить предварительную миграцию крипа как краткосрочный предвестник принципиально возможно, но практически трудно выполнимо.

ОТ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА К КРАТКОСРОЧНОМУ

Итак, долгосрочные предвестники лучше исследованы и в натурных условиях, и в лабораторном эксперименте, более четко определена их связь с очагом готовящегося землетрясения. Несмотря на очевидную сложность и дискретность строения земной коры, отмеченную в работах М. А. Садовского и других исследователей, удалось выявить устойчивую зависимость между временем появления долгосрочных предвестников, с одной стороны, и энергией и объемом очага землетрясения — с другой. Вместе с тем дискретность среды осложняет и без того мало понятную картину пространственно-временного распределения краткосрочных предвестников с их мозаичностью и эффектом мерцания.

Все это привело к заметному «лидерству» долгосрочного прогноза землетрясений по сравнению с краткосрочным. Так, карты долгосрочного прогноза землетрясений, составляемые с 1962 г. для Камчатки и Курильских о-вов, оправдываются с высокой вероятностью, приближающейся иногда к 80 %. Заблаговременно узнали ученые Молдавии о готовящемся землетрясении 1986 г. в Карпатах. Исходя из сейсмического затишья, предсказано землетрясение 1986 г. в Калифорнии.

В различных районах мира опробована методика долгосрочного прогноза В. И. Кейлис-Борока, Л. Кнопова и др., основанная на приемах распознавания образов. Она зиждется на детальном статистическом анализе вариаций сейсмического режима и позволяет предсказывать интервалы «тревог» в сейсмоопасных районах, на участках в сотни километров¹.

При участии автора статьи выработана методика составления периодически обнов-

¹ См. в этом номере: Кейлис-Борок В. И. Динамика литосферы и прогноз землетрясений.

ляемых карт сейсмоактивных районов, на которых для каждой «элементарной площадки» размером 50×50 км указана вероятность землетрясения той или иной силы в ближайшие 5 лет. Методика основана на анализе комплекса предвестников, главным образом сейсмологических. На одной из таких карт, построенных для Кавказа сотрудниками нашего института и Кавказского регионального центра по прогнозу землетрясений, еще в 1985 г. была выделена прогностическая аномалия в том самом месте, где через три года произошло Спитакское землетрясение. В 1986 г. эта карта была направлена в сейсмологические институты Кавказа. И там «затерялась»...

Дело в том, что у нас не разработан порядок рационального применения результатов долгосрочного прогноза, которыми можно было бы воспользоваться как для усиления наблюдений за краткосрочными предвестниками, так и для проведения профилактических защитных мероприятий с целью уменьшения потерь от ожидаемого землетрясения. Именно поэтому мы не нашли применения и упомянутая карта ожидаемых землетрясений на Кавказе. К этому можно добавить, что на аналогичной карте, построенной в начале 1988 г., четко проявилось «опасное» пятно в Чечено-Ингушетии. 3 августа 1989 г. в этой области произошло землетрясение с интенсивностью до 7 баллов. И снова долгосрочный прогноз оказался проигнорированным — не были своевременно развернуты наблюдения за краткосрочными предвестниками.

Не надо забывать и о том, что в области развития методов краткосрочного прогноза не преодолены многие принципиальные трудности. Краткосрочные предвестники возникают на стадии развития механической неустойчивости в земной коре, когда горные породы переходят из одного качественного состояния (сплошности) в другое (разрушенности). Строгой теории таких процессов нет. Более того, возможно, что в каждом отдельном случае этот переход развивается индивидуально и потому непредсказуемо. В этой связи особенно важно накапливать достоверный экспериментальный материал, использовать каждый случай долгосрочного прогноза для широкого разветвления наблюдений за краткосрочными предвестниками и всесторонней подготовки в месте ожидаемого сейсмического толчка.

Имеющаяся сеть наблюдений за краткосрочными предвестниками исторически создавалась не в наиболее опасных местах, а там, где были жилье, дороги, источники электроэнергии, т. е. там, где удобнее. В на-

стоящее время в связи с реальными достижениями долгосрочного прогноза, появлением новых технических средств необходимо решительно изменить подход к размещению прогностической сети. Это позволит значительно быстрее накопить столь необходимый нам опыт краткосрочного прогноза. Можно обратиться и к опыту зарубежных стран, где новые подходы уже реализованы.

В Японии сотни разнообразных прогностических приборов размещены в районе Токай, где ожидается разрушительное землетрясение с магнитудой больше 7. Вся информация автоматически передается в единый центр и обрабатывается на мощной ЭВМ. Ученые надеются предсказать землетрясение по крайней мере за 3 ч до его наступления. Разработан тщательный сценарий действия всех специалистов и официальных властей в этом случае².

В США подобный эксперимент по выдаче краткосрочного прогноза выполняется в районе Паркфилда в Калифорнии. Здесь также установлена автоматическая система регистрации и анализа предвестников, рассчитанная на выявление «тревоги» за несколько часов или даже дней до землетрясения. Сейсмологи всего мира с огромным интересом следят за японским и американским проектами, которые могут дать ответ на принципиально важный вопрос о реальной возможности краткосрочного прогноза уже на нынешней стадии наших знаний и технического оснащения.

У нас ситуация осложнена еще и тем, что на огромной территории СССР выявлено несколько зон высокой вероятности сильных землетрясений. Так что ограничиваться наблюдениями в одном районе нельзя.

Крупный недостаток существующей в нашей стране прогностической сети — отсутствие стандартного комплекса аппаратуры. Пункты наблюдений оснащены случайным набором метрологических не обеспеченных приборов, что не позволяет совместно обрабатывать и анализировать данные о предвестниках, зарегистрированных в разных местах сейсмоопасного района.

Прогностические работы не могут быть успешными и без коренных изменений в темпах сбора и обработки информации. Сейчас каталоги землетрясений, служащие основой среднесрочного и долгосрочного прогнозов, выпускаются с годичным запаздыванием. Происходит это из-за отсутствия цифровых сейсмических станций, телеметриче-

² См. в этом номере выступление С. Суэхиро в статье «Спитак-88».



Спитакский сейсмогенный разлом на участке между Спитаком и с. Газасар.

Фото К. Ишихеры.

ских систем связи и электронно-вычислительной техники. Информация же о краткосрочных геофизических, гидродинамических и геохимических предвестниках поступает в республиканские и региональные сейсмологические институты с запаздыванием до месяца. Естественно, что в большинстве случаев предвестники удается обнаружить только после того, как землетрясение произошло.

В частности, уже после Спитакского землетрясения выяснилось, что в последние сутки перед ним были зарегистрированы изменения температуры и уровня воды в скважинах, акустические шумы, выделение радона, вариации электрических свойств горных пород. Оперативный сбор этих данных с пунктов на территории Армении и Грузии, а также их обработка не осуществлялись.

На уровень прогностических наблюдений и состояние прогноза в целом негативно влияют и все еще сохраняющиеся межведомственные барьеры. Так, наблюдения за сейсмологическими, геофизическими и гео-

химическими предвестниками ведут академические институты. В то же время гидродинамические предвестники изучаются предприятиями Министерства геологии СССР, а геофизические — организациями Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Обмен информацией между этими ведомствами идет весьма туго, а то и вовсе отсутствует. В республиканские и региональные центры информация поступает с большим опозданием и обрабатывается по несогласованным программам. Все это совершенно нелепо, так как землетрясения не знают границ!

После Спитакского землетрясения Политбюро ЦК КПСС поручило Академии наук СССР разработать предложения по радикальному улучшению сейсмической службы страны. В подготовленном документе намечены меры технического перевооружения существующей сети объединенными усилиями ряда министерств и ведомств. Можно выразить надежду, что это Постановление не останется на бумаге, а его превращение в жизнь значительно уменьшит размеры потерь и экономического ущерба от неизбежных в будущем сильных землетрясений.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ: ВЗГЛЯД ИЗ КОСМОСА

А. Г. Сальман,

кандидат физико-математических наук
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР
Москва

Б. В. Шилин,

доктор геолого-минералогических наук
Всесоюзный научно-исследовательский институт
аэрогеологических методов Министерства геологии СССР
Ленинград

Инфракрасная съемка с космической орбиты позволяет «рассмотреть» своеобразное тепловое покрывало нашей планеты — невидимый глазу тонкий слой в сантиметры толщиной, создаваемый вблизи земной поверхности ее тепловым излучением. Космические снимки, отражающие причудливую картину этого слоя, могут многое рассказать не только о поверхности Земли, но и о структурах и процессах в ее глубине, в частности о сейсмической активности Земли.

Геологи широко используют спутниковые изображения земной поверхности в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах спектра излучения (0,5—1,7 мкм) с большим пространственным разрешением. Такие изображения формируются в основном рельефом и спектральными характеристиками земной поверхности. Дешифрируя снимки, можно получить сведения о морфоструктурах, линейных и неотектонических движениях в сейсмоактивном регионе. Изображения в

дальнем ИК-диапазоне (8—14 мкм), в отличие от ближнего ИК- и видимого диапазонов, определяются главным образом температурой поверхности. Температура же, как известно, зависит от солнечного нагрева и метеорологических условий, а также от процессов, протекающих в приземном слое атмосферы и земной коре. Именно снимки в дальнем ИК-диапазоне и представляют особый интерес при изучении сейсмоактивных областей.

Сейчас накоплено много фактов, которые говорят об изменении температурного режима приповерхностных земных слоев в периоды сейсмической активизации. Впервые это заметили китайские ученые в связи с сильнейшим Таншаньским землетрясением 1976 г., унесшим более 240 тыс. жизней. Задолго до него на обширной территории метеонаблюдения показали необычно большое повышение температуры почв — на целых два градуса. Повышение температуры земной поверхности перед землетрясениями может объясняться различными причинами, скажем изменением влажности. Хорошо из-

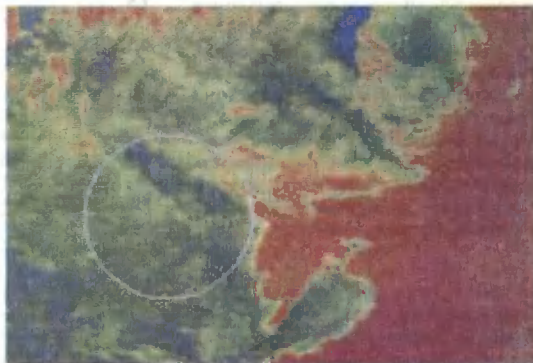
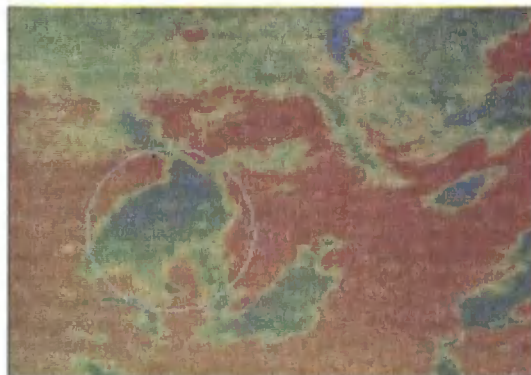
вестно аномальное поведение уровня грунтовых вод в колодцах и мелких скважинах перед сильными землетрясениями¹. Ретроспективный анализ гидрогеологических данных, связанных с Ашхабадским землетрясением 1948 г. (магнитуда 7,2), показал, что в эпицентральной зоне за несколько месяцев до толчка существенно изменялся уровень грунтовых вод. Механизм тут простой: колебания влажности почвы ведут к изменению ее теплофизических характеристик, условий тепло- и влагообмена, температуры.

¹ Подробнее см. в этом номере: Войтов Г. И., Попов Е. А. Геохимический прогноз землетрясений.

Тепловые снимки земной поверхности центральных районов Средней Азии, полученные со спутника серии «НОАА». Слева — фоновое распределение ИК-излучения поверхности Земли, справа — аномальное состояние ИК-поля. Температуры поверхности даны в псевдоцветах (синий — наиболее «теплый»). Кругом обведена зона, где в периоды сейсмической активизации Туранской плиты и Тянь-Шаня наблюдается увеличение потока ИК-излучения.

Фото С. Л. Лидова

© Сальман А. Г., Шилин Б. В.
Сейсмическая активность: взгляд из космоса.

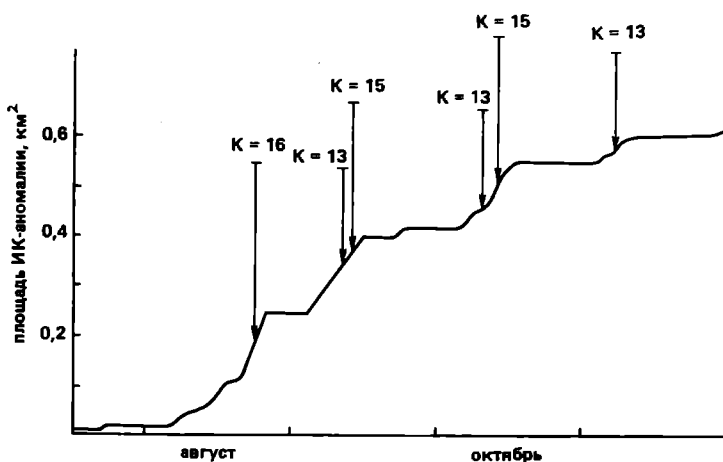


Тепловые аномалии в почвах могут создаваться и с помощью других механизмов, например локального парникового эффекта, вызываемого повышением содержания в приземной атмосфере оптически активных газов, таких как CO , CO_2 , CH_4 . Геохимические исследования свидетельствуют: концентрации этих газов в приповерхностной атмосфере могут превышать фоновые на порядок.

Современная аппаратура для дистанционного зондирования поверхности Земли в ИК-диапазоне позволяет осуществлять мониторинг теплового поля с пространственным разрешением менее 1 км и температурным — около $0,5^\circ\text{C}$ (радиометры HCMM, AVHRR-2). Поскольку можно периодически снимать одни и те же участки земной поверхности (с американского спутника серии NOAA — дважды в сутки), то появляется возможность следить за тем, как меняется во времени поле ИК-излучения и его аномалии.

На территории СССР больше всего для ИК-съемки подходят районы Средней Азии. Здесь удачное сочетание оптимальных условий — огромные пустынные территории без выраженного рельефа и растительности и самое большое в нашей стране число безоблачных дней в году. Высокая сейсмичность Среднеазиатского региона и благоприятные условия съемки делают этот регион удобным для изучения связи ИК-излучения земной поверхности с сейсмичностью. С этой целью использовались тепловые космические снимки со спутников NOAA. После анализа непрерывных рядов — по 100—250 дней — ночных ежесуточных снимков, полученных за 6 лет (съемка в предрассветные часы позволяет свести к минимуму влияние солнечного нагрева на формирование поля ИК-излучения земной поверхности), выяснилось, что в Среднеазиатском сейсмоактивном регионе существует несколько аномалий теплового поля.

Одна из самых крупных — тепловая аномалия у подножья Копетдага интенсивностью в несколько градусов. Она имеет длину около 500 км, ширину



Сопоставление сейсмичности Туранской плиты и Тянь-Шаня с активностью ИК-поля в зоне Каратауского разлома. Стрелками обозначены моменты землетрясений (1985 г.) с указанием энергетического класса. Видно, что большинство коровых землетрясений Туранской плиты и Тянь-Шаня приходится на периоды наиболее интенсивного роста суммарной площади ИК-аномалий в зоне Каратауского разлома. Коэффициент корреляции между среднемесячной площадью указанных аномалий и землетрясениями составляет 0,7 на доверительном уровне 0,99. Статистически значимая корреляция активности ИК-поля в указанном районе с землетрясениями других регионов Средней Азии отсутствует.

25—30 км и приурочена к Предкопетдагскому разлому, разделяющему альпийские сооружения Копетдага и Туранскую плиту. Эта аномалия совпадает с «тепловой линией» — зоной разгрузки подземных вод, их выхода на поверхность.

Другая аномалия — длиной 300 км и шириной около 50 км — находится у подножья хребта Каратау и совпадает с Каратауским разломом, отделяющим Туранскую плиту от Центрально-Азиатской складчатой зоны. Каратауский разлом — это продолжение глубинного Таласо-Ферганского разлома, во многом контролирующего геодинамическую обстановку всего Среднеазиатского региона. Поскольку обе эти тепловые аномалии постоянно приурочены к описанным геологическим струк-

турам, их можно классифицировать как стационарные.

Однако некоторые стационарные аномалии обладают переменной (и по площади, и по интенсивности) составляющей, классифицируемой как нестационарная аномалия. Наиболее ярко нестационарность проявляется у тепловой аномалии, находящейся у подножья хребта Каратау. Нестационарные аномалии возникают и на пересечении Каратауского и Тамды-Токрауского разломов, а также в зонах Джалаир-Найманского, Бухарского и Бухаро-Гиссарского разломов. Эти аномалии появляются в одних и тех же местах и сохраняются до нескольких суток, поэтому они уверенно выделяются на фоне аномалий-помех, обусловленных метеорологическими факторами.

Предварительные и в основном качественные исследования указали на возможную связь между временем появления нестационарных аномалий на пересечении Тамды-Токрауского и Каратауского разломов и Газлийскими землетрясениями. Наиболее сильная активизация этой аномалии связана с землетрясениями в Газли в 1976 г. и 1984 г. (магнитуда больше 7). Как свидетельствует дешифрирование ИК-снимков со спутника NOAA, за несколько дней до толчков площадь аномалии превышала $100\,000\text{ км}^2$. Когда же для анализа был привлечен более длинный ряд наблюдений (за 6 лет), использованы количе-

го потока ИК-излучения и данные сейсмичности, это дало возможность исследовать связь нестационарных аномалий с сейсмической активностью во всем Среднеазиатском регионе и на количественном уровне.

Характеристикой поля ИК-излучения земной поверхности может служить площадь распространения нестационарных аномалий. Изменение этой величины характеризует изменение активности ИК-излучения. Сейсмическая активность (A_{13}) учитывалась традиционным способом — путем вычисления логарифма количества происшедших на данной территории за текущий отрезок времени землетрясений энергетического класса $K-13$ (13 — логарифм величины энергии, в джоулях, выделившейся при сейсмическом толчке). Землетрясения других энергетических классов переводились (по закону повторяемости) в соответствующее число событий 13-го класса.

Временное изменение активности нестационарной аномалии на пересечении Тамды-Токрауского и Каратауского разломов сопоставлялось с сейсмической активностью как во всем Среднеазиатском регионе, так и в двух его областях. Первая охватывает Туранскую плиту и Центральную-Азиатскую складчатую зону (Тянь-Шань) — они представляют собой единую структуру палеозойских геосинклиналей. Землетрясения, происходящие здесь, в основном относятся к коровым землетрясениям, а их эпицентры располагаются в пределах Тянь-Шаня, Кызылкумов и Центрального Казахстана. Вторая область находится в Средиземноморско-Азиатском складчатом поясе мезо-кайнозойского возраста и характеризуется промежуточными по глубине и слабофокусными землетрясениями Памиро-Гиндукуша.

Максимумы среднегодовой активности ИК-аномалий на пересечении Тамды-Токрауского и Каратауского разломов совпадают с максимальной годовой сейсмической активностью первого региона. Коэффициент корреляции между этими параметрами составляет 0,86 на доверительном уровне 0,95. Сейсмическая активность второй — Памиро-Гиндукушской области

не коррелирует с временными изменениями среднегодовой активности ИК-аномалии.

Более детально связь сейсмической активности и активности ИК-аномалий исследована на временных рядах с месячным «окном» определения характеристик сейсмичности и площади ИК-аномалий. Коэффициент корреляции сейсмической активности (учитывались землетрясения с $K \geq 12$) с ИК-аномалиями для первой области (без землетрясений в пограничной зоне между Тянь-Шанем и Памиром) равен 0,7 на доверительном уровне 0,99. Коэффициенты корреляции между параметрами площади ИК-аномалий и сейсмической активности Памиро-Гиндукушских землетрясений оказались статистически незначимыми.

Таким образом, сейсмическая активизация Тянь-Шаня и Туранской плиты сопровождается ростом ИК-излучения на пересечении Тамды-Токрауского и Каратауского разломов. И землетрясения здесь по времени приурочены к периодам заметного увеличения суммарной площади ИК-аномалий на пересечении этих разломов. Практически все землетрясения с $K \geq 12$ в рассмотренном районе приходятся на периоды роста суммарной площади тепловых аномалий, и, наоборот, все периоды роста площади аномалий сопровождаются землетрясениями. В периоды же «спокойствия» ИК-аномалий, когда их площади не увеличиваются, на Тянь-Шане и Туранской плите не зарегистрировано ни одного землетрясения с $K \geq 12$.

Итак, дистанционный зондирование поверхности Земли в инфракрасном диапазоне спектра излучения может служить новым инструментом для исследования сейсмоактивных регионов. И это действительно неплохой инструмент: с его помощью на примере землетрясений Средней Азии удалось обнаружить статистически значимую корреляцию между активизацией теплового излучения земной поверхности в определенных районах и повышением их сейсмической активности. Активизация теплового излучения происходит в наиболее ослабленных, а следовательно,

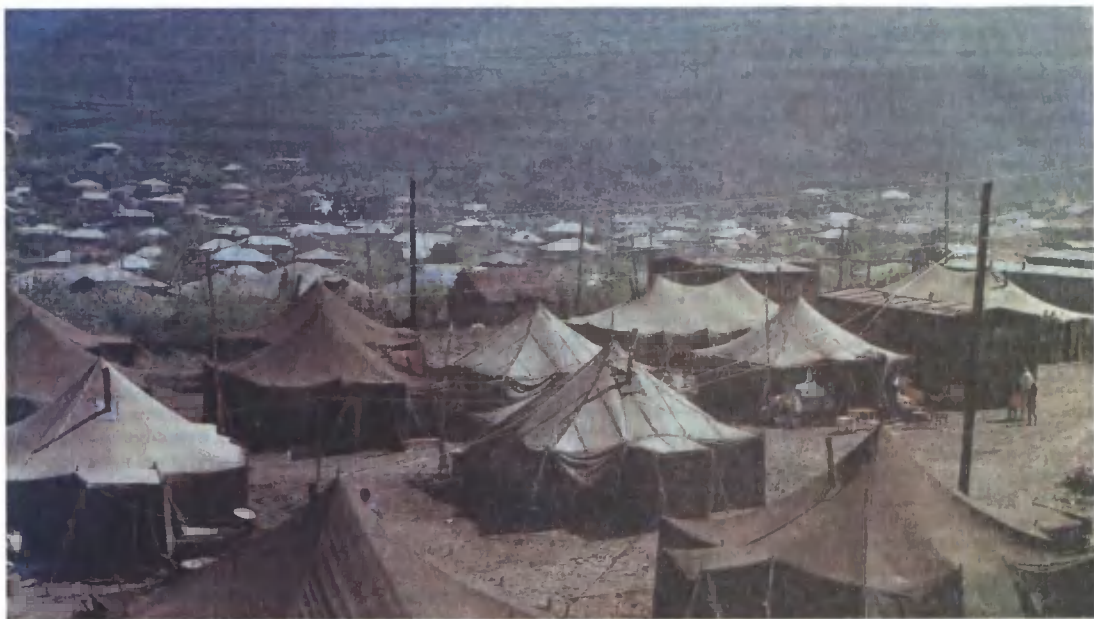
наиболее «чувствительных» зонах земной коры — узлах пересечения ее глубинных разломов.

Реальность обнаруженных тепловых аномалий и нашу первоначальную гипотезу об их «земном» происхождении подтвердили метеорологические данные. Сопоставив данные сети метеостанций в Средней Азии, мы увидели, что в той области, где прослеживается из космоса тепловая аномалия, температура почвы действительно повышена на 2—3 °C. Значит, можно использовать не только космическую съемку, но и наземную сеть метеостанций для анализа сейсмичности, особенно в «закрытых» для космической съемки районах со сложным рельефом и обильной растительностью.

А сама тепловая съемка из космоса, позволяющая распознавать тепловые аномалии земной поверхности, как бы подсказывает: вот «тревожная» зона, на нее нужно обратить внимание. Заметили, скажем, на космическом снимке тепловую аномалию большого размера — подобную, к примеру, аномалию, которая появилась перед Газлийским землетрясением 1984 г. — и исследователи должны насторожиться: в данном регионе можно ожидать проявления высокой сейсмической активности. По тепловым космическим снимкам прослеживается и развитие сейсмической обстановки, ведь тепловые аномалии на снимках то сужаются, то расширяются, как бы сигнализируя о меняющихся сейсмических условиях.

Оценки, которые мы сделали в рамках моделей «тепловой инерции» и «парникового эффекта», не противоречат наблюдаемому повышению температуры поверхности Земли в аномальных зонах. Более того, процессы, связанные с влаго- и газопереносом в земной коре, многие исследователи рассматривают как своего рода предвестники возможных землетрясений. Поэтому не исключено, что предлагаемый инструмент исследований сейсмоактивных областей поможет в недалеком будущем решить проблему прогноза землетрясений.

Публикацию подготовила
Э. К. Соломатина.



Спитакская трагедия глазами фоторепортера





Временное жилье пострадавших жителей вблизи пос. Гугарк.



Разрушенный землетрясением элеватор в Спитаке. Рухнула центральная часть элеватора, а другие наклонились, сохранив целостность внутренних конструкций.

Рухнувшее одноэтажное здание на одной из улиц Спитака. Вместе с тем, многие одноэтажные здания в городе уцелели.

Расчистка завалов в Спитаке. Как и в Ленинке, развалины здесь в большинстве случаев ликвидировали, не исследовав состояние фундаментов и грунтов оснований.
Фото Н. М. Данилочкина.

Г.И.Войтов
Е.А.Попов

Геохимический прогноз землетрясений



Георгий Иванович Войтов, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Основные научные интересы связаны с проблемами геохимии, ядерной геологии, прогнозом землетрясений. Неоднократно печатался в «Природе».



Евгений Александрович Попов, доктор технических наук, заведующий отделом Всесоюзного научно-исследовательского института зарубежной геологии Министерства геологии СССР. Занимается разработкой геофизических и геохимических методов прогноза землетрясений.

ТРАГЕДИЯ в Армении вновь обострила сложную и, по-видимому, далекую от решения проблему прогноза землетрясений, т. е. определения места будущей катастрофы, времени ее возникновения и силы удара. Не касаясь других аспектов этой проблемы, мы остановимся здесь в основном на некоторых геохимических и гидродинамических эффектах, предшествующих землетрясениям и сопровождающих их, которые могут (и должны) стать их прогнозными признаками¹.

Пока приходится констатировать, что существующая на сейсмологических полигонах (в том числе и на территории Армении) служба наблюдений за движениями и деформациями земной коры, вариациями магнитного и электрических полей, изменениями состава подземных вод и газов и другими так называемыми предвестниками землетрясений (считают, что их более 200) предсказать Спитакское землетрясение, как, впрочем, и многие другие, не помогла.

Однако это не означает, что геохимические и гидрогеодинамические признаки надвигающегося землетрясения не могут использоваться в прогнозе. Теоретически это обосновывается тем, что подземные водно-газовые системы, несмотря на их кажущуюся региональную изолированность, представляют собой единое целое. Следовательно, возникающие в очаге при подготовке землетрясений и в ходе деформации пород трещины, сколы, разрывы неизбежно распространяются на всю систему. Достигнув поверхности Земли, они проявятся в изменении химического состава вод и газов, интенсивности источников глубинных минеральных вод.

Впервые связь между землетрясениями и нарушениями в «работе» глубинных источников еще в 1912 г. отметил основоположник русской сейсмологии Б. Б. Го-

© Войтов Г. И., Попов Е. А. Геохимический прогноз землетрясений.

¹ Войтов Г. И., Гречухина Т. Г. Геохимические и гидрогеологические эффекты, сопровождающие землетрясения // Природа. 1980. № 10. С. 90—95.

лицын, пытавшийся поставить задачу прогноза землетрясений на комплексную основу². Тогда же он предсказал неизбежные газовые аномалии и изменения химического состава вод в источниках, связанные с землетрясениями. В. И. Вернадский примерно в то же время, размышляя о газовом обмене газовой коры, сформулировал представления о газовых струях, существующих в геодинамически активных областях и несущих к поверхности Земли и в атмосферу газы из глубин³. Одним из доказательств этого предположения является радиоактивность приземного слоя атмосферы. В сейсмически активных зонах (в Закавказье, Средней Азии и юго-западном Казахстане) она в 10—40 раз выше, чем над остальной территорией СССР, несмотря на примерно одинаковое содержание радиоактивных элементов в почвенном слое.

Сегодня природа поверхностных геохимических аномалий, связанных с глубинными процессами в сейсмически активных областях, становится все яснее. Известно, что все геодинамически активные зоны Земли отличаются существенной тектонической раздробленностью земной коры, высоким тепловым потоком, вертикальной разгрузкой вод и газов самого пестрого и нестабильного во времени химического и изотопного состава. Это создает условия для поступления в подземные водно-газовые системы верхних структурных этажей литосферы флюидов, несущих химические и изотопные метки процессов, происходящих в очаговых зонах землетрясений. К тому же фрагментарность (блочность) пород земной коры, особенно сильно выраженная в геодинамически активных регионах, способствует переносу флюидов по разуплотненным тектоническим структурам — разломам в земной коре — на весьма большие расстояния.

Пока единственным примером успешного прогноза землетрясения при слежении за состоянием подземных водно-газовых систем было предсказание Хайченского землетрясения 1975 г. в Китае⁴. Его основой стали наблюдения крестьян огромной области за температурой и мутностью воды, уровнем подземных вод в колодцах и скважинах, поведением животных и т. д., совпавшие с данными специалистов — сейсмологов и гидрохимиков. Однако вряд ли этот китайский вариант, не работавший в целом ряде

других случаев, приемлем, например, для нашей страны, где в большинстве сейсмически опасных регионов население не так густо. Выход, как нам представляется, в научно обоснованной системе слежения, обеспеченной чувствительной аппаратурой, за определенным набором геохимических и гидродинамических параметров (содержанием радона в поровом пространстве пород и водах минеральных источников, химическим составом вод и газов, уровнями подземных вод и т. д.).

Обработка данных наблюдений за аномалиями, предшествовавшими четырем крупнейшим землетрясениям за последние пять лет дает надежду на успех геохимического прогноза. Речь идет о катастрофах, разрушивших города Газли и Кайраккум в 1984 и 1985 гг. в Средней Азии, сильном землетрясении 1986 г. с эпицентром в горах Вранча в Румынии и, наконец, Спитакском землетрясении.

19 марта 1984 г. землетрясение с магнитудой 7,2 (17-й энергетический класс) и очагом вблизи г. Газли ощущалось на громадной территории Туранской плиты и обрамляющих ее территориях. Интенсивность землетрясения составила в Предкопетдагском прогибе (550 км от эпицентра) 5,5 баллов, Ташкенте (400 км) — 4 балла, Бухаре (140—150 км) — 7 баллов, Чарджоу (175 км) — 7 баллов. Естественно, что подготовка столь сильного сейсмического события сопровождалась перестройкой подземных водно-газовых систем в обширном регионе, особенно сильной в чувствительных зонах — зонах активных разломов. Ее удалось зарегистрировать туркменским геохимикам С. Ш. Шебердыеву и К. Б. Бердыеву, с 1982 г. проводившим систематические наблюдения за природными газами и водами на одном из участков Амударьинского глубинного разлома, в пределах Кашабулакской тектонической структуры.

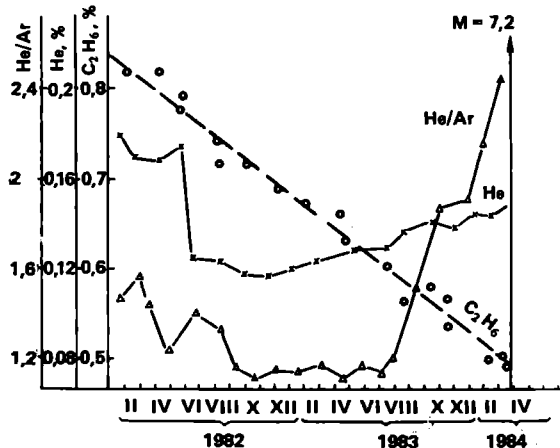
Во-первых, примерно за 1,5 года до землетрясения среди содержащихся в газах углеводородов стало сокращаться количество тяжелых гомологов метана; ко времени землетрясения оно стало ниже пороговой чувствительности прибора.

Во-вторых, во время происходивших в этой зоне накануне основного сейсмического удара землетрясений энергетического класса 10—14 с эпицентром вблизи Газли в составе газов регулярно регистрировался водород. Однако с середины 1983 г. по мере приближения к основному сейсмическому удару, водорода становилось все меньше. Он исчез к моменту землетрясения и вновь появился

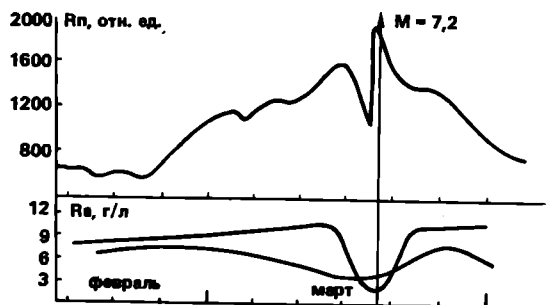
² Голицын Б. Б. Избр. тр. Т. 2. Сейсмология. М., 1960. С. 70—72.

³ Вернадский В. И. // Известия АН. 1912. Т. 6. № 2. С. 141—162.

⁴ Prediction of the Heicheng earthquake // Eos. Trans. Amer. Geophys. Union. 1977. Vol. 58. № 5. P. 236—273.



Изменение состава газов в пределах Кашабулакской тектонической структуры (135 км от эпицентра) перед Газлийским землетрясением 19 марта 1984 г.



Радоновая и радиевая аномалии для того же землетрясения: вверху — содержание радона в атмосфере подпоча в зоне Северо-Ферганского глубинного разлома (600 км от эпицентра); внизу — содержание радия в подземных водах Предкопетдагского разлома (550 км от эпицентра).

в заметных количествах только после сейсмического удара.

В-третьих, с середины 1982 г. в составе газов начала расти концентрация гелия. Одновременно сильно уменьшилось содержание аргона, в результате чего отношение He/Ar стремительно нарастало, достигнув максимума накануне землетрясения 19 марта 1984 г.

Такие изменения состава газов подземных водно-газовых систем, по-видимому, связаны с накоплением упругих деформаций в гипоцентральной зоне сильнейшего за последние годы в Средней Азии землетрясения и блоковым строением земной коры, обеспечившими повышенную чувстви-

тельность наблюдательных сетей, заложенных в зоне Амударьинского глубинного разлома. Именно поэтому фиксировались газо-геохимические эффекты от относительно слабых форшоков Газлийского землетрясения, эпицентры которых находились в 120—130 км от Кашабулакской тектонической структуры, не говоря уже о сильнейшем Газлийском землетрясении.

На заключительных стадиях подготовки сейсмического события такой мощности в разуплотненные структуры разлома, по-видимому, начинают внедряться газы из областей очень высоких температур (порядка 500—600 °C), где термодинамически неустойчивые гомологи метана уже не могут существовать, а сами газы обогащаются гелием и обедняются аргоном.

Зафиксирован и другой эффект — эффект дальнего действия Газлийского землетрясения. Так, датчик, регистрирующий β -распад короткоживущих продуктов распада радона в зоне глубинного Северо-Ферганского тектонического разлома (район Ленинабада, 600 км от эпицентра), отметил аномалию, длительность и величина которой может свидетельствовать о том, что радон в месте установки датчика мог быть вынесен только потоком других газов с глубины, поскольку при обычном диффузионном его переносе (с учетом периода полураспада — 3,825 сут) такой эффект трудно объяснить. Подчеркнем, что содержание радона в поровых пространствах пород (атмосфере подпоча, по определению В. И. Вернадского) 10^{-17} — 10^{-18} % (по объему), что на много порядков меньше содержания в них любого другого газа.

Еще один пример дальнего действия Газлийского землетрясения — содержание радия в воде одной из скважин в зоне Предкопетдагского сейсмогенного разлома (около 500 км от эпицентра). Здесь на глубине 1800 м в необычно соленой (минерализация около 45 г/л) воде, видимо поступающей по зоне разлома с глубины, концентрация радия резко упала за несколько дней до землетрясения, а через два дня после него достигла прежних значений. В слабо минерализованных водах явно атмосферного происхождения из других скважин таких колебаний содержания радия не обнаружено. Эти аномалии могли бы стать оперативными предвестниками землетрясения, но, к сожалению, не стали.

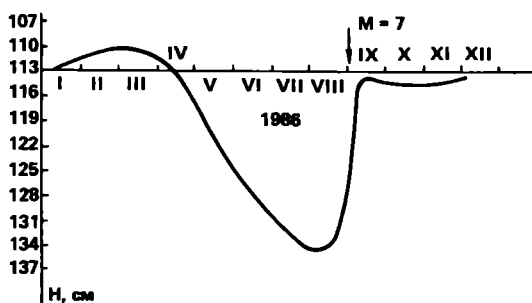
А вот на «радоновом поле» атмосферы подпоча главный удар Кайраккумского разрушительного землетрясения 13 октября 1985 г. (западная часть Ферганской долины) не отразился. Это землетрясение с интен-

сивностью 9 баллов в эпицентре полностью разрушило Кайраккум и здания старой постройки в Гафурове на западном берегу Кайраккумского водохранилища. Правда, за месяц до землетрясения в той же зоне Северо-Ферганского глубинного разлома (Ленинабад, 20 км от эпицентра землетрясения) в атмосфере подпочв геофизик А. К. Абдувалиев зафиксировал повышение (в 1,3 раза над фоновой) концентрации радона.

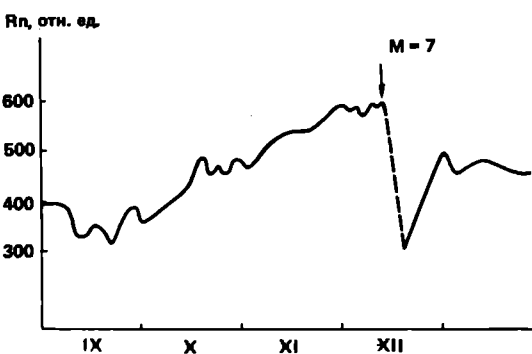
Зато четкие, «бухтообразные» на графике, радоновые аномалии в атмосфере подпочв вследствие афтершоков Кайраккумского землетрясения и в связи с Ура-Тюбинскими землетрясениями с магнитудой 4—4,3 были зафиксированы на той же станции режимных наблюдений. Землетрясениям предшествовал 4—5-дневный рост, а затем резкое понижение концентраций радона. Другими словами, неглубоким местным землетрясениям (с глубиной очага 10—12 км) предшествуют радоновые аномалии, которые могут быть прогнозными для землетрясений с магнитудой 4—5.

Подобного рода эффекты были характерны и для глубокофокусных (150—200 км) землетрясений типа Вранчского (магнитуда 6,8), происшедшего 31 августа 1986 г. в горах Вранча. Оно было несколько слабее известного землетрясения 4 марта 1977 г. с эпицентром в той же области, волну которого ощутили даже жители Москвы. Землетрясение 1986 г. сопровождалось различными геохимическими и гидродинамическими эффектами, масштабы которых нарастали по направлению к эпицентральной зоне. Так, если в «чувствительных» уровнях скважинах (в таких скважинах регистрируются приливные колебания уровня подземных вод) на прогнозистических полигонах в городах Ессентуки и Кобулет (1000—1200 км от эпицентра) за 6—7 дней до сейсмического удара прекратились только приливные колебания уровня воды, то в Молдавии на станции Готешты (160 км от эпицентра землетрясения), расположенной в зоне влияния Прутских глубинных разломов, наблюдалось последовательное снижение уровня подземных вод, начавшееся за 3—4 мес до сейсмического удара. За 2—3 дня уровни стабилизировались, но были ниже фоновых на 35—38 см. После землетрясения они почти мгновенно восстановились.

Наряду с понижением уровней подземных вод в зоне влияния прутских глубинных разломов за 3—4 мес до Вранчского землетрясения 1986 г. в водах стало расти содержание хлоридов щелочных металлов, отношение Ca/Mg , сильно менялось содер-



Изменение уровня подземных вод до и после Вранчского землетрясения 1986 г. в скважине в с. Готешты [150 км от эпицентра].

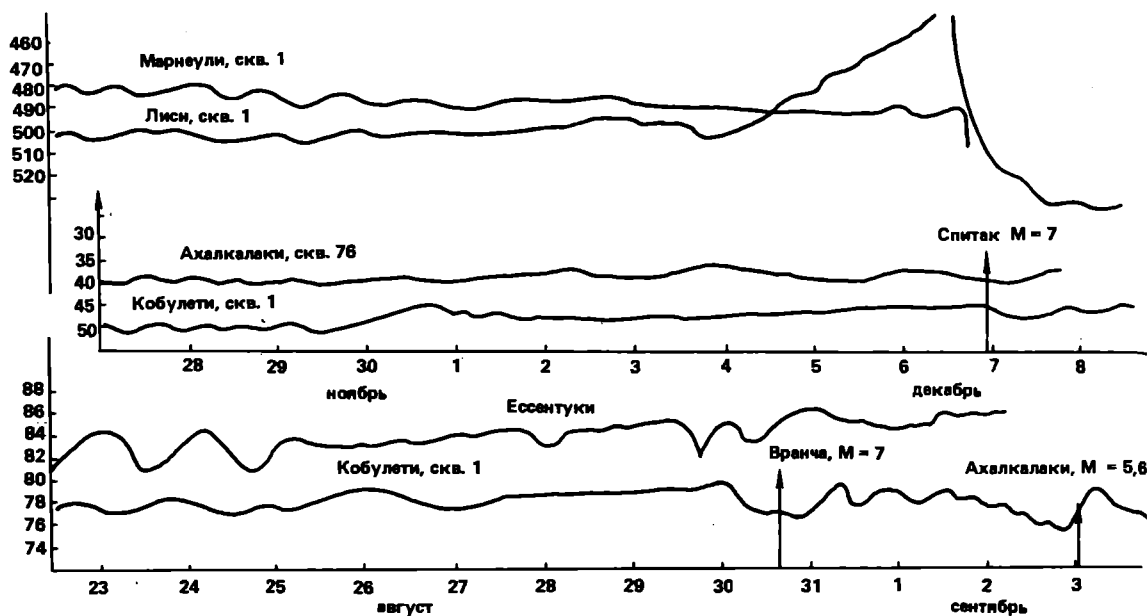


Концентрация радона в атмосфере подпочв в Ленинкане до и после Спитакского землетрясения.

жание гелия. После землетрясения ход этих параметров подземных водно-газовых систем стабилизировался.

И, наконец, Спитакское землетрясение. Предшествовали ли этой катастрофе какие-либо геодинамические или геохимические эффекты? Приходится только удивляться, как в районе с относительно высокой плотностью населения, где велись регулярные наблюдения за рядом геохимических параметров, оказался возможным пропуск такой цели. Сообщают, правда, что какой-то пастух в каком-то ущелье за 2 дня до удара видел бурно изливающийся источник газированной минеральной воды, а в питьевом бювете на одной из улиц Кировакана менялся дебит и газонасыщенность минеральной воды.

Еще за два года до катастрофы известный геофизик Г. А. Соболев предупреждал о необходимости усиления прогностических работ на отдельных участ-



Изменение уровня подземных вод в ряде скважин до и после землетрясений во Вранчских горах и в Спитаке.

ках Кавказского региона, в том числе — в районе Джавахетского нагорья на Малом Кавказе. На сейсмической станции ИФЗ АН СССР в пос. Бакуриани накануне землетрясения отмечалась тепловая аномалия подземных вод. Как показал анализ уровней, проведенный Г. С. Вартаняном в «чувствительных» скважинах наблюдательной сети Управлений геологии Грузинской и Армянской ССР (относительно равномерно расположенной на территории обеих республик), с августа 1988 г. в районе будущего эпицентра Спитакского землетрясения уровни воды стали нестабильными, что свидетельствовало об изменении деформированного состояния пород в области эпицентральной зоны.

После землетрясения зона деформации растяжения достигала протяженности до 400 км в одном направлении, до 150 км в другом. За 9 дней до события во всех скважинах перестали регистрироваться приливные колебания подземных вод.

Датчик радона, установленный на территории Института геофизики и сейсмологии АН АрмССР в Ленинакане, отметил аномалию в атмосфере подпочв, выявленную спустя 10 дней после сейсмического удара геофизиком В. П. Рудаковым. (Эта аномалия напоминает уже упоминавшуюся в

Ленинабаде перед Газлийским землетрясением близкого энергетического класса.) Заметное увеличение концентрации радона в атмосфере подпочв началось за 3 мес до Спитакского землетрясения. К середине ноября содержание радона стабилизировалось на уровне, превышающем фоновый на 30 %. Последний замер был выполнен утром 7 декабря, после чего несколько суток выход радона не измерялся. Результаты замера 15 декабря были близки к фоновым.

Факты говорят о том, что подготовка и этого землетрясения сопровождалась гидродинамическими и геохимическими эффектами в подземных водно-газовых системах, которые могли быть его предвестниками.

К сожалению, в стране нет на сегодня универсальных датчиков, обработка записей не автоматизирована, хотя были предприняты попытки создать полностью автоматизированную систему с комплексом геофизических и геохимических датчиков. (Она была апробирована на Ленинабадском прогнозистическом полигоне ИФЗ АН СССР в Средней Азии и показала свою работоспособность.) Нет универсальных алгоритмов обработки информации, нет в нужном количестве вычислительной техники и телекоммуникаций в центр прогноза. Впрочем, нет пока и самого центра...

Замечание сейсмогеолога об отдаленных «предвестниках» землетрясений

ДАВНО уже известно, что многие сильные землетрясения предваряются физическими и другими явлениями, которые можно зарегистрировать или измерить. Эти явления принято называть предвестниками землетрясений. На основании сведений об их локализации, длительности и интенсивности специалисты пытаются прогнозировать положение очага и величину энергии готовящегося землетрясения. Обнаружены (задним числом) особые зоны, где «предвестники» сильных толчков отличались высокой интенсивностью, неожиданной при больших расстояниях от эпицентра.

Вместе с тем, нет сомнений в том, что землетрясения возникают вследствие глубинных тектонических процессов. Продолжением этого триозма является вывод, что любое землетрясение — даже самое сильное и драматическое — это только одно из проявлений глубинного процесса. Они возникают там, где имеются механические условия, способствующие накоплению напряжений, обеспечивающие хрупкое состояние горных пород. В иных условиях тот же глубинный процесс вызывает пластическую деформацию пород, асейсмическое проскальзывание блоков, раскрытие и закрытие трещин, что в свою очередь приводит к изменению напряженного состояния, температуры, давления флюидов, газового состава и т. д.

В податливой среде изменение напряжений реализуется раньше, чем в прочных породах, поэтому аномальные явления в ослабленных зонах действительно могут «предварять» землетрясения в тех близких или далеких областях, где напряжения накапливаются. Однако обычно эти «предвестники» —

тем более «отдаленные» — не связаны напрямую с процессами в очаговой зоне готовящегося землетрясения, а представляют собой проявления более общего глубинного процесса. Из этого рассуждения вытекает следующее: если исследователь исходит из ложной предпосылки, что каждое явление, предшествующее сильному землетрясению, обусловлено процессами в его очаге, то все попытки найти связь между характеристиками таких явлений и энергией грозящего землетрясения либо обречены на неудачу, либо ведут к построению моделей, не отражающих реальной обстановки. Этот «сейсмоцентризм» в мышлении специалистов по прогнозу землетрясений необходимо преодолеть.

Следует признать, что многие специалисты по прогнозу землетрясений трезво оценивают нынешнее состояние этой проблемы, хорошо осознавая, в частности, какие трудности связаны с тем, что ареалы предвестников оказываются значительно обширнее, чем очаговые области возникающих затем землетрясений. Однако существующие идеализированные модели пространственно-временного распределения предвестников едва ли способны помочь прогнозу, если не изучено глубинное строение конкретной сейсмоопасной зоны, не выбраны поддающиеся измерению параметры, меняющиеся при формировании сейсмического очага в этой зоне, не создана адекватная система наблюдений и анализа данных.

С геологической точки зрения, многие модели, разработанные в рамках теории «предвестников», оказываются по меньшей мере неуниверсальными, а то и просто несостоятельными. Предлагаемый здесь подход снимает, на наш взгляд, многие трудные проблемы этой теории и позволяет приступить к разработке более реальных — сеймотектонических — моде-

лей, учитывающих особенности процесса и среды.

Мы не ставим под сомнение необходимость мониторинга сейсмического режима и других геофизических параметров в сейсмоактивных районах. Речь здесь идет только о причинной связи аномальных явлений с тектоническими процессами. В рамках нашего подхода легко решается, в частности, вопрос о «тензочувствительных зонах», четко реагирующих, по данным некоторых исследователей, на все возмущения в недрах изменением напора подземных вод и газовыми аномалиями. На самом деле повышенная тензочувствительность объясняется способностью земной коры в этих зонах передавать возникающие напряжения как упругими деформациями, так и гидравлическим путем. Изучение таких зон и анализ происходящих там глубинных изменений — важная часть сеймотектонических исследований. Однако делать акцент на выяснении непосредственных связей между этими зонами и отдаленными очагами землетрясений вряд ли целесообразно.

Гораздо полезнее сосредоточить внимание на особенностях тектонического устройства, гидрогеологии, геодинамического состояния и других параметров сейсмоактивных зон и вмещающих эти зоны асейсмичных территорий, выяснить природу изменений физических полей при формировании очагов землетрясений — в каждой конкретной зоне! — и в зависимости от всего этого выбрать стратегию прогностических наблюдений и систему аппаратного обеспечения. Как показывает мировой опыт, и стратегия, и «технология» прогноза должны меняться в зависимости от геологических характеристик изучаемых районов.

Б. А. Борисов,

кандидат геолого-минералогических наук

Москва

© Борисов Б. А. Замечание сейсмогеолога об отдаленных «предвестниках» землетрясений.

Служба срочных донесений

О. Е. Старовойт, А. И. Захарова, Л. С. Чепкунас,
кандидаты физико-математических наук
Центральная сейсмологическая обсерватория «Обнинск»
Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР

В НАСТОЯЩЕЕ время в СССР насчитывается около 400 сейсмических станций, 60 из которых входят в Службу срочных донесений о происшедших землетрясениях с магнитудой более 3 на всей территории нашей страны (2,5 — в отдельных регионах). В Центре службы, функционирующем на базе Центральной сейсмологической обсерватории «Обнинск» ИФЗ обрабатывают сводки, поступающие со станций. Не позднее чем через 2,5 ч после землетрясения здесь определяют основные его параметры: время возникновения, координаты эпицентра и глубину очага — по времени первых вступлений продольных и поперечных волн на сейсмограммах ряда станций, а также характеристики силы землетрясения — магнитуду по шкале Рихтера M и расчетную интенсивность в эпицентре по 12-балльной международной шкале $MSK-64$ (первую — по амплитудам и периодам волн, вторую — по магнитуде и глубине очага).

Задача службы — оповестить более 20 организаций, заинтересованных в такой информации: от Совета Министров СССР и правительств республик до Совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству АН СССР, учреждений гражданской обороны и т. п. В год в среднем подается 300—400 донесений о землетрясениях.

В Центр первые сообщения о Спитакском землетрясении поступили через 7 мин после его начала со станции «Кизыл-Аrvat» (Туркмения) и еще через 2 мин со станции «Тбилиси». В последующие 20 мин были получены сводки о времени пер-

вых вступлений продольных волн от 8 станций, расположенных в разных частях страны, как сравнительно близких к эпицентру — «Бакуриани», «Ташкент», «Ашхабад», «Симферополь», так и удаленных от него на тысячи километров — «Ужгород», «Москва», «Ельцовка», «Якутск».

Анализ поступивших сводок с учетом сейсмограмм самой станции «Обнинск» позволил установить, что эпицентр землетрясения расположен близ Ленинанка. Уже через 30 мин после начала землетрясения эту информацию передали в директивные органы. В следующие 30 мин поступили сводки еще 12 станций. Сводная обработка данных позволила определить, что землетрясение началось в 10 ч 41 мин 20 с, его эпицентр располагался в точке с координатами $40,8^\circ$ с. ш. и $44,1^\circ$ в. д., а очаг — в пределах земной коры (около 30 км); $M-7$, интенсивность — 8—9 баллов. Стало ясно, что произошло одно из сильнейших землетрясений года.

Данные об интенсивности (балльности) передали около 20 станций Кавказа — землетрясение ощущалось почти на всей территории этого региона. В Бакуриани, Табацквали, Боржоми она составила 6—7 баллов; в Богдановке, Тбилиси, Ереване — 5—6; Горисе — 5; Махачкале — 4; Грозном — 3—4; Шеки, Шемахе — 3. В дальнейшем балльность в эпицентре была уточнена на основании дополнительных сообщений, полученных с сейсмических станций, — сила толчка в эпицентральной зоне (Ленинанка — Спитак) была оценена в 9—10 баллов.

Основные параметры очага, определенные в первый час, оказались довольно точными. Последующие уточнения по поступившим сводкам (за три часа поступила информация от 58

станций СССР, а за 10 дней — от 306 станций, в том числе от 76 отечественных) не внесли существенных корректив. Глубина очага была уточнена по данным 29 сейсмических станций, удаленных от эпицентра на расстоянии от 17 до 400 км.

Через сутки после землетрясения по данным 23 сейсмических станций удалось установить первый вариант механизма очага, т. е. определить ориентацию в пространстве двух возможных плоскостей разрыва и характер движений по ним. Последний вариант обобщил информацию от 157 советских и зарубежных станций. Одна из возможных плоскостей разрыва ориентирована в направлении северо-запад, другая — в широтном; подвижки по обеим плоскостям типа взбросо-сдвига. Направление северо-западной плоскости совпадает с простиранием системы Севанских разломов и распределением афтершоков. Эта плоскость и была выбрана за плоскость разрыва в очаге. Оперативная информация о механизме очага используется для оценки геолого-тектонических условий в зоне землетрясения и анализа возможного развития сейсмического процесса во времени и пространстве. Кроме того, определялся еще один параметр в очаге землетрясения — сейсмический момент M_0 (работа, затраченная на преодоление сил трения при перемещении бортов разрыва в очаге площадью S на расстояние $\bar{U}: M_0 = \mu S \bar{U}$, где μ — модуль сдвига).

Эта величина оценивалась по спектру продольных волн, зарегистрированных обсерваторией «Обнинск». Величина M_0 пропорциональна уровню низкочастотной ветви спектра этих волн. Для Спитакского землетрясения $M_0 = 3,2 \cdot 10^{26}$ дин·см. Кроме сейсмического момента M_0 , по этому спектру оценена

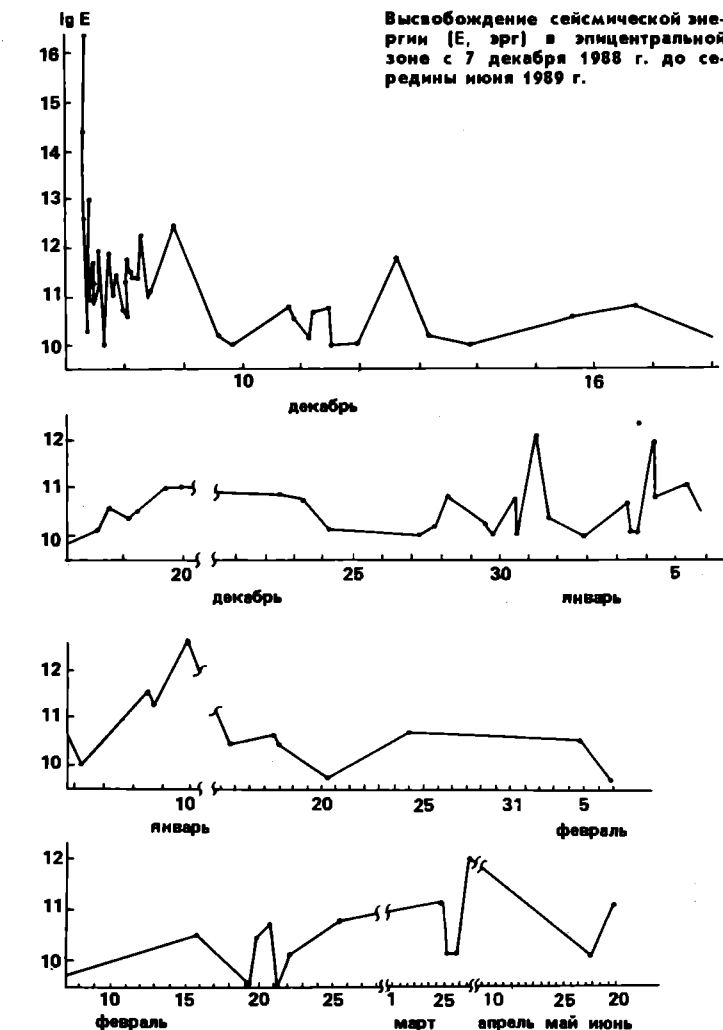
протяженность разрыва в очаге землетрясения (32 км).

После основного толчка в Центр поступала информация станций Армении об афтершоках с $M \geq 3,3$. К концу сентября 1989 г. произошло 146 таких толчков. Основная часть (более 90 %) сейсмической энергии выделилась в первые сутки после основного землетрясения, отдельные всплески отмечались в декабре 1988 г., январе, марте и июне 1989 г.

Исходя из размеров области афтершоков и смещения по разрыву в очаге, определенного полевыми наблюдениями, рассчитан сейсмический момент $M_0 = 4,4 \cdot 10^{26}$ см., который согласуется со значением, полученным независимо.

Служба срочных донесений в нашей стране, как и вся система сейсмологических наблюдений, имеет немало недостатков. Технология получения и обработки наблюдений такова, что время анализа, сортировки и расчета на ЭВМ первичных станционных данных чрезвычайно велико, а выпуск обобщенных каталогов и бюллетеней занимает месяцы и годы. Точность определенных параметров очагов землетрясений остается низкой из-за погрешностей обработки сейсмограмм, несовершенства методики определения глубины землетрясения и неадекватности модельных представлений строения Земли. Если для долгосрочного прогноза землетрясений время выпуска бюллетеней может быть приемлемым, то оно совершенно неприемлемо для средне- и краткосрочных прогнозов.

Уровень технической оснащенности советской сейсмической сети удручающе низок, за последние 20—25 лет он сильно отстал от мирового. Гальванометрическая регистрация в диапазоне 40—45 дБ, ограниченная полоса пропускания сигналов сейсмометров, телефонно-телетайпная система сбора данных — все это вчерашний день для развитых стран. Слабым утешением может служить то, что обработка данных на ЭВМ производится по современным программам, хотя они также нуждаются в совершенствовании и более широком использовании преимуществ ЭВМ. В мире уже давно работают с цифровыми



трехкомпонентными системами регистрации в широком частотном (0,002—80 Гц) и амплитудном (120—140 дБ) диапазонах, вводятся в практику наблюдений скважинные и донные сейсмические приборы; принципиально новой стала система сбора данных с помощью цифровой проводной, радио- и спутниковой телеметрии; их обработка ведется на современных мощных ЭВМ с большой памятью в диалоговом режиме; обмен наблюдениями и бюллетенями, формирование банков данных осуществляется на компактных дисках с высокой плотностью записи.

И сегодня актуальны слова академика Б. Б. Голицына, сказанные им в 1907 г. после командировки в Германию: «... без крупной реформы в нашей деятельности... сейсмическое дело в России не будет в состоянии развиваться, и мы очень скоро совсем уже отстанем от наших западных соседей». Необходима сейсмологическая сеть, способная не только обеспечить срочной информацией о сильных землетрясениях, но и регулярный сейсмический мониторинг всей территории страны. Все станции такой сети должны быть оборудованы на мировом уровне.

Я.М. Айзенберг

Строительная наука

ПРОТИВ СТИХИИ



Яков Моисеевич Айзенберг, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом теории сейсмостойкости сооружений Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В. А. Кучеренко Госстроя СССР, председатель рабочей группы «Теория сейсмостойкости и нормирование» Межведомственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР, член рабочей группы по унификации и гармонизации сейсмических кодов Европейской ассоциации по сейсмостойкому строительству. Область научных исследований — теория сейсмостойкости сооружений. Автор ряда монографий, в том числе: Сооружения с выключающимися связями для сейсмических районов. М., 1976.

СЕЙСМОЛОГИЯ еще не умеет сколько-нибудь точно предсказывать место, время и интенсивность землетрясения, но строители должны проектировать и везде строить такие сооружения, чтобы они не разрушались при любом землетрясении. Эта мысль в той или иной форме присутствует в многочисленных публикациях сейсмологов, появившихся после Спитакского землетрясения. Она прозвучала и на Общем собрании АН СССР в выступлении вице-президента Н. П. Лаверова, информация о котором вышла под заголовком «Катастрофы непредсказуемы, но нужно научиться встречать их во всеоружии» (Известия. 1989. 2 янв.). В том же ключе высказался Г. А. Соболев в статье, тематично озаглавленной «Чего еще не можем, что уже обязаны сделать» (Московские новости. 1988. 18 дек.).

В публикации Н. В. Шебалина (Наука и жизнь. 1989. № 4) раздел «Перспектива краткосрочных сейсмических прогнозов в СССР» весьма красноречиво состоит из единственного предложения: «Никаких перспектив таких прогнозов в настоящее время нет».

Как бы подтверждая эту пессимистическую оценку, А. А. Баталин в ереванской газете «Коммунист» пишет: «Важно не предсказать, когда будет разрушен город, а построить его там и так, чтобы он не был разрушен».

Так ли это? Могут ли строители построить сейсмостойкий дом, не имея сейсмологической информации, независимо от сейсмологической ситуации? Если могут, то какой ценой? Как специалисты в области сейсмостойкости отвечают на этот вызов сейсмологов или, точнее, природы? Как создают системы сейсмозащиты в условиях неполной сейсмологической информации?

Анализ причин массовых разрушений инженерных сооружений при Спитакском и других сильных землетрясениях и, разумеется, весь предыдущий опыт и теория сейсмостойкого строительства могут помочь ответить на эти вопросы.

АЗЫ СЕЙСМОСТОЙКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Злополучной ночью 1976 г. большой китайский город Таншань, расположенный недалеко от Пекина, за несколько секунд был до основания разрушен сильнейшим землетрясением. Погибли сотни тысяч жителей. Токио и Сан-Франциско, Мессина и Мехико, Ашхабад и Бухарест, Ташкент и Ленинакан, — названия этих городов стали символами страшных бедствий, причиненных землетрясениями только в этом столетии.

По данным ЮНЕСКО, землетрясениям принадлежит печальное лидерство — они занимают первое место среди стихийных бедствий по причиняемому ими экономическому ущербу и одно из первых мест по числу человеческих жертв.

Четверть территории СССР расположена в особо опасных с сейсмической точки зрения районах. Но доля строительства в этих районах в общем объеме капитального строительства гораздо выше и продолжает возрастать в связи с тем, что они расположены в таких богатых сырьевыми ресурсами регионах, как Кавказ, Средняя Азия, Восточная Сибирь, Дальний Восток. Для сооружений, к которым предъявляются повышенные требования по сейсмической безопасности, — атомных электростанций, зданий взрывоопасных и химических производств — зона сейсмоопасности расширяется, составляя, по данным АН СССР, около 40 % территории страны.

Человечество с давних пор стремилось противостоять подземным ударам. Некоторые способы сейсмозащиты сооружений — использование вязких, пластичных растворов на основе смол, битумов или же свинца для кладки стен, устройство вязких подушек в основании зданий — были известны еще древним зодчим, успешно применявшим их при строительстве дворцов, мавзолеев, храмов. Однако рядовые, никак не защищенные постройки при землетрясениях, как правило, разрушались, приводя к гибели десятков и сотен тысяч людей.

Строительная практика на основе многолетнего опыта и новейших достижений науки привела к выработке норм, которые помимо правильного расчета требуют соблюдения ряда общих принципов конструирования.

Если сгруппировать конструктивные типы зданий по степени их сейсмостойкости, то на первое место следует поставить крупнопанельные дома, монолитные железобетонные здания, дома с металлическим или железобетонным каркасом и с железобетонными диафрагмами и ядрами жесткости.

Следом за ними идут, пожалуй, здания с железобетонными включениями в каменные или кирпичные стены. И, наконец, последнее место занимают каменные или кирпичные здания. Эта иерархия довольно условна — в некоторых случаях порядок мест может оказаться иным.

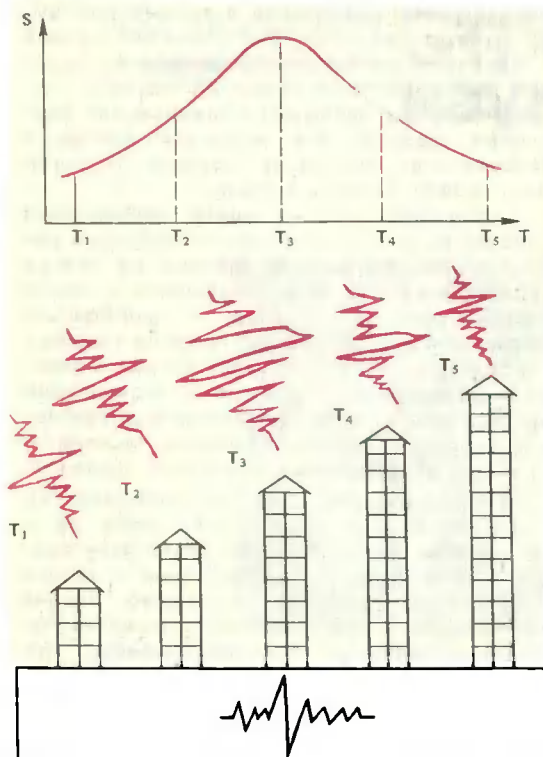
Конечно, сейсмозащита непременно требует высокого качества строительных работ, что, к сожалению, далеко не всегда соблюдается. И это нарушение — самая распространенная, наряду с ошибочным прогнозом интенсивности, причина тяжелых последствий землетрясений. Сегодня контроль качества и сама система организации строительства явно неудовлетворительны, они требуют гораздо больших усилий и затрат для получения должного эффекта.

Заметим, что смысл мероприятий по обеспечению сейсмостойкости вовсе не в том, чтобы при любом землетрясении здание осталось целым и невредимым — такого добиться практически невозможно. Задача заключается в том, чтобы при самых интенсивных подземных толчках (скажем, при 9-балльном землетрясении в 9-балльном районе) допустить в конструкциях лишь локальные повреждения при обязательном условии: обеспечить с высокой вероятностью безопасность населения. Какова эта вероятность, каков допустимый сейсмический риск — это разговор особый.

В принципе речь идет о том, чтобы решить две взаимосвязанные и одновременно противоречивые задачи: с одной стороны, обеспечивая высокую сейсмостойкость зданий, обезопасить находящихся в них людей, с другой — не доводить стоимость антисейсмических усиления до чрезмерных пределов, ибо ресурсы любого общества, которые могут быть направлены на снижение сейсмического риска, как, впрочем, и других видов риска, ограничены.

ТЕОРИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ, СЕЙСМИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ И НАГРУЗКИ НА СООРУЖЕНИЯ.

К теоретическому осмыслению принципов сейсмозащиты пришли сравнительно недавно. Первые методы расчета и нормы проектирования сейсмостойких конструкций родились в начале XX в., после крупных землетрясений в Японии и Италии. Сам расчет на сейсмические нагрузки выглядел на первых порах весьма просто. Считалось, что на сооружение в горизонтальном направлении действует одна десятая часть его массы, и затем выполнялся расчет на



Спектр сейсмической реакции S зданий. Он представляет собой зависимость максимальных ускорений, смещений или иных параметров движения точек различных зданий (условные акселерограммы показаны цветными кривыми на рисунке внизу) от периода их собственных колебаний T . Реакция максимальна у зданий, периоды собственных колебаний которых близки к преобладающим периодам колебаний грунта T_3 (акселерограмма землетрясения с максимумом колебаний при $T=T_3$ представлена на рисунке внизу черной кривой).

прочность. По существу такой подход предполагал, что сооружение перемещается как абсолютно жесткое тело вместе с грунтом и, естественно, ускорения всех его точек и грунта равны между собой. Этот подход отражал господствующее в то время убеждение, что землетрясения присущи «медленные», куда более длиннопериодные колебания грунта, чем собственные колебания зданий. По мнению известного японского ученого Т. Суэхино, периоды колебаний грунта 1—2 с следовало считать преобладающими при землетрясениях. Такое утверждение можно объяснить отчасти тем, что на первых порах измерения при землетрясениях производились лишь сейсмографами, которыми регистрировали смещения

грунта, и не записывали ускорений. Дело в том, что на записях смещений (сейсмограммах) визуально выявляются длиннопериодные колебания, а на записях ускорений (акселерограммах) — колебания с короткими периодами.

В первые десятилетия XX в. в Японии, а затем и в других странах в строительстве получила распространение концепция высокой сейсмостойкости жестких монолитных железобетонных зданий с ячеистой структурой, достигаемой большим количеством внутренних стен. Периоды T собственных колебаний таких зданий (0,1—0,3 с) были меньше предполагавшихся периодов сейсмических колебаний (1—2 с). И это считалось важным фактором их сейсмостойкости, поскольку при таких условиях исключалась возможность резонансных явлений.

В 30-е годы после разрушительных землетрясений в Калифорнии (США) Береговой и геодезической службой этого штата была проведена широкая программа исследований, в ходе которых, с одной стороны, регистрировались ускорения грунта при землетрясениях (новыми, специально созданными приборами — акселерографами), а с другой — фиксировались собственные колебания зданий. Выяснилось, что преобладающие периоды колебаний грунта при калифорнийских землетрясениях соответствуют диапазону 0,2—0,3 с, а не 1—2 с, как считалось ранее. Иными словами, периоды сейсмических колебаний оказались близки к периодам собственных колебаний большинства зданий высотой в 4—5 этажей, которые как раз и составляли в те годы основу массового строительства.

Естественно, возникла мысль о возможности резонанса и, следовательно, о динамических нагрузках, в несколько раз превышающих нагрузки, определенные статическим методом. Это предположение подкреплялось тем, что разрушения в Калифорнии оказались куда значительно более расчетных. К такому же выводу пришли советские специалисты после разрушительного Ашхабадского землетрясения 1948 г. Все это привело к тому, что в середине 50-х годов на смену статическому пришел так называемый динамический метод расчета сооружений на сейсмостойкость. В нашей стране он был предложен И. Л. Корчинским (ЦНИИСК Госстроя СССР), и с 1957 г. вошел в официальные строительные нормы СССР. И хотя с тех пор сами нормы неоднократно пересматривались, метод расчета, претерпев ряд модификаций, в своей сути не изменился. Примерно в это же время динамический метод был включен в строительные коды США.

Динамическому методу расчета (иногда его называют спектральным) присуща важная особенность. Он учитывает различие сейсмических ускорений грунта на разных периодах колебаний. При этом с уменьшением жесткости, т. е. увеличением периодов собственных колебаний сооружений, расчетная сейсмическая нагрузка может снижаться почти в четыре раза. В результате расчетные нагрузки на сооружения, проектируемые для разных сейсмических районов — от 7- до 9-балльной сейсмичности, могут различаться в 12—14 раз за счет разной жесткости зданий (разных периодов собственных колебаний) и сейсмичности (балльности) территории.

Но вот совсем недавно успехи измерительной сейсмологии привели к пониманию того непреложного факта, что «раз на раз не приходится». При землетрясениях могут преобладать как длиннопериодные так и короткопериодные колебания. Землетрясения в Скопле, Ташкенте, Агадире были короткопериодными, и разрушались преимущественно жесткие здания. Землетрясения в Мехико и Бухаресте содержали в спектре интенсивные длиннопериодные колебания с $T=2,5$ с и $1,25$ с соответственно. Обследования, проведенные в Бухаресте и Мехико, подтвердили сильную корреляцию между сейсмическими спектрами, периодами собственных колебаний зданий и объемами разрушений: здесь массовым разрушениям подверглись более высокие и гибкие здания.

Теперь уже сейсмологом ясно, что спектр сейсмических колебаний определяется двумя группами факторов: с одной стороны, механизмом очага, магнитудой землетрясения, эпицентральной дистанцией, с другой — свойствами грунтов. Из этого следует, в частности, что на одной и той же или близко расположенных площадках могут происходить землетрясения, существенно различающиеся преобладающими периодами колебаний и спектрами.

Как же строительная наука ответила на этот новый вызов природы, сформулированный устами и перьями сейсмологов? Какие дома строить, чтобы избежать резонанса? Жесткие? Гибкие?

АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ СЕЙСМОЗАЩИТЫ

Очевидно, что прогнозируемые сейсмические спектры необходимо учитывать при проектировании. Зачастую, однако, такая информация бывает далеко не полной — известна (из опыта) лишь некоторая область преобладающих периодов. С учетом этого в нашем отделе была разработана спектрально-временная модель сейсмических воздействий и синтезирован соответствующий набор расчетных акселерограмм. Исследования показали, что в условиях неопределенности такого типа оптимальными системами сейсмосащиты являются адаптивные системы, периоды собственных колебаний которых могут меняться в процессе сейсмического воздействия.

Пример таких систем — сооружения с резервными выключающимися элементами. Что это за элементы? Их конструктивные решения очень разнообразны. Например, в зданиях с гибкими нижними этажами или домах на качающихся стойках это могут быть жесткие диафрагмы, которые не несут никакой другой вертикальной нагрузки за исключением собственного веса. Выключением элемента может быть разрушение самой диафрагмы или болтов, заклепок, шпонок, которые соединяют диафрагму с основными элементами здания. Выключающимися элементами могут служить даже перемычки между стенами и диафрагмой. Сейсмические амплитуды колебаний сооружений дополнительно снижаются, если резервные элементы до выключения способны рассеивать энергию либо за счет гистерезиса, либо за счет сухого и (или) вязкого трения.

Эффективность таких систем определяется несколькими факторами.

Один из них — избыточное резервирование. Системы сейсмосащиты с резервными элементами устроены так, что могут находиться в различных состояниях: резервные элементы не выключены, выключены частично или полностью. Пусть вероятность переключения системы в результате выключения первого резервного элемента есть P_1 , второго элемента — P_2 , последнего элемента — P_n , а P_0 — вероятность разрушения системы с полностью выключенными резервными элементами. Тогда суммарная вероятность разрушения P , если считать все переключения независимыми событиями, будет определяться произведением всех указанных вероятностей. И поскольку все $P_i < 1$, то $P < 1$ и, естественно, $P < P_0$.

¹ Кстати, прибывшие в Ленинкан после землетрясения японские эксперты, сравнивая расчетные сейсмические нагрузки на здания в Спитаке и Токио, удивлялись тому, что в Токио эти нагрузки в 4 раза выше. Но ведь они сравнивали несравнимое — 7-балльный (каким он считался до землетрясения) район Спитак и примерно 9-балльный (по шкале MSK) район Токио. Вообще на всей территории Японии расчетная сейсмичность близка к нашей 9-балльной.

Иными словами, наличие резервных элементов заметно снижает вероятность разрушения. При этом спектральные особенности сейсмического движения особой роли не играют.

Другой фактор, напротив, существенно зависит от прогнозируемого набора спектров сейсмических движений и связан с изменением жесткости и, соответственно, периодов собственных колебаний сооружения. Проиллюстрируем это на следующем простом примере.

Пусть на площадке возможны землетрясения двух типов — с короткими преобладающими периодами (например, 0,25 с) и длинными (1,5 с).

Как поведет себя при этом система с выключающимися резервными элементами, которая может находиться в двух состояниях: до выключения резервных элементов ($T=0,25$ с) и после выключения ($T=1,5$ с).

Ситуация первая. Происходит землетрясение с преобладающими периодами колебаний около 0,25 с, т. е. равными периоду собственных колебаний сооружения. В этом случае начинает развиваться резонанс. Однако при определенных, заранее рассчитанных деформациях, намного меньших предельно допустимых, опасных для сооружений, произойдет выключение (разрушение) жестких резервных элементов. У сооружения упадет жесткость, периоды колебаний увеличатся, и оно «выйдет» из резонансного режима. Для предотвращения чрезмерных горизонтальных перемещений сооружения, теперь уже гибкого, устраиваются специальные упоры-ограничители.

Ситуация вторая. Происходит «медленное» землетрясение с $T=1,5$ с. Сооружение с невыключенными резервными элементами имеет период собственных колебаний 0,25 с, следовательно, резонанса нет и нагрузки относительно малы.

Таким образом, независимо от типа землетрясения в рассматриваемом нами сооружении не реализуется резонансный режим. Нагрузка на такие сооружения с выключающимися элементами в несколько раз ниже, чем на обычные здания с неизменной или мало меняющейся жесткостью.

Разумеется, этот пример носит схематический характер и потому упрощен.

В действительности на одной и той же площадке могут иметь место несколько типов землетрясений, отличающихся друг от друга преобладающими периодами колебаний. Кроме того, деформации конструкций происходят и в неупругой стадии. Эти и другие факторы учитывались в осуществляемой в последние годы широкой про-

грамме исследований адаптивных систем. Было, в частности, выявлено влияние нелинейности, нестационарности, диссипации энергии на сейсмическое поведение сооружений, что, в свою очередь, позволило разработать целый класс реальных конструктивных решений для систем с резервными элементами (включающимися и выключающимися). Более того, они уже реализованы при застройке г. Северобайкальска на западном участке БАМа (расчетная сейсмичность 9 баллов) и в ряде других населенных пунктов.

Системы с резервными элементами обеспечивают повышение надежности (сейсмостойкости) зданий и снижение расхода материалов, трудоемкости и стоимости строительства. Только в Северобайкальске экономия средств за счет такой системы сейсмозащиты составила 3,5 млн руб.

Это лишь один из ответов строительной науки на вызов природы, которая держит в секрете подробности будущих сейсмических движений, важные с точки зрения выбора наилучших строительных решений. Разумеется, причины разрушений при землетрясениях разнообразны и обусловлены многими факторами: интенсивностью землетрясения, качеством строительства и т. п. Каждый из этих факторов нуждается в отдельном анализе, но это уже выходит за рамки данной статьи.

ЛЕНИНАКАН, 7 ДЕКАБРЯ 1988 г. СПЕКТРЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ И РАЗРУШЕНИЯ ЗДАНИЙ

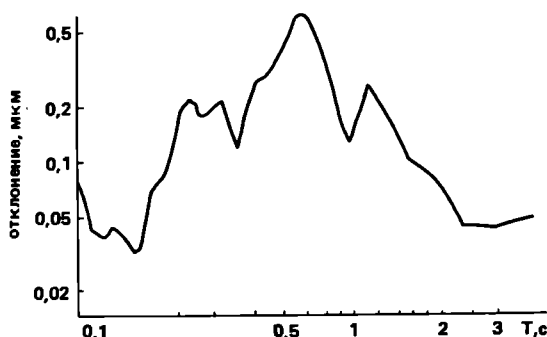
По предварительным данным сейсмологов, спектральная картина Спитакского землетрясения была необычно пестрой.

Ускорения, зарегистрированные в Ереване, были весьма высокочастотными. Преобладающие периоды находились, по данным Э. Е. Хачияна, в пределах 0,1—0,2 с. Напротив, в г. Гукасяне колебания были относительно низкочастотными. Преобладающие периоды одной из их горизонтальных составляющих находились вблизи 0,8 с. Особенно большим разнообразием отличались, по видимому, спектры в Ленинанкане. Это разнообразие обусловлено специфическими грунтовыми условиями. Под Ленинанканом залегает линза суглинков, перемежающихся с туфами и супесями (ее толщина — несколько сот метров). По расчетам специалистов Института физики Земли АН СССР (В. В. Штейнберга и др.), на различных площадках Ленинанкана преобладающие периоды сильно отличались и составляли 0,3 с; 0,6 с; 0,9 с; 1,5 с.

Таблица 1

Состояние зданий в Ленинакане после землетрясения 7 декабря 1988 г.

Конструктивное решение		Средние периоды собственных колебаний, с	Общее количество зданий	Состояние		
Несущие конструкции	Число этажей			разрушено, подлежит сносу	подлежит восстановлению	пригодно к эксплуатации
Крупно-панельные	9	0,35	16	0	16(100 %)	0
Каркасно-панельные	5—9	0,6	65	58(89 %)	1(2 %)	6(9 %)
Комплексные каменные с ж/б включениями	4—5	0,3	78	48(62 %)	2(2 %)	28(36 %)
Каменные и комплексные каменные	1—4	0,1—0,2	768	264(34 %)	184(42 %)	320(24 %)
Всего:			927	370(40 %)	203(22 %)	354(38 %)



Сглаженные спектры, полученные по регистрации микросейсм японскими экспертами (север Ленинакана).

Измерения, проведенные японскими учеными, подтвердили эти расчеты. Преобладающий период микросейсмических колебаний грунта в северной и центральной частях Ленинакана по их данным оказался равным 0,6 с. Эта же группа произвела измерения собственных периодов колебаний основных типов зданий.

В Ленинакане наибольший объем разрушений (89 %) приходится на каркасно-панельные здания (см. табл. 1). Единственное 10-этажное здание с ядрами жесткости, возведенное методом подъема перекрытий, обрушилось. Общее у этих зданий одно — периоды их собственных колебаний близки к 0,6 с. Отметим, что в Кировакане здания этого типа не разрушались.

Таким образом, значения периодов собственных колебаний наиболее разрушенных зданий, совпадающие по данным советских и японских исследователей, оказываются весьма близки к преобладающим периодам колебаний грунта. Необходимо акцентировать внимание на этом факте. Он вновь подтверждает то, что отчетливо проявилось при землетрясениях в Мехико

Таблица 2

Отношение A фактических нагрузок на здания в северо-западной части Ленинакана к расчетным (при 7 и 8 баллах)

Период собственных колебаний зданий, с	A_7	A_8
0,15	1,4	2,8
0,3	1,9	3,8
0,6	2,9—5,6*	6—11,2*
1	1,6—3,2*	3,5—6,4*

* Величина зависит, согласно СНиП, от числа этажей.

(1957 г., 1962 г., 1985 г.), Бухаресте (1940 г., 1977 г.) и других местах, — тесную корреляцию между амплитудно-частотным спектром сейсмических ускорений грунта и объемом разрушений.

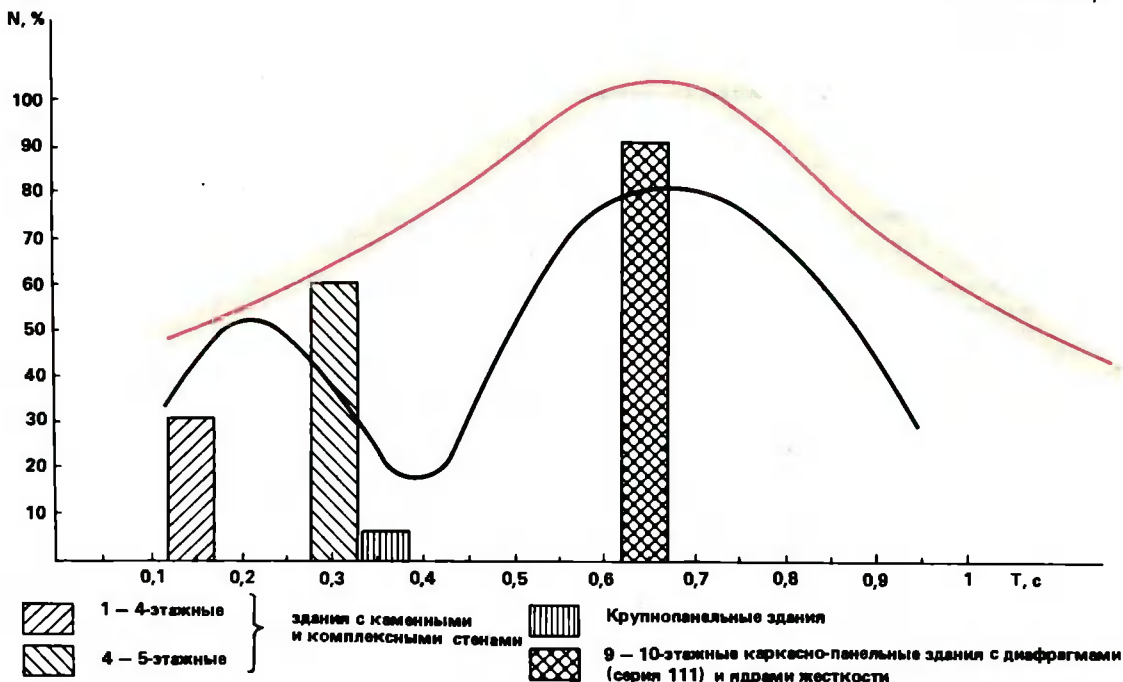
Эта корреляция убедительно продемонстрирована и в Ленинакане 7 декабря 1988 г. (см. табл. 2). Более того, прослеживается и некоторая корреляция даже между ускорениями, отвечающими определенным периодам колебаний грунта, и степенью разрушений зданий с такими же периодами собственных колебаний.

Разумеется, эти выводы носят качественный характер, спектры построены приближенно. И все же корреляция представляется несомненной.

НЕМНОГО ПОЛЕМИКИ

Несколько иначе расставлены акценты при объяснении причин массовых разрушений в статье Н. В. Шебалина «Стихия и мы» (Коммунист. 1989. № 10. С. 82—92).

Статья написана эмоционально, отражает гражданскую позицию автора, его боль



Зависимость между относительным числом N разрушенных в Ленинакане зданий и периодами их собственных колебаний. Приведены также конфигурации спектра сейсмической реакции по акселерограмме, полученной в Гукасяне (цветная кривая), и сглаженного спектра сейсмической реакции (по расчетам ИФЗ АН СССР, сделанным после землетрясения) для северной части Ленинакана (черная кривая).

за случившееся как человека и как специалиста, участвовавшего в составлении карты сейсмического районирования. Разделы статьи, касающиеся прогноза землетрясений, сейсмического районирования, социального страхования, написаны особенно сильно и убедительно. И это естественно — пишет специалист, профессионал — игра, как говорится, идет на своей площадке.

Что касается причин разрушений, то здесь автор, как это вольно или невольно делают и многие другие сейсмологи, тяготеет к тому, чтобы главной причиной массовой гибели зданий в Ленинакане назвать низкое качество работ. Спору нет — качество работ и строительных материалов низкое. Оно низкое и в Армении, и в Сибири, и на Дальнем Востоке.

И хотя при сильных землетрясениях две причины разрушений — высокая интенсивность сейсмических колебаний и недостаточная сейсмостойкость построек — так сильно связаны, что часто трудно выделить главную из них, все же совершенно очевид-

но, что там, где фактическая интенсивность землетрясения близка к указанной на сейсмических картах, никогда не происходило трагедий такого масштаба, как в северной Армении. Независимо от качества строительства.

Да и качество строительства, и типы зданий, например в Ленинакане и Кировакане, примерно одинаковы. Но в Кировакане интенсивность землетрясения превосходила указанную на сейсмических картах только на 1 балл, а в Ленинакане — на 1,5—2 балла. Число погибших в Кировакане составило 0,2 %, а в Ленинакане — по неполным данным — 4 % (от общего числа жителей). Что же касается Спитака, где фактическая интенсивность превысила расчетную на 2—3 балла, то число потерянных человеческих жизней достигло здесь 40 % (см. табл. 3). Заканчивая эту горестную статистику, подчеркнем вновь, что едва ли качество строительства так сильно разнилось в Спитаке, Ленинакане и Кировакане. Так в чем же главная причина массовых разрушений? Думается, читатель сам теперь ответит на этот вопрос.

В обсуждаемой статье содержатся и другие соображения, которые вызывают потребность обсудить альтернативные точки зрения.

Например, высказано мнение (которое, кстати, разделяют и некоторые другие спе-

Таблица 3

Последствия Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.

Город	Общее число жителей до землетрясения, тыс. чел.	Расчетная сейсмичность (до землетрясения), баллы		Фактическая интенсивность землетрясения, баллы	Максимальное превышение фактической интенсивности над расчетной, баллы	Число погибших, тыс. чел.*
		по картам ОСР	с учетом микро-районирования			
Спитак	30	7	7—8	9—10	3	10—12(40 %)
Ленинакан	280	8	7—8	8—9	2	12—15 (4—5 %)
Кировакан	220	7	7—8	8	1	0,45 (0,2 %)

* По данным Армянского научно-исследовательского института строительства и архитектуры.

циалисты), что Ленинакан «строится почти на старом, опаснейшем месте», что «нынешняя территория Ленинакана является едва ли не наихудшей с точки зрения сейсмических условий по сравнению со многими другими участками, расположенными по соседству».

Но почему наихудшей? Вот одно из объяснений. Исследования, выполненные В. И. Халтуриним и В. В. Штейнбергом, показали, что «толстая 400-метровая линза плотных глин, залегающая под Ленинаканом, действительно имеет свойства концентрировать в себе и резко усиливать коле-

бания с периодами порядка 1—2 секунды». Ну и что? Автор, вероятно, хочет подчеркнуть, что здания с такими собственными периодами могут резонировать с сейсмическими волнами и разрушаться от чрезмерных динамических нагрузок.

Совершенно верно. Они и разрушались. Большая часть людей погибла в Ленинакане именно в относительно гибких девятиэтажных каркасных зданиях серии 111, имевших сравнительно данные периоды собственных колебаний. И 10-этажное здание с каркасом и ядром жесткости, которое опрокинулось, тоже имело довольно большой период собственных горизонтальных колебаний. Кстати, качество конструкций этого здания не было особенно низким — скорее его можно считать средним, почти нормальным. Но там же, на той же площадке, превосходно перенесли землетрясение все

16-этажный дом в Ленинакане, возведенный методом подъема перекрытий. Горизонтальное отклонение верхнего перекрытия после землетрясения — 120 см. Впоследствии дом взорван.



шестнадцать крупнопанельных девятиэтажных домов. Никто в них не пострадал. Это были более жесткие здания с периодами собственных колебаний 0,3—0,35 с.

Таким образом, землетрясение отчетливо продемонстрировало, какие именно здания следует строить в Ленинакане с учетом специфики его грунтов — специфики, на которую справедливо указывает Н. В. Шебалин. И дело вовсе не в высоте, не в числе этажей, а именно в конструкции. К сожалению, за такую науку заплачено дорогой ценой.

Но, может быть, северо-запад Ленинакана относится к 10-балльной зоне? В таком случае строительными нормами возведение любых сооружений, за исключением малоответственных временных построек, здесь просто запрещено. Обеспечить же сейсмостойкость на 9-балльных площадках строители умеют.

Если же сейсмологи и геологи определяют площадку на северо-западе как 9-балльную, а на юго-востоке как 8-балльную, то проблема выбора должна решаться с учетом целого комплекса факторов: экономических, архитектурных, функциональных и т. п.

Но вернемся к публикации Н. В. Шебалина. Трудно разделить уверенность автора в том, что «большинство погибших зданий в городе обрушились без сильных отклонений в сторону» (это значит, что основные колебания были направлены вертикально), что поскольку для высоких зданий период колебаний приближается к 1 с, то, следовательно, сейсмолог должен прийти к заключению, что «во время землетрясения возникли очень сильные вертикальные колебания с периодом 1—1,5 секунды». В действительности же дело обстоит так. Периоды основного тона собственных колебаний наиболее пострадавших каркасно-панельных 9-этажных зданий составляли: в горизонтальном направлении — около 0,6 с (удлиняясь по мере накопления трещин и других локальных повреждений до 0,9—1,2 с), в вертикальном направлении — по ориентировочным расчетам, 0,1—0,2 с. Что же касается периодов наиболее интенсивных сейсмических ускорений грунта в северо-западной части Ленинакана, то они составляли, как уже отмечалось, 0,6; 1; 1,5 с. Следовательно, резонанс с этими наиболее интенсивными сейсмическими движениями развивался именно в горизонтальном, а не вертикальном направлении. Это, разумеется, не исключает существенного влияния и вертикальной компоненты сейсмического воздействия, усугубившей разрушения и без того перегру-



Север Ленинакана. Относительно гибкое каркасное здание.



4-этажный каменный дом с комплексными стенами.

женных собственным весом зданий железобетонных колонн.

Конечно, несмотря на большую продолжительную работу по изучению особенностей Спитакского землетрясения, неясного здесь остается еще много. Например, низкочастотные колебания зарегистрированы и в Гукасяне. Чем они вызваны? Грунтовыми условиями или механизмом очага?

«Серьезная научная работа по исследованию Спитакского очага и его проявления на поверхности только начинается». И в этом Н. В. Шебалин, безусловно, прав.

ВОПРОСЫ, НА КОТОРЫЕ УЖЕ ЕСТЬ ОТВЕТЫ

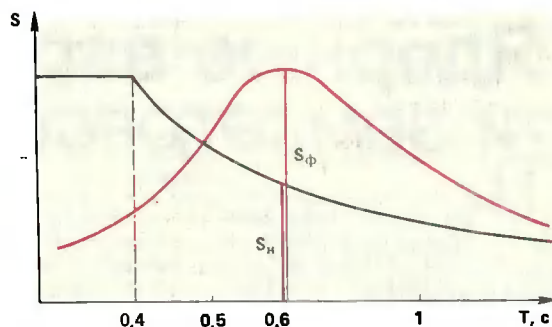
Вернемся к адаптивным системам и зададимся вопросом, который, увы, может быть сформулирован только в условном наклонении: а что если бы адаптивные системы применялись в Ленинакане? До землетрясения 1988 г. специалистам, во всяком случае специалистам-строителям, ничего не было известно о специфике ленинаканских сейсмических спектров — они пользовались обычным унифицированным графиком из Строительных норм и правил СССР (СНиП).

Сейчас, зная спектральные особенности ленинаканских грунтов, можно и нужно проводить расчеты с их учетом. Такая работа была проделана в ЦНИИСКе, и ее основные результаты проще всего продемонстрировать на примере.

Пусть запроектировано сооружение с резервными выключающимися элементами, которое может находиться в двух состояниях: до выключения элементов период собственных колебаний сооружений $T=0,25$ с, после выключения — 1,5 с. Допустим, что прочность выключающихся элементов подобрана так, что при землетрясениях с высокочастотными спектрами они выключаются, а при землетрясениях с низкочастотными спектрами — не выключаются. Оказывается, что при любом из землетрясений, которые могут произойти в Ленинакане, нагрузка на такую самонастраивающуюся систему может быть по крайней мере вдвое ниже, чем на обычное сооружение с $T=0,25$ с, а перемещения в несколько раз меньше, чем у сооружения с $T=1,5$ с. Таким образом, и инерционные силы, и перемещения в системах с перестраивающимися динамическими характеристиками ниже, чем в обычных.

Конечно, эти рассуждения довольно схематичны и призваны лишь проиллюстрировать концепцию проектирования и принцип управления адаптивным сооружением. Из них, в частности, следует, что при использовании адаптивных систем с выключающимися элементами расчетную сейсмическую нагрузку на сооружения в Ленинакане можно существенно снизить, а сейсмостойкость сооружений повысить.

Теперь можно попытаться ответить на вопросы, поставленные в начале статьи.



Приведенные спектры сейсмической реакции: черная кривая взята из норм, которыми руководствовались при проектировании зданий в Ленинакане, цветная получена после землетрясения на основании данных ИФЗ АН СССР и группы японских экспертов. Видно, что при $T=0,6$ с фактическая реакция S_f примерно в 2 раза превышает нормативную S_n . Чтобы оценить превышение фактической горизонтальной сейсмической нагрузки над проектной, нужно умножить S_f/S_n на отношение максимальных фактических и нормативных ускорений [для Ленинакана это 2—4]. Это означает, что для зданий с периодами собственных колебаний около 0,6 с фактическая нагрузка могла превышать расчетную в 4—8 раз.

Могут ли строители разработать проект сейсмостойкого здания в отсутствие прогноза места, времени, интенсивности и других характеристик землетрясения? Разумеется, ответ на этот вопрос будет отрицательным.

К счастью, некоторые сведения всегда имеются. Выше был приведен пример, когда неполнота информации заключается в том, что неизвестен спектр будущего землетрясения, и обсуждена проблема оптимального проектирования в такой ситуации. Встречаются, конечно, и другие виды сейсмологических неопределенностей.

Хотя строительная наука разрабатывает свои методы, помогающие обойти эти неопределенности, необходимо отчетливо понимать — чем их больше, тем выше цена сейсмостойкости сооружения. Повышение расчетной сейсмической нагрузки вдвое, т. е. на 1 балл, повышает стоимость сооружений на 2—6 %.

В заключение нужно подчеркнуть, что методы и результаты сейсмостойкого строительства во многом связаны с уровнем и результатами сейсмологических исследований, в частности инженерной сейсмологии. Сейсмологи и строители должны работать по общим программам. Масштабы подобных исследований как у строителей, так и у сейсмологов ныне не отвечают огромным масштабам строительства в сеймоопасных районах страны — их необходимо радикально расширить.

Ядерные взрывы и землетрясения

«Могут ли подземные ядерные взрывы провоцировать землетрясения? Куда уходит огромная энергия, выделяемая при этих взрывах? И как вообще испытания ядерного оружия, проводимые уже более 30 лет в СССР и США, сказываются на сейсмической активности в отдельных регионах и на земном шаре в целом?» — эти вопросы волнуют многих. Тревожные письма идут и в институты, и в АН СССР, и в ЦК КПСС. Количество писем резко увеличилось после землетрясения в Армении. Появились новые вопросы. В частности, многие спрашивают, не вызвано ли Спитакское землетрясение ядерным взрывом на Новой Земле, произведенным за 3 дня до катастрофы.

В конце концов основная часть этих писем пересылается к нам, в Институт физики Земли. На каждое письмо сотрудникам нашего института приходится отвечать, что отнимает массу сил и времени. Поэтому я охотно согласилась за предложение редакции «Природы» ответить хотя бы на самые частые вопросы на страницах журнала.

Начну с наиболее общего вопроса о возможном повышении сейсмической активности в результате ядерных испытаний. Но, прежде чем обсуждать эту возможность, следует сказать, что существует определенная периодичность в количестве землетрясений. Она отмечалась многими сейсмологами в разное время и задолго до испытаний ядерных устройств.

Периоды, выделяемые разными исследователями, различны по величине, но в целом в пределах каждого региона сейсмическая активность характеризуется сменой максимумов и минимумов. Причем флуктуации столь значительны, что на их фоне невозможно выделить изменения сейсмической активно-

сти, обусловленные ядерными взрывами. Да и 30-летний временной интервал, в течение которого проводятся ядерные испытания, явно недостаточен для обоснованных выводов об их влиянии на сейсмическую активность.

Следующая серия вопросов касается возможности искусственной провокации землетрясений с помощью ядерных взрывов. В последние годы в сейсмологии появился термин «вызванная», или «возбужденная», сейсмичность. Эта разновидность сейсмичности обусловлена нарушением тектонического равновесия в каких-то локальных областях в результате активной человеческой деятельности: сооружения огромных плотин, заполнения водохранилищ, длительной эксплуатации нефтяных и газовых месторождений. Известно, что в таких районах случаются небольшие по мощности землетрясения. В этой связи возникает вопрос: не может ли ядерный взрыв также стать источником «возбужденной» сейсмичности?

Все мы знаем, что за сильным естественным землетрясением обычно следует серия более слабых толчков — афтершоков, которые связаны с тектонической неустойчивостью региона. Хотя, по мнению многих специалистов, подземные взрывы способны провоцировать близкие землетрясения, пока зарегистрировать их не удалось. Не вызвал землетрясения и взрыв ядерного заряда в 1 Мт, произведенный в зоне с высокой сейсмической активностью на Алеутских о-вах¹. Правда, в некоторых случаях при взрывах отмечались очень слабые повторные толчки в пределах испытательного полигона, вызванные обрушением полости взрыва. В целом же подобные взрывы нельзя рас-

сматривать как чистый эксперимент, поскольку почти все полигоны расположены в сейсмически спокойных районах.

Теперь несколько слов о том, как ядерные взрывы проявляются на большом удалении, в тысячах километров от очага взрыва. Любой подземный ядерный взрыв — это искусственное землетрясение. Однако ядерный взрыв отличается от землетрясения по времени действия источника сейсмических волн — при взрыве оно не превышает долей секунды. При этом на возбуждение сейсмических волн, как показали эксперименты, идет не более 1—5 % общей энергии взрыва (в зависимости от состава пород, в которых он производится). Основная часть огромной энергии подземного ядерного взрыва высвобождается в нескольких десятках метров от очага в виде остаточной тепловой энергии².

Сейсмические волны от взрывов, как и от землетрясений, быстро затухают с удалением от источника. Так, на расстоянии более 1000 км взрыв мощностью 100 Кт вызывает колебания земной поверхности с амплитудой около 1 мкм. Трудно предположить, чтобы столь малые колебания могли вызвать землетрясения.

Большинство взрывов, производимых в СССР и США, близки по энергии к землетрясению с магнитудой 5,5. Ежедневно в мире происходят десятки таких землетрясений, а взрывов — десятки в год. Кроме того, в мире ежегодно происходит 100—160 сильнейших землетрясений с магнитудой от 6 до 8. Так что доля ядерных взрывов в этой совокупности очень мала.

И еще: в эфир и на страницы печати зачастую идут сведения о рядовых землетрясениях, которым несть числа. Отчасти именно этим объясняется неоправданная тревога в среде непрофессионалов, создается ложное впечатление о резкой активизации жизни земной коры.

Н. Г. Гамбурцева,
кандидат физико-математических наук

Институт физики Земли
им. О. Ю. Шмидта АН СССР
Москва

С 23 по 26 мая 1989 г. в Ереване под эгидой ЮНЕСКО проходил Международный семинар «Спитак-88», в работе которого приняли участие более 140 советских и зарубежных специалистов по сейсмологии, сейсмостойкому строительству, уменьшению ущерба от стихийных бедствий.

Работа семинара проходила в трех направлениях: предварительные итоги изучения Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г.; подготовка населения к землетрясениям и прогноз землетрясений; научные и технические проблемы восстановления области, пострадавшей от землетрясения.

Для многих из выступавших это было не первое посещение Армении. Ведь буквально вслед за спасателями в зону бедствия прибыли сейсмологи, строители, геологи не только из ведущих институтов СССР, но и из-за рубежа. Иностранные научные миссии, организованные по инициативе ученых при поддержке и содействии своих правительств, уже с декабря 1988 г. приступили к проведению многоплановых исследований, развернув в эпицентральной зоне сеть современной измерительной аппаратуры. Предварительные итоги этой большой работы были обсуждены на семинаре, с тем чтобы на их основе совместно выработать дальнейшую программу исследований, сформулировать рекомендации на ближайшее будущее и отдаленную перспективу.

Публикация, подготовленная на основе бесед с ведущими специалистами — участниками семинара и по его материалам, дает возможность бросить хотя бы беглый взгляд на круг проблем, которые встают перед наукой в связи с защитой человечества от разрушительной стихии.

А. Систернас (Университет им. Луи Пастера, Страсбург), глава научной миссии Франции: «У Спитакского землетрясения есть шансы стать наиболее полно изученным сильным землетрясением...»

Совместная советско-французская экспедиция в составе сейсмологов и геологов начала работы по картированию нарушений земной поверхности и регистрации афтершоков в эпицентральной зоне спустя 10 дней после землетрясения (Эпицентральной сейсмологической экспедиция Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР вела наблюдения с 9 декабря). Аналогичные наблюдения проводились и американскими учеными из Геологической службы США, прибывшими несколько позднее. Таким образом, широкое международное сотрудничество в зоне Спитакского землетрясения сложилось еще на ранних стадиях его изучения, и проведение семинара ЮНЕСКО является его естественным продолжением. В принципе у этого землетрясения есть шансы стать наиболее полно изученным сильным землетрясением.¹

Об основных параметрах очага (координаты, магнитуда, сейсмический момент и т. д.) по предварительным данным уже сообщалось в печати¹. Их

дальнейшие уточнения, видимо, интересны только специалистам. Мне бы хотелось сейчас обратить внимание на другое.

Разрушительное землетрясение, поразившее Спитак, Ленинакан и Кировакан, а также многочисленные села на севере Армении 7 декабря 1988 г., было сильнейшим из известных в этой области. По официальным данным, погибло свыше 25 тыс. человек; Спитак разрушен на 90 %, Ленинакан — более чем на 40 %, Кировакан — примерно на 20 %. Магнитуда землетрясения (M) по разным определениям составляла 6,8—7; максимальная интенсивность колебаний в эпицентральной области достигала 10 баллов по 12-балльной шкале MSK-64.

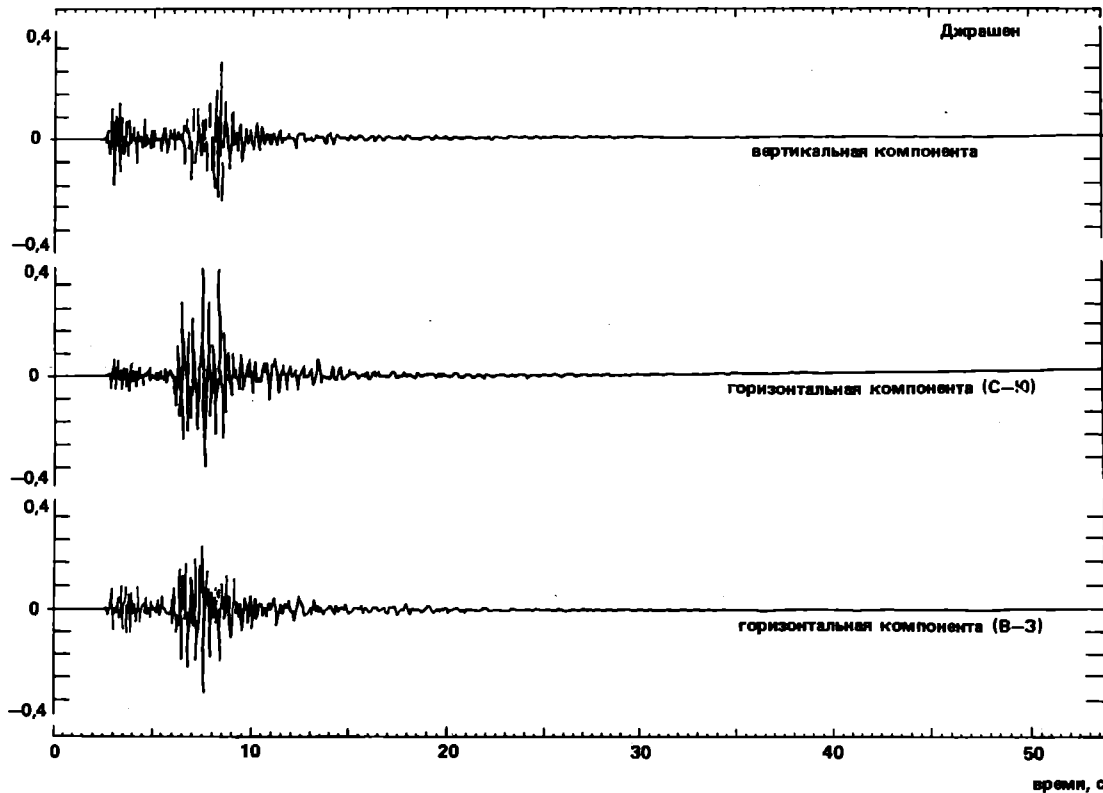
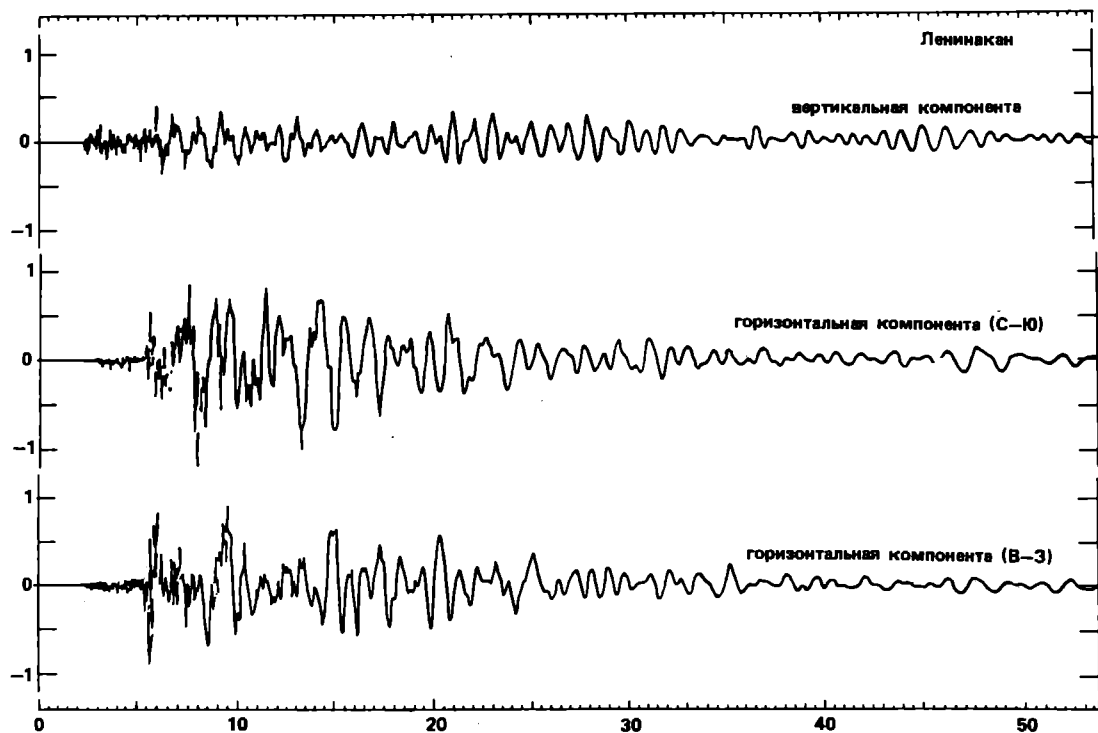
Спитакская катастрофа привлекла внимание к проблеме максимально возможного сильного землетрясения в этом районе. В прошлом все землетрясения здесь были гораздо слабее как по энергии, так и по разрушительным проявлениям на поверхности². В нашем столетии Спитак испытал землетрясение с магнитудой 5 в 1967 г., Кировакан — с магнитудой 5,3

в 1911 г., известно также Ленинаканское землетрясение 1926 г. с магнитудой 5,7. Исходя из этого, немногие сейсмологи считали возможным столь катастрофическое сейсмическое событие в данном регионе. Очевидно, что одни только сведения об исторических землетрясениях не могли привести к заключению о возможности здесь события с $M \geq 7$. Поэтому один из путей повышения надежности при оценке сейсмического риска для этого региона — расширение наших знаний о современных активных разрывах, например, благодаря значительно усовершенствованию действующей сейсмической сети, детальному картированию четвертичных деформаций, использованию результатов дешифрирования аэро- и космических снимков, а также применению методов палеосейсмологии.

Мне известно, что методом распознавания образов М. А. Садовский с сотрудниками в 1975 г. как потенциально опасную с точки зрения возникновения землетрясений с $M > 6,5$ выделили область около Ленинакана, включающую, в частности, эпицентральною зону Спитакского землетрясения. Развивая этот метод, А. Д. Гвишиани и В. Г. Кособоков в 1981 г. классифицировали как вероятный объект для землетрясения с $M > 7$ местность недалеко от Еревана. В настоящее время там рекомендована организация наблюдений над краткосрочными предвестниками.

¹ См., напр.: Шебалян Н. В., Борисов В. А. Спитакское землетрясение // Природа. 1989. № 4. С. 69—72.

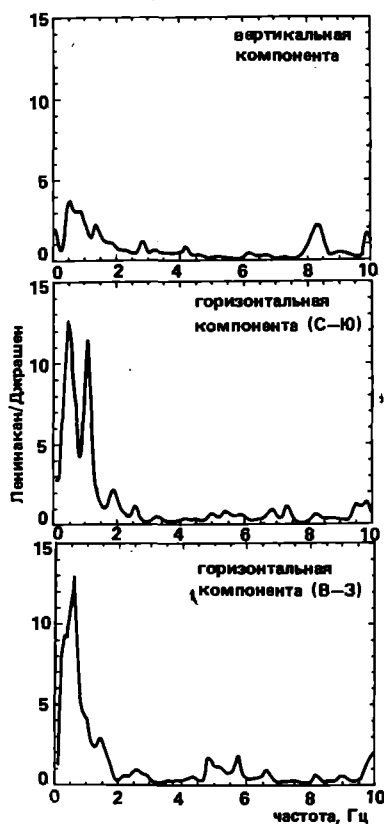
² Единой точки зрения по этому вопросу нет. См., напр., в этом номере: Никонов А. А. Земля землетрясений.



Дж. Филсон (Геологическая служба США), глава научной миссии США: «Нельзя исключить существования в регионе других разломов, способных генерировать землетрясения, не слабее происшедшего в декабре...»

Спитакское землетрясение принадлежало к так называемой полной серии — форшок, главное событие, активная афтершоковая деятельность. К сожалению, землетрясение с $M=3$, происшедшее за 16 ч до главного толчка, не было воспринято как форшок, так как не являлось каким-то выдающимся сейсмическим событием для этого региона.

Разрушения в Ленинакане



Записи скоростей сейсмических колебаний (велосеизмы) от афтершока 31 декабря 1988 г. в двух пунктах, находящихся на одинаковых расстояниях от эпицентра, — Ленинакане и с. Джрашен (слева) и результаты обработки этих велосеизм (справа): отношения спектров на тех же частотах. Отчетливо виден локальный эффект усиления (>10 раз) колебаний с периодами 0,5—2 с в Ленинакане.

гораздо значительнее, чем в Кировакане. Это особенно видно по многоэтажным каркасно-панельным домам³. На первый взгляд, это кажется парадоксальным — ведь Кировакан ближе как к инструментальному эпицентру землетрясения, так и к части разрыва, вышедшей на поверхность. Основная причина такой картины разрушений — вероятнее всего, различия в геологическом расположении обоих городов. Кировакан находится в узкой долине, окруженной высокими горами; большинство его зданий стоит на скальном основании или на тонкой почвенной прослойке. Ленинакан же расположен в широкой долине, сложенной рыхлым материалом. Предположение о локальном усилении колебаний в Ленинакане при основном толчке хорошо согласуется с записями относительно сильных афтершоков, которые показывают значительное усиление длиннопериодных колебаний почвы в Ленинакане.

Об этом, в частности, свидетельствуют две записи афтершока с магнитудой 4,5 (31 декабря 1988 г.) на одинаковом расстоянии от эпицентра — в Ленинакане и Джрашене (скальные грунты). Как длительность, так и амплитуда колебаний периодов 0,5—2 с намного больше в Ленинакане. Особенно четко эффект, виден на графике, где показаны отношения спектров

³ Более подробно см. в этом номере: Айзенберг Я. М. Строительная наука против стихии.

этих колебаний: амплитуда горизонтальной компоненты для указанных периодов увеличена в 10—15 раз. Это веский аргумент в пользу локального усиления сейсмических колебаний. Такие эффекты ранее наблюдались при землетрясении в Мехико и некоторых других случаях. Если мы не хотим повторения трагедии 7 декабря 1988 г., локальные эффекты усиления колебаний необходимо учесть при выборе строительных площадок для нового Ленинакана.

Требует специальных исследований возможная связь наблюдаемой картины разрушений с многофазным характером основного толчка. На больших (телесеизмических) расстояниях можно идентифицировать не менее трех субочагов, образовавшихся в течение 30 с. Первый из них возник около Спитака, второй — через 4 с после него в 15 км к юго-востоку и третий — еще через 10 с в 30 км к западу от первого (т. е. ближе к Ленинакану). Здесь, на семинаре, я ознакомился с материалами Т. Г. Раутиан и В. И. Халтурина, также обнаруживших многофазность основного толчка по записям объемных волны на сейсмической станции «Гарм» на Памире. Таким образом, по предварительным данным основной толчок имел сложный характер, возможно, со всплыванием по двум отдельным сегментам разлома.

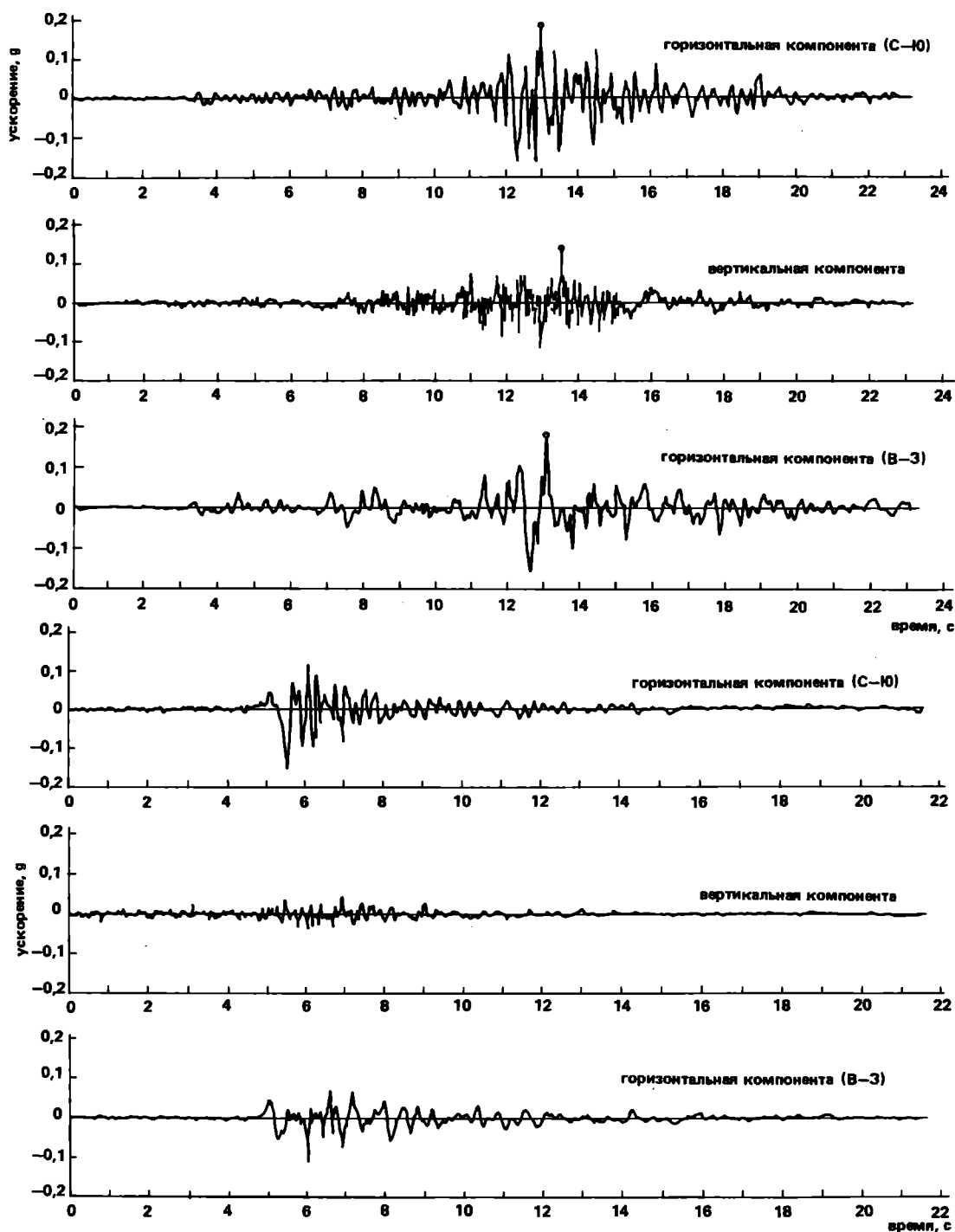
Необходимо отметить еще одно обстоятельство. Результаты наших полевых наблюдений (об этом сказано и в опубликованном нами предварительном отчете) говорят, что нельзя исключить существования в регионе других разломов, способных генерировать землетрясения как минимум той же силы, что и происшедшее в декабре.

Дж. Боммер (Королевский научно-технический колледж, Лондон): «Сохранилась единственная запись основного толчка в ближней зоне...»

Единственная запись основного толчка и его афтершока через 4 мин в ближней зоне зарегистрирована в Гукасяне к северу от Ленинакана и представляет собой аналоговую акселерограмму движения грунта. Расстояние от пункта регистра-

ции до эпицентра — 30 км, от ближайшего участка выхода очага на поверхность — 27 км. Пиковое ускорение в пункте регистрации составило 18 % от ускорения силы тяжести (g).

Временную историю основного толчка и его четырех-



Уникальная запись главного толчка Спитакского землетрясения вверху и его афтершока внизу,

полученная в ближней зоне — на инженерно-сейсмометрической станции в Гукасяне.

минутного афтершока можно проследить на графиках, полученных интегрированием этих записей. Они позволяют предположить относительно простой процесс вспарывания, без значительных остановок. Если от смещений перейти к выделенной энергии, можно выявить не-

сколько более сложный характер процесса при афтершоке, чем при главном толчке. Отмеченное пиковое ускорение (0,15g) — лишь немногим меньшее, чем у главного толчка, — говорит о том, что этот афтершок также мог обладать значительной разрушительной си-

лой. Видны явные противоречия в характере вспарывания по записям объемных волн на телесеismicческих расстояниях и записи ускорений в ближней зоне. Это диктует необходимость дальнейших, более глубоких исследований Спитакского землетрясения.

Б. К. Карапетян (председатель Проблемного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству АН АрмССР): «Тяжелые разрушения в Ленинанкане обусловлены по крайней мере тремя причинами...»

Первая особенность Спитакского землетрясения в том, что оно произошло с двумя, следующими один за другим толчками. Через 4 мин 20 с после основного толчка, интенсивность которого в Ленинанкане была 9—10 баллов⁴, на здания и сооружения, рассчитанные на 7—8 баллов и потому уже доведенные до предельного состояния, воздействовал еще один толчок интенсивностью 8—9 баллов⁵.

Повторное сейсмическое воздействие большой силы (намного превышающей расчетную) уже пагубно для зданий и сооружений. Но ситуация еще более усугубляется, если новый толчок происходит через столь короткое время, когда здания и сооружения не успевают прийти в новое, в некотором смысле стабильное состояние. В строительных нормах и правилах (СНИП) в сейсмических районах, как у нас, так и за рубежом, возможность повторного

сейсмического воздействия в расчет не принимается. На необходимость учета такого воздействия мы указывали еще лет 20 назад.

Другая отличительная черта Спитакского землетрясения — значительная вертикальная составляющая колебаний. Это подтверждается как характером разрушений зданий, так и зашкаливанием регистрирующей аппаратуры на станции «Ленинанкан» по вертикальной и наибольшей горизонтальной (С—Ю) составляющим. По данным американских сейсмологов, работавших в эпицентральной зоне, на записях сильных афтершоков вертикальная и максимальная горизонтальная составляющие были примерно одинаковы, а в строительных нормах и правилах воздействие вертикальной составляющей в основном не учитывается.

И наконец, при этом землетрясении сильно сказались особенности грунтовых условий в Ленинанкане. За последние годы из-за активного строительства они заметно ухудшились, повысился уровень грунтовых вод.

В результате произошло увеличение сейсмического воздействия, обусловленное сразу тремя факторами (мы называли это тройным сейсмическим эффектом): за счет ослабления

самих грунтов; вследствие резонансных явлений (совпадения периодов собственных колебаний зданий и периодов колебаний грунтов под ними); из-за взаимодействия гибких зданий со слабыми грунтами (то же самое может иметь место в случае жестких зданий, сооруженных на скальных грунтах).

Конечно, определенную роль в степени разрушений сыграло и качество строительства. Оно, как известно, снижается из качества выпускаемой строительной продукции и строительно-монтажных работ при сборном строительстве, качества возведения при монолитном строительстве, а также того, насколько тщательно выполняются антисейсмические мероприятия. С качеством строительства в СССР в целом дело обстоит плохо. И ситуацию надо исправлять повсюду. Однако для сейсмических районов, где к качеству строительства должны предъявляться более жесткие требования, в первую очередь необходимо разработать новые подходы в управлении качеством строительства.

Обобщая сказанное, отмечаю, что в СНИП не учтены указанные выше важные обстоятельства, которые и привели к трагическим последствиям. Их обязательно следует принять во внимание при проектировании и строительстве новых зданий и сооружений в районах, пострадавших от землетрясения, а также при составлении новых строительных норм и правил в сейсмических районах.

М. Агбабян (Южнокалифорнийский университет, Лос-Анджелес): «Срочно нужна программа укрепления зданий в Ереване...»

Землетрясения, как и люди, имеют свое собственное, неповторимое «лицо». И если среди людей еще встречаются близнецы, то двух абсолютно

одинаковых землетрясений не бывает. Конечно, это сильно осложняет защиту от этих стихийных бедствий.

К сожалению, есть только

две записи основного толчка, полученные в Армении (и лишь одна — в ближней зоне). И тем не менее вместе с сотнями записей афтершоков сейчас мы имеем довольно полную картину события. У Спитакского землетрясения обнаружился целый ряд особенностей, которые обу-

⁴ Интенсивность определена в соответствии с МСК-64 по записям устаревших приборов балльности СБМ. По официальному заключению, интенсивность в Ленинанкане составляла 8—9 баллов.

⁵ Сколько-нибудь точное определение балльности второго толчка невозможно, поскольку нельзя отделить его действие в суммарном эффекте разрушения.

словили характер разрушений и их масштаб: довольно редко встречающийся сильный второй толчок, следовавший очень быстро (через 4 мин) после первого, большая вертикальная составляющая. Не последнюю роль сыграли особенности грунтов в Ленинкане, усилившие сейсмический эффект. К сожалению, выявились и недостатки проектов, и, что самое недопустимое, ничем не оправданное низкое качество строительства. Не могу понять, как это могло произойти — ведь строили для себя, для своих детей и внуков!

Больше всего меня сейчас беспокоит то, что те же изъяны в проектах и столь же низкое качество исполнения наверняка имеют место и в Ереване. А ведь сейсмологи предупреждают, что здесь можно ожидать сильного землетрясения, и, если не принять соответствующих мер, это приведет к чудовищной катастрофе.

Срочно нужна программа укрепления зданий в Ереване. С этим предложением я уже вышел в ЮНЕСКО и ряд других организаций. Это большая и сложная задача, но, в конце концов, речь идет о множестве человеческих жизней.

Накоплен богатый опыт укрепления уже существующих построек как у вас в стране, так и за рубежом. Интересные инженерные решения, насколько мне известно, предложены специалистами из Алма-Аты, многое сделано в этом направлении в Газли.

Можно идти как по пути усиления отдельных элементов конструкций, так и сооружения в целом. В последнем случае применяются в основном два метода: либо облегчается здание за счет замены крыши и (или) верхних этажей на более легкие, либо вводятся различные энергопоглощающие элементы, способные демпфировать сей-

смические колебания. Можно вводить и соответствующую изоляцию в основание зданий, которая уменьшит силы, действующие со стороны грунтов. Инженерных решений довольно много, но, чтобы выбрать из них оптимальные, нужно тщательно обследовать состояние различных типов зданий (благо этих типов не так много) в Ереване, особенно тех, которые проявили себя худшим образом в Ленинкане. Здесь не обойтись без аналитических моделей и соответствующего компьютерного анализа, уже разработанных в мировой практике, а также без натурных испытаний на жесткость и прочность прототипов исследуемых зданий.

Я не хочу вдаваться в технические детали этой большой и сложной задачи, но решать ее нужно, как бы трудны ни были обстоятельства, в которых оказалась сейчас Армения.

Г. И. Тер-Степанян (член-корреспондент АН АрмССР, Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР): «В выборе места будущей застройки Ленинкана предпочтение отдано худшему участку...»

Сейчас наиболее острая проблема — восстановление Ленинкана, его дальнейшая судьба. Многое зависит от выбора места будущей застройки. Были два альтернативных варианта — на северо-западе и юго-востоке от Ленинкана. Сейчас принято решение о строительстве на северо-западе. Утверждаю, что по целому ряду параметров предпочтение отдано худшему участку. Посудите сами.

1. Мощная толща базальтов и андезито-базальтов на юго-востоке, залегающая под обломками базальтов с суглинистым заполнителем и подстилаемая гравелисто-галечными отложениями, безусловно, лучше в качестве основания сооружений, чем покровные туфы, подстилаемые речными суглинисто-песчаными отложениями, в том числе насыщенными водой песками, залегающими на озерных глинах на северо-западе.

2. Опасность, создаваемая подтуфовыми водонасыщенными песками, заключается не только в более низкой несущей способности этих грунтов, но и в разжижении при сейсмических воздействиях, что приведет к разрушению зданий при землетрясениях вследствие потери устойчивости оснований.

3. В восточной части северо-западного участка грунтовые воды близки к поверхности (около 3 м). Учитывая неминуемое повышение их уровня при застройке, потребуются дополнительные средства для высококачественной изоляции зданий. На юго-восточном участке грунтовых вод нет, только артезианские — на глубине 45—95 м.

4. Северо-западный участок находится у пересечения двух крупных разломов земной коры. Наиболее сейсмоактивен Ширакский (Спитакский) глубинный разлом. Анализ данных региональной тектоники и кос-

мических снимков показывает, что он является продолжением чрезвычайно сейсмоактивной Северо-Анатолийской зоны разломов. Вдоль Ахурянского (близкого к меридиональному) разлома севернее Ленинкана вытягивается ряд афтершоков Спитакского землетрясения.

5. В сейсмоактивную зону входит строящееся Капское водохранилище, расположенное в 3 км к северу от выбранного участка. В бортах плотины установлено наличие разлома и зоны гидротермального изменения пород эоцена. Если бы к 7 декабря водохранилище было заполнено, то, весьма вероятно, на город ринулось бы 90 млн м³ воды, сметая все на своем пути. В существующих геологических условиях дальнейшее строительство этого водохранилища недопустимо.

6. Полоса между застраиваемым участком и р. Ахурян охвачена оползневыми явлениями, так что в будущем неизбежны оползни на территории новой застройки.

7. Из-за грунтовых вод северная часть застраиваемой площадки нуждается в серьезной инженерной подготовке — дренажировании. Для этого района го-

рода подтопление будет постоянной проблемой.

8. Стоимость отвода земель на северо-западном участке (а это уникальные черноземы) в 10 с лишним раз выше, чем на юго-востоке (малоценная

пашня, пастбища и вообще не используемые земли).

Из сказанного однозначно следует, что строительство города на северо-западном участке является ошибочным с инженерно-геологической, гидро-

геологической и сейсмологической точек зрения, невыгодно в экономическом и экологическом отношениях и не может быть оправдано ничем.

С. Суехиро (советник правительства Японии по науке), глава научной миссии Японии: «Нужно прилагать усилия, чтобы горькие уроки землетрясений не забывались...»

Наша научная миссия дважды выезжала в Армению: в декабре 1988 г. и в феврале 1989 г. В первый раз в нее входили 10 человек, во второй — 17. Группы состояли из специалистов разного профиля — сейсмологов, инженеров, а также тех, кто профессионально занимается подготовкой населения к землетрясениям. Ведь борьба с этими стихийными бедствиями — проблема комплексная.

К сожалению, сильные землетрясения в Японии довольно часты, и это заставило нас потратить много усилий и средств для выработки технических и организационных мероприятий по уменьшению ущерба от них. Мне хотелось поделиться накопленным опытом с советскими коллегами. Надеюсь, он окажется полезным.

В Японии мы очень много занимались проблемой прогнозирования землетрясений, но, увы, все еще далеки от того, чтобы предугадывать, где и когда они произойдут. Сам я начинал как сейсмолог и со временем осознал, что в отсутствие прогноза самое правильное, что мы можем сделать, — научиться встречать землетрясения в полной готовности. Но для этого нужны масштабные организационные мероприятия.

Конечно, очень важно поднять уровень технической вооруженности общества, но в то же время не менее значима моральная готовность населения к разрушительному землетрясению, причем эта цель может быть достигнута без существенных капиталовложений. В одном и том же месте разрушительные землетрясения происходят очень редко. Отец японской геофизики Т. Терада заметил как-то, что последующая при-

родная катастрофа всегда происходит тогда, когда уже забыт горький урок предыдущей.

В Японии ежегодно отмечается 1 сентября — день памяти жертв Великого землетрясения в Канто 1923 г., когда погибло 143 тыс. человек. С тех пор проводится широкая программа подготовки населения. В день памяти все заранее запланированные контрмеры, оперативные системы информирования и т. д. вводятся в действие для поддержания их в состоянии готовности. Если не предпринимать этих мер ежегодно, то даже в Японии, где уровень сейсмичности очень высок, население с легкостью забудет о серьезности катастрофических землетрясений. Землетрясение в Армении, похоже, из разряда тех, что происходят не чаще, чем раз в 500—1000 лет. В этом случае усилия по «незабыванию» чрезвычайно важны.

Если население достаточно образованно и подготовлено к поведению в случае землетрясения, могут быть значительно уменьшены вторичные разрушения и потери, вызванные пожарами, оползнями, цунами, массовой паникой и общественными беспорядками из-за ложных слухов, которые порой оказываются опаснее самого землетрясения. Высокий уровень подготовленности населения делает куда более эффективными мероприятия по немедленному спасению пострадавших и оказанию им первой помощи.

Первое, что, по-моему, нужно сделать, — это объяснить населению, что такое землетрясение, его природу и характерные особенности разрушений при землетрясениях. Второе — обучить население приемам поведения в случае сильного землетрясения.

В этих целях Национальное земельное агентство Японии, которое ответственно за уменьшение потерь от природных катастроф, подготовило ряд популярных брошюр «Контрмеры при разрушительных землетрясениях в Японии» и широко распространяет их по всей стране среди административных органов и частных лиц⁶.

Я хотел бы особо отметить очень важный, на мой взгляд, момент. После сильного землетрясения обычно циркулируют многочисленные беспочвенные слухи, парализующие общественное сознание. Наиболее типичное измышление — о новом, еще более сильном землетрясении. Все это может осложнить социальную обстановку до неконтролируемых последствий. Случай Спитакского землетрясения, к сожалению, не исключение. Единственный способ избежать общественных беспорядков, сделать более эффективными спасательные и восстановительные работы — это оперативно распространять объективную информацию об аппаратурном процессе, осуществлять тесное сотрудничество между сейсмологами, представителями власти и прессой. Пресса же должна сообщать не только трагические, но и добрые вести. Это сотрудничество должно постоянно поддерживаться в высокой степени готовности в любом регионе, где возможны сильные землетрясения.

В Японии обязанности властей различного уровня и прессы строго регламентируются законом (Основной закон защиты от катастроф), который был принят в 1961 г. — через 2 года после катастрофического тайфуна. Выделен специальный телекоммуникационный канал по

⁶ Впервые аналогичная брошюра в Советском Союзе разработана в Институте вулканологии ДВО АН СССР. Подробнее см. в этом номере: Федотов С. А. Камчатка готовится к землетрясениям.

оперативному снабжению населения достоверной информацией.

Поддерживать работоспособность такой системы довольно сложно. Необходимы регулярные практические занятия. В некотором смысле ме-

роприятия по защите от природных катастроф похожи на аналогичные мероприятия против военного нападения извне. Почему же мы не можем потратить усилия на уменьшение ущерба от катастроф, сравнимые с затратами на оборону? Тем более

что, если первые происходят рано или поздно, вторых можно избежать, проявив гибкость и дальновидность в политике. В нашем сознании должно укорениться, что землетрясения не остановить — их возникновение просто вопрос времени.

ВМЕСТО ПОСЛЕСЛОВИЯ

Спитакское землетрясение выявило широкий круг проблем, связанных как с необходимостью более глубокого понимания природы землетрясений, так и ряда практических мероприятий по борьбе с последствиями от них. Пожалуй, впервые весь этот широкий круг вопросов рассматривался на одном семинаре.

На обсуждение его участников был вынесен выработанный под эгидой ЮНЕСКО документ, содержащий конкретные рекомендации для пострадавших районов Армении и широкий комплекс мероприятий по уменьшению ущерба от землетрясений вообще. Нам кажется интересным привести основные положения этого документа, фиксирующие благородные усилия международного сообщества ученых, направленные на то, чтобы горькие уроки землетрясений не забывались.

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ

Разработка программы по укреплению существующих зданий в Ереване и других сейсмоопасных районах Армянской ССР.

Обеспечение единого руководства восстановлением разрушенных и поврежденных конструкций, а также создание учебной программы совершенствования мастерства строителей и рабочих.

Проведение геологических и геотехнических исследований отдельных районов, где планируется строительство, учитывающих возможное увеличение разрушительных эффектов из-за локального усиления колебаний, взаимодействия грунтов и сооружений и т. п.

Поддержка создания механизмов местного контроля, независимой экспертизы, а также повышение персональной ответственности при утверждении проектов строительства и проведении строительных работ, создание системы контроля качества строительства.

РЕКОМЕНДАЦИИ НА БЛИЖАЙШУЮ ПЕРСПЕКТИВУ

Создание в ЮНЕСКО оперативного финансового фонда для оказания помощи странам, пострадавшим от стихийных бедствий или бедствий, вызванных технологической деятельностью человека, в изучении их последствий и проведении исследований в смежных областях.

Организация ЮНЕСКО совместно с ЮНДРО⁷ совещаний экспертов для разработки типовых рекомендаций по поведению населения и уменьшению последствий от стихийных бедствий.

Рассмотрение в строительных нормах вопросов использования коммуникаций и целевых зданий после землетрясения.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Разработка международной программы исследований для проверки предлагаемых методов прогноза землетрясений.

Организация международного проекта исследований, направленных на совершенствование приемов и методов поисковых и спасательных работ после землетрясения.

Проведение международной программы исследований, ориентированных на разработку и испытание планов строитель-

ства городов и городских строений с целью уменьшения потерь при землетрясениях.

Создание международной системы данных для определения взаимосвязи между степенью повреждения зданий и живыми потерями.

Выполнение совместных работ на международной основе, направленных на создание методов, повышающих надежность коммуникаций при землетрясениях.

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ПРОЕКТЫ

Модернизация с помощью ЮНЕСКО сети сейсмостанций Армении как части глобальной сети мониторинга и предсказания землетрясений.

Создание образцовой школы ЮНЕСКО в районе, пострадавшем от землетрясения.

Создание Технического университета с использованием современных методов образования.

В результате обсуждения предлагаемый проект был в целом одобрен и дополнен следующими практическими рекомендациями.

В Армении не следует строить здания тех типов, которые были полностью разрушены или получили сильные повреждения во время Спитакского землетрясения. Следует немедленно приступить к усилению уже сданных в эксплуатацию зданий этих типов.

Настоятельно рекомендуется пересмотреть принятые решения по отводу участков под новое строительство.

© Публикацию подготовили научный редактор журнала «Природа» И. Н. Арутюнян и научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР Р. Э. Татевосян.

⁷ ЮНДРО — Специализированный отдел Секретариата ООН по координации чрезвычайной помощи.

Камчатка готовится к землетрясениям

С. А. Федотов,
член-корреспондент АН СССР
Институт вулканологии ДВО АН СССР
Петропавловск-Камчатский

ПЛОСА Тихоокеанского побережья, протянувшаяся от Токио до Усть-Камчатка, — самая сейсмичная зона на нашей планете. Сильнейшие землетрясения с магнитудой $M \geq 7,7$ повторяются здесь в одном месте в среднем через 140 ± 60 лет. Частоту сильных землетрясений в районе Петропавловска-Камчатского можно проиллюстрировать такими цифрами: в этом столетии здесь произошло четыре 7-балльных землетрясения, два 8-балльных и, к счастью, пока не было землетрясений силой 9 баллов.

В начале 60-х годов для Курило-Камчатской дуги и северо-востока Японии была предложена методика долгосрочного сейсмического прогноза¹. С небольшими изменениями она применима для всех структур типа островных дуг, или, как сейчас говорят, для областей поддвига литосферных плит. Такие структуры находятся не только в Тихом океане, но и в Атлантике, Средиземноморье и некоторых других сейсмически активных районах.

По этой методике выявляются места будущих сильнейших землетрясений с магнитудой больше 7,7. И хотя точность такого прогноза оценивается примерно в 80 %, пока ошибок в выделении мест последующих сильнейших землетрясений не

было. Что же касается долгосрочных прогнозов сейсмической активности и магнитуд менее крупных землетрясений ($M=6-7,7$), то в 1965—1985 гг. они оказались верными в 60 % случаев.

Несколько слов о самой методике долгосрочного сейсмического прогноза. Первая ее часть — выделение наиболее вероятных мест последующих сильнейших землетрясений — «сейсмических брешей». Вторая часть касается сейсмического цикла (кстати, само это понятие введено при разработке данной методики). Под сейсмическим циклом понимается закономерное изменение характера сейсмичности в конкретном месте за время между двумя крупнейшими землетрясениями в нем. Для Курило-Камчатской и Японской островной дуг это землетрясения с магнитудами больше 7,7. Поскольку даже в нашей, рекордной по частоте землетрясений, зоне они повторяются в среднем раз в полтора столетия, а история инструментальных наблюдений не насчитывает еще полного века, то цикл приходится «достраивать», сравнивая развитие очагов сильнейших землетрясений на известных его стадиях. По сути, выявление особенностей сейсмического цикла напоминает прием, который астрономы применяют при изучении эволюции звезд.

Используя закономерности размещения очагов сильных землетрясений и свойства сейсмического цикла, мы даем 5-летние прогнозы примерно для 20 участков Курило-Камчатской дуги. Работа эта ведется на протяжении двух десятилетий. И вот, в начале 80-х годов мы пришли к нерадостному заключению: среди наиболее вероятных мест будущих сильных землетрясений стал выделяться район Петропавловска-Камчат-

ского. Поскольку в той части Тихоокеанской сейсмофокальной зоны, которая находится неподалеку от Петропавловска-Камчатского, землетрясения с магнитудами $M \geq 7,7$ не было с 1841 г. и к тому же при среднем интервале между землетрясениями силой 7 и более баллов на восточном побережье Камчатки, равном 15—20 лет, последнее сильное землетрясение в самом Петропавловске-Камчатском произошло в 1971 г., опасность крупного землетрясения здесь очень велика. На ближайшие несколько лет она оценивается примерно в 50 %.

Сопоставив результаты слежения за сейсмичностью с развитием различных характеристик, используемых при долгосрочном прогнозе, мы пришли к выводу, что надо начать заблаговременно готовиться к будущим сильным землетрясениям (с магнитудой выше 7), которые в зависимости от магнитуды, удаленности эпицентра от города и характера разрыва в очаге могут достигнуть 7—8, а в худшем случае и 9 баллов в Петропавловске-Камчатском.

Соответствующие предложения были переданы в Академию наук СССР и правительство в конце 1985 г. В 1986 г. Совет Министров СССР издал распоряжение — первое такого рода в нашей стране — о заблаговременном укреплении зданий Петропавловска-Камчатского и других населенных пунктов Восточной Камчатки. Стали также принимать другие меры по подготовке к следующим сильным землетрясениям².

Программа подготовки к землетрясениям направлена прежде всего на то, чтобы в максимальной степени уменьшить

© Федотов С. А. Камчатка готовится к землетрясениям.

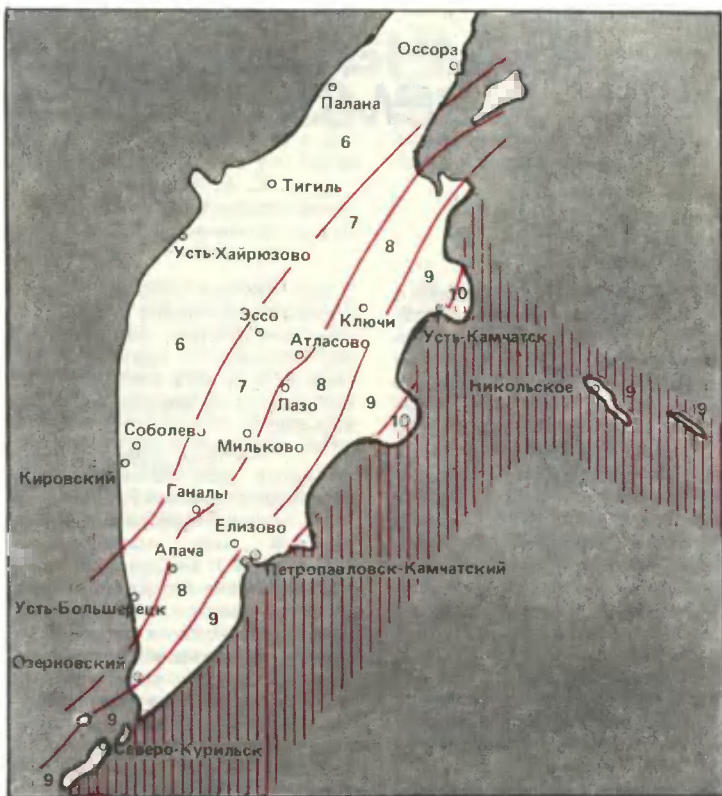
¹ Федотов С. А. Закономерности распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и Северо-Восточной Японии // Тр. Ин-та физики Земли АН СССР. М., 1965. № 36 (203). С. 66—93. Он же. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М., 1968. С. 121—150.

² Подробнее см.: Правительственный вестник. 1989. № 18. С. 12.

человеческие жертвы и материальный ущерб. Наиболее трудоемкая и дорогая ее часть — усиление и укрепление зданий Петропавловска-Камчатского, где сосредоточено больше половины населения Камчатки (число жителей города и прилегающих районов превышает 300 тыс.). Кроме того, программа включает ряд мер по гражданской обороне, подготовку организаций, предприятий, учреждений и обучение всех жителей.

В рамках этой программы сотрудники нашего института и Камчатской геофизической станции ИФЗ подготовили специальную памятку для жителей Камчатской области, поясняющую, что целесообразно сделать, как вести себя до, во время и после сильных землетрясений³. Это не длинный, общедоступный текст, который должен помочь сотням, тысячам людей принять разумные меры предосторожности, быстро и верно, без паники, действовать во время редкого, но опасного стихийного бедствия.

В первом разделе памятки, названном «Общие советы», предлагается заранее продумать свои действия при землетрясении в зависимости от того, где оно застигнет жителей: дома, на работе, на улице и т. д. О том, насколько безопасны здания разного типа, позволяет судить описание их возможных повреждений в разделе «Сила землетрясения». Здесь же говорится и о своеобразии тихоокеанских землетрясений, длящихся долго — десятки секунд, а то и минуты. Например, ощутимые колебания при Аляскинском землетрясении 1964 г. продолжались около 5 мин. Еще одна особенность этих землетрясений заключается в том, что они редко начинаются с толчка максимальной силы. Так, если землетрясение имеет магнитуду 8, то колебания земной поверхности обычно достигают максимума лишь через 15—20 с после начала, а то и позже. За это время разумными действиями можно



- 9 Предельная интенсивность землетрясений, в баллах
- Область высокой концентрации очагов сильных землетрясений
- Цунамиопасное побережье

Карта сейсмического районирования Камчатки [фрагмент карты ОСР-78]. Очаги большинства камчатских землетрясений находятся под дном Тихого океана на расстоянии 30—150 км от восточного побережья п-ова Камчатка. На карте вся территория Камчатки разделена на области с разной предельной силой сотрясений на земной поверхности, которая уже отмечалась или возможна в этих областях. Видно, что предельная сила сотрясений убывает с удалением от восточного побережья.

ведения: либо попытаться быстро покинуть здание, либо занять относительно безопасное место внутри него.

Надо подчеркнуть, что в этих советах учтена специфика землетрясений Тихоокеанской зоны. В других районах, где землетрясения мгновенно достигают максимальной силы, такого времени на подготовку может, к сожалению, не оказаться. И все же многое из того, что написано в памятке, верно и для других сейсмоопасных районов страны. Такими, например, мне представляются советы по подготовке к сильному землетрясению, которые вошли в раздел «До землетрясения».

В нем рассказывается и даже показывается на простейших схемах, как подготовить свой дом и рабочее место к будущему

³ Сильные землетрясения (памятка населению) / Составители: Федотов С. А., Гусев А. А., Семенец Н. В. Петропавловск-Камчатский, 1989.

⁴ Этот раздел, описывающий возможные повреждения сейсмостойких зданий в городах и поселках Камчатки, приводится полностью.

успеть спасти свою жизнь, жизнь своих детей, сослуживцев и других людей, оказавшихся рядом. В частности, приняв во внимание прочность здания, конкретное место нахождения и запас времени (15—20 с), можно заранее выбрать оптимальный способ по-

му землетрясению, как заранее определить наиболее безопасные места, где можно переждать толчки. Так, наименьшую опасность представляют проемы капитальных внутренних стен, углы, образованные этими стенами, места вблизи капитальных внутренних стен, у колонн и под балками каркаса. А наиболее опасны — большие застекленные проемы наружных и внутренних стен, угловые комнаты (особенно последних этажей), лифты.

В следующих разделах собраны основные правила поведения во время сильного землетрясения и после него. Скажем, если удалось покинуть здание, необходимо сразу же отойти от него подальше на открытое место. Если же пришлось остаться в

здании, лучше находиться в относительно безопасных местах, о которых уже упоминалось. И во время землетрясения, и после него очень важно не поддаваться панике, не создавать давки, не распространять слухов о возможных последующих толчках. Ведь пока надежно предсказать время будущего землетрясения невозможно! В полной мере это относится и к повторным толчкам.

Своеобразием Тихоокеанского региона являются цунами, поэтому одна из главок памятки посвящена угрозе цунами и действиям по предотвращению их наиболее тяжелых последствий. Многих жителей Камчатки землетрясение может настичь на берегу океана, и здесь, в зонах затопления, волны цунами будут

опасны ничуть не меньше, чем само землетрясение.

В заключение можно добавить, что тираж, которым удалось издать эту памятку населению Камчатки, довольно большой — 110 тыс. экземпляров. И у ее авторов, и у Камчатского обл. исполкома было желание, чтобы памятка имелась в каждой камчатской семье, чтобы все жители Камчатки могли не только с нею ознакомиться, но и в деталях «отработать» для себя будущую экстремальную ситуацию.

Эта памятка пока единственная в стране и к тому же основана на региональной специфике. Поэтому для других сейсмоопасных районов (Кавказа, Забайкалья, Средней Азии) надо готовить свои памятки, учитывающие своеобразие этих мест.

Сила землетрясения

Сила (интенсивность) колебаний земной поверхности в определенном месте, населенном, пункте измеряется в баллах по 12-балльной шкале. Полезно представлять себе основные отличительные признаки землетрясения силой от 5 до 9 баллов. Познакомьтесь с описанием признаков каждого балла, включая вероятное воздействие толчков на типичные здания современной застройки на Камчатке — мелкоблочные, крупноблочные, панельные и каркасные, рассчитанные на 8—9-балльные землетрясения. В скобках указана частота толчков разной силы для Петропавловска-Камчатского.

5 БАЛЛОВ (15—25 раз в 100 лет). Просыпаются почти все спящие, колеблется и частично расплескивается вода в сосудах, могут опрокинуться легкие предметы, разбиться посуда. Здания не повреждаются.

6 БАЛЛОВ (10—15 раз в 100 лет). Многие люди пугаются, колебания мешают ходить. Здания шатаются, сильно раскачи-

ваются подвесные светильники. Падает и бьется посуда, предметы падают с полок. Может двигаться мебель. Осыпание побелки, тонкие трещины в штукатурке.

7 БАЛЛОВ (4—6 раз в 100 лет). Сильный испуг, колебания мешают стоять на ногах. Двигается и может упасть мебель. Характер типичных повреждений зданий следующий: мелкоблочные здания — трещины в штукатурке, тонкие трещины в стенах; крупноблочные — трещины в швах между блоками и в перегородках, выпадение заделок швов, нередко тонкие трещины в блоках; панельные — тонкие трещины в стыках панелей; каркасные — тонкие трещины вокруг навесных панелей. В любых зданиях трещины в перегородках.

8 БАЛЛОВ (1—3 раза в 100 лет). С трудом удается удержаться на ногах. Трещины в грунте на склонах, осыпание камней. Вероятный характер повреждений зданий: мелкоблочные — трещины в несущих (капиталь-

ных) стенах, обвалы штукатурки; крупноблочные — широкие трещины по периметру блоков, смещение блоков, трещины в блоках; панельные — трещины в стыках панелей, тонкие трещины в панелях, каркасные — заметные трещины в местах примыкания навесных панелей к каркасу, а также между этими панелями. В любых зданиях повреждение, иногда частичное разрушение перегородок.

9 БАЛЛОВ (приблизительно 1 раз в 300 лет). Многих сбивает с ног. Повсеместно — трещины в грунте. На склонах обвалы камней. Вероятный характер повреждений зданий: мелкоблочные — разрушение части несущих стен, в отдельных случаях — обвалы; крупноблочные — значительные повреждения, в отдельных случаях разрушение части несущих стен; панельные — повреждение и смещение некоторых панелей; каркасные — обрушение отдельных навесных панелей, трещины в каркасе. В любых зданиях разрушение перегородок.

В.М.Городецкий

Медицина катастроф



Владимир Матвеевич Городецкий, кандидат медицинских наук, анестезиолог-реаниматолог, руководитель отделения анестезиологии и реанимации Всесоюзного гематологического научного центра Минздрава СССР. Участник медицинских бригад, работавших в Арзамасе, Армении и Уфе. Разработал метод получения тромбоцитов, применение которого при лечении пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС позволило справиться с тяжелой кровоточивостью при острой лучевой болезни. Автор более 50 научных статей и двух монографий, посвященных вопросам обезболивания и интенсивной терапии. Член авторского коллектива, удостоенного Государственной премии СССР (1987 г.) за цикл работ «Новые методы диагностики и интенсивной терапии заболеваний системы крови».

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ в Армении, как и любая глобальная катастрофа,— это прежде всего трагедия человеческая. Огромное число пострадавших выдвигает на первый план быструю и квалифицированную врачебную помощь, причем помощь особого рода. Любая крупная катастрофа порождает не только массу гибнувших и раненых людей, но и всеобщую панику, растерянность и неразбериху. И здесь чрезвычайно важной становится рациональная организация всей медицинской службы, включающей четко налаженную связь, своевременную доставку медицинского персонала, медикаментов и необходимой техники, обеспечение и контроль быстрой и грамотной доврачебной помощи, бесперебойную работу транспорта. От этого зависит жизнь сотен и тысяч людей.

Трагедия в Армении еще раз подтвердила эту очевидную истину, и, несмотря на печальный опыт недавних катастроф в Чернобыле и Арзамасе, высветила опять все те же ошибки. Отсутствие в достаточном количестве лекарств, перевязочных средств, стерильных материалов, шприцов, игл, систем для внутривенного вливания, т. е. всего самого необходимого, особенно в первые часы и сутки после катастрофы, а также неполадки с транспортом, мешающие нормальной эвакуации пострадавших, нечеткая организация первой помощи на местах и слабая техническая оснащенность медицинских бригад, растерянность и паника в работе связи, психологическая угнетенность местного медицинского персонала— все это, безусловно, создавало большие трудности в оказании медицинской помощи и сказывалось на ее качестве.

Но был в Армении и положительный опыт, который заслуживает внимания и изучения. В первую очередь надо отметить некоторые организационные моменты. С первых часов после катастрофы здравоохранение было ориентировано на оказание помощи: мобилизован медицинский персонал, к месту разрушений направлены подвижные

бригады (многие из них уже имели опыт работы в экстремальных условиях), бесперебойно действовал воздушный мост Москва — Ереван, обеспечивающий доставку медикаментов и транспортировку пострадавших. Вмешательство армии восстановило необходимый порядок на дорогах, освободив их от частного и общественного транспорта, мешающего эвакуации раненых. Особенно надо отметить организацию специализированных бригад, а также специализированных центров и отделений, четкая работа которых помогла спасти тысячи раненых с тяжелейшими травматическими повреждениями.

В условиях катастрофы, помимо героизма спасателей, оперативности и четкой организованности, достаточной технической оснащенности огромное значение имеет квалификация медиков, причем квалификация особенная, определяемая умением действовать в условиях, близких к военно-полевым. Однако в таких ситуациях проверяется не только боевая готовность военно-полевой терапии и хирургии, ее материальное обеспечение, но и состояние всей медицинской службы. В последние годы интенсивная терапия мирного времени пополнилась новыми совершенными методами, которые ранее не использовались в полевых условиях. Применение новых методов интенсивной терапии в Армении дало свои положительные результаты. Проведение такой работы стало возможным только в рамках специализированной врачебной помощи.

Об опыте работы одного из таких подразделений — специализированной бригады, организованной по инициативе директора Всесоюзного научного гематологического центра Минздрава СССР А. И. Воробьева, хотелось бы рассказать. Речь пойдет о борьбе с постоянным спутником всех аварийных разрушений, обвалов и землетрясений — тяжелой травме, вызванной длительным массивным раздавливанием мягких тканей или крупных сосудов и называемой краш-синдромом, или синдромом длительного сдавливания (СДС).

Впервые это заболевание описал Н. И. Пирогов в 1854 г. на опыте Крымской войны, а как самостоятельная форма патологии СДС был выделен в годы второй мировой войны. До сих пор эта травма считается одной из самых тяжелых из-за высокой смертности. Например, в 1948 г. при землетрясении в Ашхабаде число пострадавших с диагнозом СДС составило 3,5 % от общего числа раненых, доставленных в клинику (79 % из них скончались), в 1960 г. в Марокко и в 1980 г. в Италии — почти



Единственная в СССР передвижная автономная станция заготовки компонентов крови. Смонтирована на базе КАМАЗа, оборудована автономным холодильником и центрифугой для разделения крови.

20 % (из них умерло 50 %)¹. В Армении число пострадавших с СДС достигло 40 %.

Наша бригада вылетела в Ереван днем 8 декабря 1988 г. и уже вечером приступила к работе. Ее состав (анестезиологи-реаниматологи, хирурги, терапевты и др.) и техническая оснащенность (передвижная станция для заготовки компонентов крови, оборудование для проведения всего комплекса интенсивной терапии), а также знание современной трактовки патогенеза СДС и его лечения — позволили в короткий срок создать на базе Ереванского филиала Всесоюзного научного центра хирургии АМН СССР центр по лечению пострадавших с СДС. Сосредоточение больных в одном стационаре облегчило проведение полного лечебного курса и позволило сравнить различные методы общего и хирургического лечения, что привело к значительному прогрессу в лечении краш-синдрома.

Прежде чем рассказать о новых подходах в терапии СДС, прошедших проверку в тяжелых условиях Армении, остановимся коротко на клинической картине этой травмы.

Болезнь протекает в три стадии. Первая — так называемый период локальных изменений и эндогенной интоксикации (до 48 ч после освобождения от сдавливания). Площадь сдавливания, его сила и продолжительность, сопутствующие заболевания и травмы определяют степень травматического шока, нестабильности артериального давления с тенденцией к гипотонии, психо-эмоционального стресса. В этот период отмечается самая высокая смертность, что объясняется как тяжестью травмы, так и отсутствием зачастую рациональной терапии сразу

¹ Комаров Б. Д., Шиманко И. И. Позиционная компрессия тканей (СПС). М., 1984; Дан В. В. // J. Amer. Med. Ass. 1987. Vol. 257. № 8. P. 1094—1095.



Применение гемофильтрации при лечении больной с СДС и острой почечной недостаточностью.

после извлечения. Именно на этой стадии особенно велика роль взаимопомощи, медицинских навыков спасателей-немедиков, правильной и своевременной эвакуации.

При интенсивной терапии в последующие 1—2 дня наблюдается короткий «светлый» период, быстро переходящий в стадию острой почечной недостаточности (с 3—4 до 8—12 дней). Увеличивается отек сдавленных конечностей, на поврежденной коже появляются пузыри, кровоизлияния, она становится синюшной. Но главное — нарушается микроциркуляция в почках, блокируются канальцы, затем снижается фильтрация, приводящая к уменьшению мочеотделения вплоть до полного его прекращения — анурии. В результате меняется водно-электролитный и кислотно-щелочной состав крови. В это время важен своевременный гемодиализ (искусственная почка), а также проведение инфузионной терапии, т. е. введение большого количества жидкости (солевых растворов, плазмозаменителей), восстанавливающей водно-электролитное и кислотно-щелочное равновесие. Однако и на этом этапе, даже при интенсивной терапии, почти треть больных погибает.

После 2—3 недель начинается восстановительная стадия, в ходе которой нормализуются функции почек, содержание гемоглобина и электролитов в крови. Однако в результате срыва иммунитета в этот период часты инфекционные осложнения; особенно высок риск развития сепсиса.

Как видно из описания клинической картины заболевания, каждый его этап требует интенсивной терапии и напряженной работы врачей самой разной специализации (хирургов, анестезиологов-реаниматологов, нефрологов, терапевтов и травматоло-

логов). Их оснащенность должна быть достаточно высокой. Можно ли такую бригаду доставить непосредственно в очаг поражения, быстро развернуть и начать действовать? Как показал опыт Армении, вполне. Во всяком случае, в мирное время надо стремиться тяготы эвакуации перекладывать на плечи здорового медицинского персонала, а не на плечи пострадавших.

Работа нашей специализированной бригады дала обнадеживающие результаты: из 211 больных, лечившихся в Ереванском центре, скончались 47, т. е. летальность составила 22,3 %. Снизить обычно высокий процент летальности удалось благодаря использованию комплекса интенсивной терапии, основанного на новом понимании патогенеза СДС.

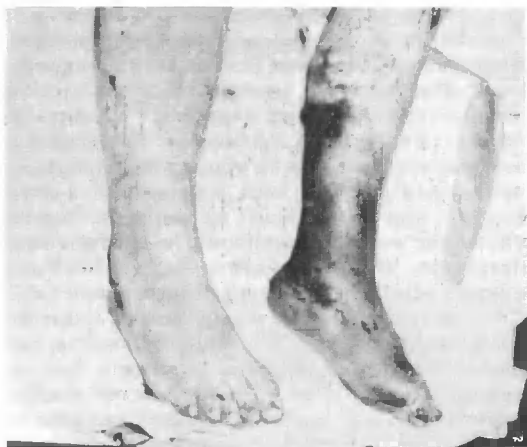
До недавнего времени в механизме развития СДС выделяли три основных фактора: во-первых, насыщение организма продуктами распада поврежденных клеток (так называемая травматическая токемия), ведущее к снижению артериального давления, нарушению функции почек и общей интоксикации; во-вторых, в результате отека поврежденных конечностей, большая потеря плазмы, также приводящая к нарушению работы легких, печени, почек; и, наконец, болевой синдром и нервно-психическое перенапряжение, нарушающие деятельность центральной нервной системы².

Исходя из таких представлений, клиницистам удалось добиться определенных успехов: рациональное обезболивание, гемодиализ и инфузионная терапия снизили летальность, однако коренного перелома не произошло. Летальность по-прежнему высока, особенно в период острой почечной недостаточности, предупредить развитие которой почти не удавалось.

Пристальное изучение свертывающей системы крови при различных заболеваниях, в том числе и при скелетной травме, показало, что при всех видах шока наблюдается рассеянное свертывание крови в сосудах. При этом образуется множество микросгустков и агрегатов клеток крови, блокирующих микроциркуляцию в органах и тканях и ведущих к глубоким дистрофическим нарушениям. Острота и выраженность этого синдрома, названного ДВС (диссеминированное внутрисосудистое свертывание), строго коррелируют с тяжестью и продолжительностью шокового состояния³.

² Myraji T., Okamoto E. et al. // J. Pediatrics Surg. 1986. Vol. 21, № 12. P. 1092—1095.

³ Баркаган З. С. Геморрагические заболевания. М., 1986.



Слева — начальная стадия гангрены, угроза ампутации; справа — через 4 дня интенсивной терапии (плазмаферез, гипербарооксигенация, внутривенное введение сосудорасширяющих средств) восстановлен нормальный кровоток, угроза ампутации снята; в дальнейшем полное выздоровление.

Таким образом, трактовка СДС не только как потери определенного объема циркуляции, общей интоксикации организма, болевого и стрессового шока, но прежде всего как нарушения кровотока в магистральных сосудах и капиллярах, т. е. как процесса, ведущего к обширному внутрисосудистому свертыванию (ДВС-синдрому), которое вызывает системное поражение различных органов и тканей, позволило соединить все звенья его патогенеза воедино и предложить новые терапевтические подходы.

Опыт помощи пострадавшим в Армении показал, что применение новых эффективных методов детоксикации, таких как плазмаферез (частичное удаление из организма плазмы с циркулирующими в ней токсическими метаболитами), гемофильтрация и гемосорбция (пропускание крови через колонку с сорбентами, поглощающими токсические продукты) наряду с гемодиализом, переливанием свежесзамороженной плазмы в сочетании с различными плазмозаменителями, а также лечение кислородом в барокамере (гипербарооксигенация), позволяя, как правило, избежать ампутации поврежденных конечностей и прибегать к этой крайней мере лишь в исключительных случаях, только после безуспешного применения всего терапевтического комплекса.

Особо нужно остановиться на применении жгута. До недавнего времени считалось, что наложение жгута выше места сдавливания еще до высвобождения пострадавшего предотвращает поступление токсических продуктов в кровоток и уменьшает ин-

токсикацию всего организма. Однако, как показали наблюдения, наложение жгута только усугубляет артериальную ишемию и венозную застой в сдавленной конечности, что приводит к усилению ДВС-синдрома. Кроме того, как недавно установлено, в сдавленной конечности сохраняется минимальный кровоток, обеспечивающий энергетический обмен в условиях компрессии, т. е. при пониженной температуре и, следовательно, на более низком энергетическом уровне. Отказ от наложения жгута позволяет спасти от ампутации конечностей у людей, находившихся в завале до 116 ч.

На наш взгляд, наиболее эффективным средством против интоксикации нужно признать ранний плазмаферез.

К сожалению, такое идеальное начало интенсивной терапии сегодня по существу невозможно в силу слабой медицинской подготовки спасателей и недостаточного их оснащения. Но в медицине катастроф залог всех дальнейших успехов или неудач во многом определяется в первые часы и минуты встречи пострадавших со спасателями. Именно поэтому одна из первоочередных проблем в борьбе с СДС — грамотная медицинская подготовка спасателей-немедиков.

Позволю себе небольшое отступление. Когда стало известно о большом числе жертв в Армении, А. И. Воробьев решил оснастить направляемую туда медицинскую бригаду аппаратурой для проведения плазмафереза. Военно-транспортная авиация помогла доставить в Ереван автобус, оборудованный под передвижную автономную станцию для проведения плазмафереза. Именно благодаря этому мы не испытывали недостатка в свежесзамороженной плазме. Без необходимого же научного и материально-технического обеспечения на реальные успехи в подоб-

ных ситуациях рассчитывать не приходится.

Вряд ли есть смысл в этой статье перечислять все конкретные врачебные манипуляции, применяемые в комплексной терапии СДС на различных этапах развития заболевания. Остановимся лишь на принципиальных положениях, упомянув о тех новых методиках, которые успешно прошли «проверку боем» в Армении.

В процессе работы в Ереване мы выделили следующие основные этапы интенсивной терапии СДС, которые впоследствии вошли в подготовленную там же «Временную инструкцию по лечению СДС» Минздрава СССР:

1) немедленное проведение инфузионной терапии сразу же после извлечения из завала (независимо от величины артериального давления) с продолжением ее на всех этапах эвакуации;

2) применение плазмафереза уже в первые сутки с удалением не менее 1000 мл плазмы (у взрослых) с последующим замещением свежзамороженной донорской плазмой;

3) хирургическое вмешательство (удаление некротически измененных тканей, рассечение фасций, использование аппаратов Г. А. Илизарова, а также ампутация конечностей) — строго по показаниям;

4) гемодиализ (при развитии острой почечной недостаточности) с ежедневным контролем электролитов и азотистых метаболитов в крови (возможно также использование гемофильтрации);

5) гипербарооксигенация для улучшения микроциркуляции и уменьшения гипоксии поврежденных тканей;

6) назначение антибиотиков широкого спектра действия, кортикостероидов и психотропных средств (с целью профилактики инфекционных осложнений, снятия стресса и болевого шока).

Из примененного терапевтического комплекса новым является плазмаферез с последующим переливанием свежзамороженной донорской плазмы, широкое применение гипербарооксигенации, а также использование аппаратов Илизарова при переломах сдавленных конечностей. Нов и принципиальный отказ от использования цельной донорской крови (переливали в основном эритроциты при падении уровня гемоглобина ниже 100 г/л и нестабильности гемодинамических показателей).

Новый подход к лечению СДС сформировался в процессе детального изучения механизмов свертывания крови при других

заболеваниях. Именно опыт работы реанимационного отделения многопрофильной больницы в клиниках Всесоюзного научного гематологического центра показал, что лечебный плазмаферез позволяет удалять из крови больного различные токсические вещества, вызывающие общую интоксикацию организма¹. Кроме того, плазмаферез активизирует клетки разных органов и тканей, улучшает микроциркуляцию и в итоге препятствует внутрисосудистому свертыванию — основному фактору патогенеза СДС.

Другой оптимальный метод терапии СДС — переливание больших количеств свежзамороженной плазмы (иногда и без лечебного плазмафереза) — помогает восстановить объем циркулирующей жидкости, венозное давление, нормализовать нарушенный механизм свертывания крови.

Примененные нами плазмаферез и переливание свежзамороженной плазмы у 107 пострадавших дали хорошие результаты: только у 5 больных отмечалась острая почечная недостаточность, потребовавшая проведения гемодиализа. Лечение кислородом в барокамере (102 пострадавших) значительно улучшило заживление ран. Аппаратный остеосинтез (47 случаев) позволил избежать ампутации конечностей.

Результаты лечения СДС в Армении по новой схеме позволяют рекомендовать комплексный курс интенсивной терапии не только в обычных стационарах, но и прежде всего в условиях катастроф.

Опыт работы в Армении еще раз подтвердил, что медицина катастроф — это особый вид врачебной помощи, когда в условиях дефицита времени и средств, а также высокой психической напряженности врач и его помощники должны постоянно проявлять не только высокий профессионализм, сострадание, но и умение работать в самых неблагоприятных обстоятельствах. Одно из важнейших условий эффективной работы в этих обстоятельствах — полная автономность десантируемых бригад во всем: энергопитании, воде, не говоря уж о медицинском оборудовании. Приоритет медицины должен быть обязательным для всех участников ликвидации последствий любых аварий. В медицине катастроф первоочередная забота о здоровье человека — главный принцип, позволяющий сократить сроки оказания медицинской помощи и свести потери к минимуму.

¹ Воробьев А. И., Городецкий В. М., Бриллиант М. Д. // *Терап. архив*. 1984. № 6. С. 3—9.

С.Н.Ениколопов

Психологические аспекты

землетрясения в Армении



Сергей Николаевич Ениколопов, кандидат психологических наук, старший научный сотрудник Института профилактики психиатрии Всесоюзного научного центра психического здоровья АМН СССР. Область научных интересов — медицинская психология, психология отклоняющегося поведения. Проводит психологические исследования в Армении с января 1989 г.

СРЕДИ целого спектра проблем, связанных с землетрясениями, большое место, хотя еще и недостаточно оцененное, занимают социальные и психологические. В нашей стране важность и необходимость анализа психосоциальных аспектов природных и антропогенных катастроф в течение многих лет попросту игнорировались. В этом сыграл роль сложный и противоречивый исторический путь развития отечественной психологии. И теперь из-за невнимания к психологическим проблемам катастроф последствия Чернобыля, Арзамаса, Спитака оказались более трагическими, чем могли бы быть.

Не пытаюсь рассмотреть здесь все множество психологических проблем Спитакского землетрясения, остановимся лишь на наиболее существенных, с которыми специалистам уже пришлось столкнуться, и тех, которые возникнут, как показывает мировой опыт, впоследствии.

Анализ психологических проблем любой катастрофы вообще непросто, а Спитакского землетрясения — тем более. Он усугубился тем, что стихийное бедствие произошло на фоне уже достаточно высокого эмоционального напряжения, вызванного, во-первых, митингами и забастовками, длившимися почти весь год, во-вторых, появлением десятков тысяч беженцев из Азербайджана и, в-третьих, военным положением, введенным буквально накануне землетрясения в ряде районов Армении. Таким образом, сильное стрессогенное потрясение, вызванное природной катастрофой, добавилось к долго длящемуся нервно-психическому напряжению, отмеченному у большинства жителей республики.

Изучение реакций человека на стрессогенные события, т. е. на разнообразные экстремальные воздействия, имеет давние традиции и опирается на работы З. Фрейда, Г. Селье, М. Хоровица, Р. Лазаруса и многих других исследователей. Однако единой глу-

боко разработанной концепции травматических стрессов до настоящего времени нет.

Дж. Вейтц, один из крупнейших специалистов по психологии стрессов, выделил восемь факторов, вызывающих стресс¹:

необходимость ускоренной обработки информации;

осознаваемая угроза;

вредные стимулы окружающей среды;

нарушение физиологических функций

(в результате болезни, бессонницы, приема лекарств, наркотиков и т. д.);

изоляция и заключение;

остракизм;

групповое давление;

разочарование.

Шведская исследовательница М. Франкенхайзер добавляет к этому перечню еще один фактор — отсутствие контроля над событиями. Р. Лазарус считает осознаваемую угрозу центральной характеристикой стрессогенной ситуации, в особенности если угроза нависает над самыми важными для человека ценностями и целями.

Во время землетрясения в Армении население зоны бедствия столкнулось с большинством из приведенных стрессогенных факторов. Если на начальной стадии главным стрессогенным фактором было отсутствие контроля над событиями, столь характерное для природных катастроф, то затем к нему прибавились осознание угрозы, необходимость быстро перерабатывать информацию, принимать решение и т. д. Реакции большинства людей, находившихся в зоне землетрясения, характеризовались крайними выражениями — от активных действий, хаотического возбуждения до ступора — полной неподвижности и молчаливости. Местные органы власти и система гражданской обороны бездействовали, первую помощь пострадавшим стали тут же оказывать сами жители Ленинакана, Спитака и других населенных пунктов зоны землетрясения, большое число добровольцев из незатронутых катастрофой районов республики, знавших лишь о случившихся трагических событиях. Только через два-три дня спонтанные, хаотические действия стали постепенно приобретать черты организованности.

В это время стрессогенное воздействие испытывали практически все жители республики — у многих в зоне бедствия были родственники и друзья, о судьбе которых долгое время не имелось никаких сведений. Поэтому весь период поиска живых под раз-

валинами зданий, а затем расчистки жилых и промышленных сооружений и извлечение погибших остро переживался населением, надежды сменялись разочарованием.

Не случайно именно в этот период возникли самые разнообразные слухи, дезорганизующее воздействие которых существенно превосходило их информационную функцию в обычных условиях. Необходимо отметить, что в Армении, как и в других южных и восточных регионах страны, роль личного, устного сообщения оценивается весьма высоко и зачастую имеет приоритет в достоверности над письменной, официальной информацией.

Именно тогда возникли сообщения о большой группе людей, спасшихся под руинами спитакского элеватора, о человеке, прожившем более месяца в одном из подвалов Ленинакана. Появились и апокалипсические настроения, мнительность, акцентировался особый, довлеющий над армянами рок. Действия властей интерпретировались как враждебные, направленные на уничтожение армянской нации («землетрясение вызвано направленным взрывом», «детей вывозят из Армении с целью ассимиляции»).

Непосредственные и отдаленные психологические последствия значительных стрессогенных событий обычно изучаются в рамках исследований посттравматических стрессовых нарушений, возникших от воздействий, которые вызывают заметные симптомы дистресса (отрицательного влияния на деятельность вплоть до ее полной дезорганизации) практически у любого человека. Анализируются последствия тяжелых утрат, жизненных кризисов, травматических и военных неврозов, синдромов узников концлагерей и ветеранов войны, психических травм, вызванных катастрофами, и т. д.

Психологи выявили несколько существенных характеристик посттравматических стрессовых нарушений:

постоянно повторяющееся переживание травмы с навязчивыми воспоминаниями, сновидениями или неожиданно возникающим чувством, что травматическая ситуация возобновляется;

чувство изоляции от других людей, которое приводит к снижению способности адекватно реагировать или уменьшению заинтересованности в активном общении;

наличие не менее двух из следующих симптомов: повышенная бдительность и настороженность, нарушение сна, специфическое чувство вины «оставшегося в живых», нарушение памяти или концентрации внимания, боязнь активности, которая могла бы

¹ Weitz J. Psychological Research Needs on the Problems of Human Stress // Social and Psychological Factors in Stress. N. Y., 1970. P. 47—54.

стимулировать воспоминания о травматическом событии, усиление уже проявляющихся симптомов, если активность все-таки необходимо проявить.

Посттравматические стрессовые нарушения у лиц, переживших природную катастрофу, в частности землетрясение, изучены сравнительно мало. Наиболее исследованы последствия наводнения в Буффало-Крик (1972 г.), землетрясений в Калифорнии (1971 г.) и Мехико (1983 г.): У переживших эти бедствия людей исследователи отметили два взаимозависимых, но вместе с тем имеющих самостоятельное значение аспекта — индивидуальную и коллективную травму.

Под индивидуальной травмой понимают удар по психике, который прорывается через личностные защиты так неожиданно и с такой силой, что на него невозможно ответить эффективно: пережившие получили глубокий шок в результате того, что стали свидетелями огромного количества смертей и разрушений, что заставило их «уйти в себя», чувствовать оцепенение, страх, уязвимость и одиночество². В травматической ситуации человек не только становится свидетелем смерти других людей, но и остро переживает угрозу собственной жизни. У многих после травмы резко меняется «картина мира», их беспокоит реальная или воображаемая ответственность за действия в прошлом. Переживших катастрофу не покидает ощущение непричастности к происходящим событиям, сторонних наблюдателей за происходящим, а сами события они воспринимают растянутыми во времени.

Важная характеристика посттравматических стрессовых нарушений — тревога. Возникнув во время катастрофы, она затем может стимулироваться неожиданным шумом, вибрацией, пребыванием в замкнутом пространстве, темноте. Многие пережившие Спитакское землетрясение, особенно дети, боялись гула самолетов, в первые дни после катастрофы летавших намного чаще обычного, шума машин, любых трясок, не могли спать в поездах и т. п. Устойчивое чувство тревоги вызывало бессоницу, раздражительность, сильное нервно-психическое напряжение, на этой почве возникали и соматические болезни.

Коллективная травма людей, перенесших бедствие, — это «удар по тканям общественной жизни, разрушающий связи, соединяющие людей вместе, и наносящий

ущерб чувству общности»³. После наводнения в Буффало-Крик, как отмечает К. Эрикссон, у населения этой долины разрушились чрезвычайно значимые прежде (как и для жителей Армении) социальные связи — семейные, родственные и соседские. Через год практически у всех жителей долины исследователи обнаружили апатию, деморализацию, дезорганизацию и отгороженность от других.

Важно отметить, что коллективная травма прокладывает свой путь медленно и незаметно, человек не сразу осознает, от чего именно он страдает. Но постепенное понимание того, что община больше не существует как целое, как защита и опора, вызывает изменение «картины мира», ощущение потери какой-то части своего «Я».

Коллективная и индивидуальная травмы тесно связаны между собой, но каждая может возникнуть и в отсутствие другой.

Можно с уверенностью говорить, что землетрясение в Армении вызвало у людей оба вида травм, и многим жителям зоны катастрофы будет трудно преодолеть индивидуальную травму, поскольку социум, от которого они зависели, оказался разрушенным. У определенной части жителей пострадавших районов отмечена некоторая социальная отстраненность, нежелание принимать участие в восстановлении своих родных городов и сел. Это в первую очередь касается людей, переселенных из зоны бедствия. Уже сейчас у некоторых из них возникает настроение социального изживенчества, нежелание вернуться обратно. Разделение семьи, при котором женщины и дети живут в пансионатах, санаториях, домах отдыха (часто за пределами республики), а мужское население осталось в зоне бедствия, не способствует укреплению семейных связей, а только усиливает психологический дискомфорт. Можно предположить, что чем дольше будет сохраняться такая ситуация, тем большим числом негативных последствий она обернется в будущем — ростом количества разводов, увеличением эмиграции из Армении, отклонением в поведении, дефектами воспитания, нарушением роли половых стереотипов, искажением традиционных семейных и социальных связей, культурным шоком от переезда в иноязычную и инокультурную среду.

Эти последствия могут проявиться не сразу, у нас есть еще время разработать программы для их преодоления. Однако некоторые проблемы не терпят отлагательства. Одной из наиболее актуальных проблем,

² Erikson K. T. // Amer. J. Psychiatry. 1976. Vol. 133. № 3. P. 303.

³ Ibid. P. 304.

возникших сразу после землетрясения, стала сейсмобоя — боязнь и постоянное ожидание землетрясения. Она широко распространена среди жителей Армении, особенно среди детей. Именно с ними больше всего работали местные и приехавшие из других городов психологи. Сейсмобоя приобрела как бы социальную санкционированность, с жалобами на нее стали обращаться люди с различного рода психическими расстройствами, которыми они страдали и до землетрясения, но по разным причинам не обращались за психиатрической и психологической помощью. Вполне возможно, что количество выявляемых психически больных, особенно больных с пограничными нервно-психическими расстройствами, в дальнейшем увеличится.

Актуальной с первых же дней после катастрофы была и психологическая помощь раненым, в особенности страдающим от синдрома длительного сдавливания¹. Многим из них пришлось проводить ампутации. Кроме психологической помощи непосредственно во время лечения эти люди требуют долговременной психотерапевтической и социально-психологической помощи. Необходимо разработка программы адаптации инвалидов с учетом того, что им потребуется не только трудовая, но и социальная реабилитация — выработка новых ценностей, иной, чем прежде, «картины мира», нового самосознания и т. д. Число инвалидов в республике увеличится на несколько тысяч, и насущной станет проблема отношения к ним здоровых людей. У здоровых, постоянно живущих рядом, может возникнуть чувство вины перед инвалидами и проявиться в различных формах, в том числе и в негативных, например в раздражении, агрессии. Усилиями психологов эти негативные чувства необходимо свести к минимуму, психологи должны быть готовы к такой работе.

Важная задача, стоящая перед психологами и психиатрами Армении, — предотвращение самоубийств. Как уже отмечалось, у многих переживших катастрофу возникло чувство вины перед погибшими, чувство потери корней, апатия, чувство одиночества и т. п., а это увеличивает вероятность покушений на собственную жизнь.

Большой комплекс задач связан и с психосоматическими проблемами. Известно,

что одно из долго длящихся последствий катастроф — заметный рост сердечно-сосудистых (гипертонических кризов, инфарктов миокарда и др.), эндокринных, аллергических заболеваний. Обычно растет и общее число ипохондриков — людей, относящихся с настороженным вниманием к состоянию своего здоровья, с необоснованным страхом за него и за свою жизнь. Роль психологических факторов в генезисе и динамике психосоматических заболеваний очень высока, но, к сожалению, им не уделяется должного внимания.

Не лучше обстоит дело и с такой важной, на наш взгляд, проблемой, как психологические аспекты управления во время катастрофы и в восстановительном периоде. В настоящее время преобладает технократический подход к преодолению любой катастрофы, а трудно обнаруживаемые, но весьма существенные проблемы нематериального характера игнорируются. Это взаимоотношение местных и прибывших на помощь (профессионалов и добровольцев; руководителей разного уровня); местного руководства и руководителей центральных ведомств; отчужденность пострадавшего населения от принятия решений; последствия недостаточной информированности людей в зоне катастрофы; развитие отстраненности, отчужденности среди людей и многое другое.

Большого внимания требуют и психологические аспекты дальнейшей жизни в сейсмоопасных зонах — меры предосторожности, основы взаимопомощи, создание психотерапевтических сообществ и т. п. Необходимо отметить, что разработка этих аспектов важна и для жителей других сейсмоопасных зон, а также регионов с повышенным риском природных и антропогенных катастроф.

Проблемы, уже проявившиеся при Спитакском землетрясении, и те, которые могут возникнуть в дальнейшем, не под силу какому-то одному научному учреждению. Ведь землетрясение в Армении может быть объектом изучения таких отраслей психологии, как медицинская психология, психология массового поведения, психология управления, психология преступности, психология семьи, этнопсихология и т. д. Очевидна настоятельная необходимость создать долговременную программу психологических исследований катастроф с привлечением психологов медицинской, инженерной, социальной и других специализаций.

¹ Подробнее о синдроме длительного сдавливания см. в этом номере: Городецкий В. М. Медицина катастроф.

Нужна действенная система защиты

С. С. Цыганков,

Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР
Москва

СПИТАКСКОЕ землетрясение обнажило несостоятельность существующей в стране системы защиты от катастроф. Эта система, включающая научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, создание и массовый выпуск специального оборудования, сейсмическое районирование, сейсмостойкое строительство, различные типы прогноза, подготовительные и защитные мероприятия, а также аварийно-спасательные и восстановительные работы, должна представлять единое целое. Пока такого целого не получилось, несмотря на солидные ассигнования. Кроме того, этой системе не хватает соответствующего технологического и организационного оформления, обеспечения финансированием и материально-техническими ресурсами.

ЗАЩИТА ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

В основу такой защиты положена карта сейсмического районирования, которая имеет юридический статус, входит в систему государственных стандартов и обязательно должна учитываться при проектировании промышленных объектов и жилья. Но такая карта в принципе не может быть точной, так как для этого нет еще достаточной научной основы. Это положение еще можно в значительной степени исправить на стадии долгосрочного и среднесрочного прогнозов. Так, по Спитакскому землетрясению удалось сделать по крайней мере два правильных долгосрочных прогноза. Однако на сегодня долгосрочный и среднесрочный прогнозы не имеют юридического статуса, за одним известным мне исключением

(я имею в виду Камчатку¹). Они официально не рассматриваются и не утверждаются, следовательно, не являются основанием для того, чтобы выделялись средства на подготовительные и защитные мероприятия. Подробно о них пишет В. И. Кейлис-Борок², я же хочу добавить следующее.

Совершенно необходим прогноз вторичных явлений. Ведь в ряде случаев они могут привести к гораздо большим потерям, чем те, что вызваны непосредственно землетрясением. Самый свежий пример — землетрясение в районе Душанбе и возникший в результате оползень, унесший около 1000 жизней. Ко вторичным явлениям относятся также сели, сходы лавин, цунами и др. Сюда же следует включить и аварии на крупных гидро- и атомных электростанциях, химических производствах и т. д. Например, при Спитакском землетрясении зона разрушений подошла вплотную к крупнейшему Кирово-Вананскому химическому комбинату. Последствия его возможного разрушения трудно даже представить, так как готовность к такому событию была практически нулевой.

Далее, нужно проверить качество сейсмостойкого строительства, устойчивость по отношению к землетрясению производственного и жилого фонда, а также инженерных коммуникаций; разработать и провести противопожарные и противоэпидемические меры; создать системы гарантированного электроснабжения, аварийной связи и транспортировки; иметь на ме-

сте дополнительные комплексы проектной и картографической документации; обеспечить быстрый слив и вывоз в безопасное место вредных отходов химического производства; создать аварийные штабы и отряды, прикрепить к ним и провести тренировку аварийных расчетов, войсковых частей, строительно-монтажных, медицинских и других подразделений, провести штабные учения и другие мероприятия, вплоть до объявления в опасных районах чрезвычайного положения.

Чтобы при организации аварийно-спасательных работ получить решающий выигрыш во времени, на мой взгляд, очень важно заблаговременно спроектировать вблизи крупных населенных пунктов палаточные города, создать централизованные запасы необходимого оборудования и закрепить за ними силы быстрого реагирования.

Это далеко не полный перечень подготовительных и защитных мероприятий. Чтобы их провести, нужны средства и готовая организационная структура. Однако именно на такие мероприятия средства в законодательном порядке не выделяются, хотя на защиту от землетрясений и ликвидацию их последствий тратятся миллиарды рублей в год.

А вот на меры «в промежутке» между сейсмостойким строительством и аварийно-спасательными работами у нас в стране законодательно практически никаких средств не предусматривается. И это совершенно непонятно. Японцы, например, за 10 последних лет выделили на подготовительные и защитные мероприятия около 700 млрд иен только по линии госбюджета. Ясно, что эти суммы окупятся за счет резкого сокращения стоимости восста-

¹ См. в этом номере: Федотов С. А. Камчатка готовится к землетрясениям.

² Там же. Кейлис-Борок В. И. Динамика литосферы и прогноз землетрясений.

новительных работ, необходимых после стихийного бедствия. Однако это понятно всем, но не нам, хотя сама прогрессивная концепция прогноза землетрясений, включающая и защитные мероприятия, была выдвинута в числе первых именно у нас, причем более 10 лет назад¹.

Так же обстоит дело и со структурой управления. В Японии и других странах для этих целей созданы специальные управления, которыми руководит непосредственно премьер-министр страны. У нас же до сих пор такой структуры нет. Все это сказывается на уровне аварийно-спасательных работ.

Американская группа, участвовавшая в спасательных работах в зоне Спитакского землетрясения, составила очень интересный график. Он имел две ветви: нисходящая показывала убывание числа спасенных людей по дням, восходящая — увеличение со временем численности профессиональных спасателей. Оказалось, что к моменту прибытия основной массы спасателей число спасенных стало минимальным. Итак, потеря времени при развертывании спасательных работ стоит тысяч человеческих жизней! Но эта задержка предопределена отсутствием подготовительных и защитных мероприятий. Кроме того, надо помнить, что аварийно-спасательные работы — особый вид деятельности, в них могут участвовать далеко не все, в том числе — и из добровольцев. Нужна «первая сборная».

Но кто в нее должен входить? В 60-е годы на Байконуре благодаря усилиям С. П. Королева была создана «первая сборная» по космосу. Она имела крепкие корни в НИИ, КБ, на заводах, проектных институтах, строительных, монтажных, наладочных и других организациях, откуда делегировались лучшие. Никто не фиксировал ее состава, но все знали, кто туда входит. Компетентность, профессионализм, ответственность, самоотверженность — вот, пожалуй, те основные принципы, по которым она комплектовалась. Американцы со своей самой передовой технологией долго гнали за этой «коман-

дой», пока сумели ее догнать. Были такие команды и в других областях. Но значительно, на порядок меньше их стало в наши дни. А именно в «первых сборных» нуждается перестройка сегодня. Они нужны на всех уровнях, но для аварийно-спасательных работ просто необходимы.

Не менее важны вопросы финансирования и оплаты труда организаций и специалистов, ведущих аварийно-спасательные работы. Напомню, что эти работы начинаются внезапно и ведутся под лозунгом безвозмездной помощи. Для государства в целом так оно и есть, но отдельные организации сразу же начинают испытывать финансовые и материально-технические трудности, объем которых возрастает по мере того, как наращиваются усилия. Поэтому именно на стадии подготовительного периода должен быть отработан вопрос немедленного открытия льготного финансирования и соответствующей оплаты труда, чтобы с первых дней аварийных работ их можно было ввести в действие.

СЛУЖБА ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТЯСЕНИЙ

Эта служба, о создании которой было объявлено еще в 1978 г., — один из ключевых элементов системы защиты населения от действия землетрясений. За 40 лет, прошедших после катастрофического Ашхабадского землетрясения 1948 г., создана солидная сейсмологическая инфраструктура, включающая институты сейсмологического профиля АН СССР и АН союзных республик, опытные сейсмологические экспедиции и партии, КБ, сейсмостанции и т. п. Большим парком сейсмологической и геофизической аппаратуры, соответствующими специалистами располагают также Министерство геологии СССР, многие другие министерства и ведомства. Но беда в том (и это проблема № 1), что сейсмологической службы как таковой, с единой структурой, руководством, научно-технической политикой, подготовкой кадров и т. д., — не существует. Нет и единой системы финансирования: институты финансируются из бюджета через свои ведом-

ства, опытно-методические экспедиции — за счет средств, выделяемых на геолого-разведочные работы; большой объем финансирования проходит по комплексным научно-техническим программам. Например, на программу Государственного комитета СССР по науке и технике «Сейсмология и сейсмостойкое строительство» в текущей пятилетке выделено более 200 млн руб.

На этом следовало бы остановиться особо. Дело в том, что эта комплексная программа имеет более 50 финансирующих организаций при едином координаторе — Межведомственном совете по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР, который своего финансирования не имеет. При этом формирование самой программы шло в основном по принципу «снизу — вверх», т. е. принимались те предложения, которые представляли институты. В результате сложилось положение, когда финансирующие организации практически не могут влиять на разработку тех мероприятий, которые они финансируют, а Межведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству не может заполнить стыки между разработками или повлиять финансово на их ход, поскольку не наделен соответствующими правами и средствами. А в целом такое разделение функций единого заказчика между многими организациями делает всю систему малоэффективной.

Третья важная проблема — наше серьезное отставание в оснащенности современной аппаратурой. Эта тема многократно освещалась в печати, но некоторые серьезные причины все же четко не были названы, а они опять связаны с вопросами организации и финансирования. Пока у нас нет единого заказчика, централизованного финансирования и генерального конструктора, мы обречены делать устаревшие приборы, как говорится, «на коленке».

К четвертой проблеме я бы отнес отсутствие телеметрических систем и систем связи. Причем только лишь отсутствие системы связи при всех осталь-

¹ Там же.

ных решенных вопросах делает невозможным краткосрочный прогноз. Например, в сейсмологической службе Армении до землетрясения был принят такой порядок: 10 дней приборы вели запись, затем материалы отправлялись почтой в Ленинкан и там обрабатывались, на что уходило 20—30 сут. Непозволительная задержка!

Существует еще известная всем проблема подготовки кадров и еще одна проблема, о которой следует сказать особо. С ней я столкнулся, будучи заместителем начальника штаба сейсмологических работ в зоне Спитакского землетрясения. Ученые и специалисты, как ведущие инструментальные наблюдения, так и интерпретаторы, очень неохотно отдают свои материалы «в общий котел». Не то чтобы кто-то отказывался передавать материалы, нет, такого не было, но нежелание чувствовалось и в конечном итоге приводило к потере времени. Думаю, такая проблема (назовем ее проблемой авторского права, которое у нас в этой сфере никак не ограждено) существует и требует законодательного решения.

ЧТО ДЕЛАТЬ ДАЛЬШЕ?

Мы можем решить подавляющее большинство проблем, о которых я говорил выше, но если при этом не решим лишь одну из них, наши усилия окажутся безрезультатными. Например, не выработав статус прогноза землетрясений, мы получим множество различных прогнозов, которыми невозможно будет пользоваться. Или же, не добившись финансирования подготовительных и защитных мероприятий, окажемся в ситуации, аналогичной той, которая сложилась после Спитакского землетрясения. Можем не решить только проблему работы авиадиспетчеров в экстремальной ситуации — и потеряем в результате аварий столько самолетов, что попадем в книгу рекордов Гиннесса. Не оградив авторское право — и ученые-практики по-прежнему будут или «сидеть» на своих мате-

риалах, или давать прогнозы, составленные только на основе собственных наблюдений. Мы можем по-прежнему вводить в зону бедствия не силы быстрого реагирования, а полки гражданской обороны, призывая, экипируя и обучая личный состав уже в ходе аварийных работ; можем на прежнем уровне сохранить аппаратное оснащение наших аварийных сейсмологических отрядов или действующую систему связи сейсмологической службы — и множество других усилий и затрат окажутся практически бессмысленными. Таким образом, необходимо собрать в единое целое и расставить в правильном порядке все без исключения звенья цепи, связанной с защитой населения от действия землетрясений, поставить всю эту деятельность с головы на ноги, а для этого нужен комплексный подход ко всей проблеме.

Мне бы очень хотелось закончить статью на оптимистической ноте: вот, мол, в соответствии с решением Политбюро ЦК КПСС от декабря 1988 г. к марту 1989 г. подготовлены и изданы постановления Совета Министров СССР, на основании которых все поставленные вопросы решены. Но не получается такая концовка. Март давно прошел, а постановлений этих нет. Их нет и, насколько мне известно, никто не готовит комплексную концепцию подхода к этой проблеме. Правда, готовятся материалы Комиссии по чрезвычайным ситуациям при Совете Министров СССР (председатель комиссии В. Х. Догужиев). Не думаю, однако, чтобы эта комиссия взяла на себя, например, рутинные функции заказчика работ по прогнозу землетрясений или непосредственного руководства подготовительными и защитными мероприятиями, да и решение многих других затронутых проблем.

Знаю, что готовится Постановление Совета Министров СССР по усилению и переоснащению сейсмологической службы, куда будет вложено более миллиарда рублей, но неизвестно, когда оно выйдет и к чему приведет. Ведь существует и

такая возможность, когда полезное, но очень дорогостоящее дело, в условиях общего финансового дефицита и само не будет доведено до конца, и «отсосет» средства с других направлений сейсмологии, ухудшив тем самым общее положение дел.

Сложившееся положение с защитой населения, народного хозяйства и природных объектов от действия землетрясений, других природных и рукотворных катастроф в сочетании с отсутствием комплексных идей по данному вопросу приводит к мысли о необходимости создания общественной ассоциации по защите от катастроф. Такой орган мог бы рассмотреть как комплекс проблем по защите населения (предложения есть у многих, в том числе и у автора), так и отдельные идеи вне связи с ведомственными, групповыми и личными интересами — исключительно с позиций необходимости и целесообразности, сформировать по образцу других стран (Японии, Великобритании, ФРГ и др.) специализированные аварийно-спасательные отряды и группы, осуществлять координацию и методическое руководство их работой, вести обучение населения приемам самоспасения, решать в общественном порядке многие другие поставленные вопросы, такие, например, как названные «первоочередными задачами» на Международном семинаре ЮНЕСКО «Спитак-88»⁴.

Думается, «Природа» могла бы стать одним из инициаторов создания такой ассоциации. Уверен, что компетентные и ответственные люди, идеи и спонсоры найдутся.⁵

⁴ См. в этом номере «Спитак-88».

⁵ В процессе подготовки материала редакция связалась с Комиссией по чрезвычайным ситуациям при Совете Министров СССР; ее сотрудники заинтересовались вопросами, поднятыми в статье, считая их очень актуальными. Было признано целесообразным обсудить с автором весь комплекс задач по созданию действенной системы защиты от катастроф и на этой основе выработать современную концепцию по проблеме в целом. (Прим. ред.)

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (июль — август 1989 г.)

В июле—августе 1989 г. в Советском Союзе запущено 14 спутников, в том числе 9 спутников серии «Космос».

На борту «Космоса-2029» установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества.

На спутнике «Надежда» размещена навигационная система для определения местонахождения судов морского и рыболовного флотов Советского Союза, а также аппаратура, входящая в состав международной космической системы поиска и спасения судов и самолетов, терпящих бедствие (КОСПАС — SARFAT).

С помощью очередных спутников серии «Ресурс-Ф» проводилась разномасштабная многозональная и спектрально-нальная съемка для исследования природных ресурсов Земли. Спутником, запущенным 18 июля, выведены два пассивных отделяемых субспутника «Пион» для исследования плотности верхней атмосферы, разработанных студенческим КБ Куйбышевского авиационного института им. С. П. Королева.

Усовершенствованный грузовой корабль новой серии «Прогресс-М» доставил на орбитальную станцию «Мир» топливо для объединенной двигательной установки, продукты, воду, оборудование и научную аппаратуру.

Все эти аппараты выведены на орбиту ракетами-носителями «Космос», «Союз», «Циклон» и «Протон».

30 июля 1989 г. завершен полет «Космоса-1870», запущенного 25 июля 1987 г. Программа его полета включала отра-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Надежда»	4.VII	979	1 026	83	104,9
«Космос-2029»	5.VII	193	270	82,3	88,8
«Горизонт»	6.VII	35 100	35 100	1,5	1 401
«Космос-2030»	12.VII	177	373	67,2	89,7
«Ресурс-Ф»	18.VII	195	253	82,6	88,6
«Космос-2031»	18.VII	200	283	50,5	89,0
«Космос-2032»	20.VII	193	275	82,3	88,8
«Космос-2033»	24.VII	410	436	65	92,3
«Космос-2034»	25.VII	988	1 026	82,9	105
«Космос-2035»	2.VIII	191	268	82,6	88,8
«Ресурс-Ф»	15.VIII	192	258	82,3	89
«Космос-2036»	22.VIII	248	275	62,8	89,6
«Прогресс-М»	23.VIII	191	235	51,6	88,5
«Космос-2038»	28.VIII	1 503	1 537	73,6	116,1

ботку дистанционного зондирования Земли с помощью первой отечественной радиолокационной станции высокого разрешения, позволяющей вести наблюдения независимо от состояния погоды и времени суток. За два года получено большое количество радиолокационных изображений различных природных образований на территории Советского Союза и ряда зарубежных стран, а также отдельных районов акватории Мирового океана. Материалы исследований переданы научным организациям Советского Союза, а также специалистам США, Финляндии, Франции и Швеции.

Космические исследования

Облака на Нептуне

В конце июня 1989 г. «Вояджер-2» подошел уже достаточно близко к Нептуну, чтобы можно было довольно подробно сфотографировать эту далекую планету. Так как она состоит главным образом из воды и газов (в основном метана) и твердой поверхности у нее нет, на снимках видны лишь об-

лака в верхних слоях атмосферы планеты.

По сравнению с фотографиями, сделанными в начале 1989 г., зафиксированы существенные перемены. Так, исчезло яркое белое облако, ранее наблюдавшееся около 30° ю. ш. Зато вблизи экватора появилось крупное темное облако, а вокруг Северного и Южного полюсов наблюдаются темные кольцеобразные облачные полосы.

Еще в апреле слабое белое пятно, едва различимое около Южного полюса, всего за один оборот Нептуна вокруг оси (сутки на планете равны 18 земным часам) внезапно превратилось в самый яркий район.

Как оказалось, атмосфера Нептуна резко отличается от газовой оболочки соседнего Урана, размеры и состав которого до сих пор позволяли называть эти планеты «близнецами». Когда более трех лет назад «Вояджер-2» проходил вблизи Урана, следы облачности на нем обнаружены не были. Теперь же установлено, что на Нептуне она вполне развита.

Возможно, это различие объясняется тепловым потоком из недр Нептуна. Как показывали наземные наблюдения, из яд-

ра Нептуна выделяется почти столько же тепла, сколько планета получает от Солнца, в то время как тепловой поток на Уране составляет лишь малую долю этой величины.

Изучение снимков Нептуна, поступающих от «Вояджера-2», продолжается.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1670. P. 45 (Великобритания).

Космические исследования.
Вулканология.

Спутник предсказал извержение

Обработывая космические снимки в инфракрасной части спектра, сделанные американским искусственным спутником Земли «Лэндсат» за период 1984—1987 гг., группа американских и английских специалистов обратила внимание на необычно высокий уровень теплового излучения в одном из незаселенных северных горных районов Чили.

На основании этих данных был сделан прогноз о возможности скорого извержения находящегося здесь, в центральных Андах, небольшого вулкана Ласкар, считавшегося потухшим. И действительно, к лету 1989 г. Ласкар превратился в активно действующий вулкан, из кратера которого начала бурно извергаться лава.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1669. P. 35 (Великобритания).

Астрофизика

Самая протяженная замagnetическая область во Вселенной

Группа радиоастрономов из Италии, Канады и Кореи сообщила об открытии крупномасштабной магнитной структуры (перемычки), связывающей скопления галактик Волосы Вероники и A1367. В проекции на небесную сферу линейные размеры этой структуры, испускающей синхротронное излучение, составляют $1,9 \times 0,8$ Мпк. Если предположить, что в релятивистских электронах и магнитных полях заключена одинаковая энер-

гия, напряженность магнитного поля в этой перемычке должна достигать 0,3 мкГс, что всего в 10 раз меньше напряженности межзвездных магнитных полей.

Это самый крупный из известных во Вселенной объектов, содержащих магнитное поле. К сожалению, пока отсутствуют поляризационные наблюдения, которые могли бы определить структуру магнитного поля. В частности, неясно, является ли это поле хаотическим или упорядоченным; подобная информация необходима для решения вопроса о происхождении магнитного поля в столь протяженном объекте.

Как отмечают авторы, скопление галактик Волосы Вероники расположено внутри сетчатой структуры распределения галактик на границе гигантской области, в которой почти нет галактик. Однако напряженность наблюдаемого магнитного поля слишком велика, чтобы его можно было объяснить сжатием вещества с замороженным в него магнитным полем в процессе формирования сетчатой структуры. По-видимому, возникновение магнитного поля связано с действием в сетчатой структуре или межгалактическом газе механизма динамо, подобного наблюдаемому внутри скопления галактик¹. Впрочем, если обнаруженное магнитное поле окажется упорядоченным, гипотеза о существовании космологического реликтового магнитного поля потребует нового анализа.

Еще одна проблема, которая возникает в связи с открытием магнитной перемычки, — происхождение релятивистских электронов, испускающих синхротронное излучение. Время потери электронами энергии в перемычке не превышает 10^8 лет. Если бы они ускорились в ближайших галактиках и диффундировали затем в межгалактическое пространство, скорость диффузии должна была бы достигать сотен километров в секунду, что неправдоподобно велико.

Preprint of University of Toronto. May 1989 (Канада).

¹ Подробнее об этом см.: Магнитные поля в скоплениях галактик. // Природа. 1989. № 10. С. 103.

Астрофизика

Землетрясения и солнечная активность

А. Д. Сытинский (Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт Госкомитета по гидрометеорологии) на большом статистическом материале исследовал связь сейсмичности Земли с солнечной и геомагнитной активностью и состоянием межпланетной среды. Для анализа использовались значения суммарной энергии землетрясений и количества сильных землетрясений за год и другие характеристики сейсмичности за период с 1904 по 1977 г. Кроме традиционного индекса солнечной активности — чисел Вольфа (относительное число солнечных пятен), учитывались индексы геомагнитной активности, а также спутниковые наблюдения за параметрами солнечного ветра.

Сопоставив суммарную энергию землетрясений с числами Вольфа за этот период, автор нашел, что сейсмичность Земли увеличивается вблизи максимума 11-летнего цикла солнечной активности, через три года после него и вблизи его минимума. Таким образом, существует определенная зависимость общей сейсмичности Земли от фазы солнечной деятельности. Любопытно, что возрастание сейсмичности через три года после максимума солнечного цикла совпадает со второй «вершиной» в зависимости от времени числа наиболее мощных активных образований на Солнце, которая, согласно исследованиям Ю. И. Витинского и М. Н. Гневышева (Главная астрономическая обсерватория АН СССР), характеризуется двухвершинной кривой в 11-летнем цикле.

Моменты наиболее сильных землетрясений (с магнитудой, превышающей 6,5) зависят от активных процессов на Солнце — они связаны с датами прохождения групп солнечных пятен через центральный меридиан Солнца, а еще лучше коррелируют с положением на Солнце корональных дыр.

Автор установил также связь сильных землетрясений с

характеристиками солнечного ветра. Как правило, сильные землетрясения возникают в момент прихода к Земле потоков возмущенного солнечного ветра (при увеличении концентрации протонов, смене знака секторной структуры межпланетного магнитного поля). Такие землетрясения на 1—2 дня опережают геомагнитные возмущения магнитосферы, хотя потоки солнечной плазмы должны сначала поступать в магнитосферу, а уже потом к Земле. По-видимому, механизмы передачи энергии солнечного ветра в магнитосферу и атмосферу Земли совершенно различны.

Известия АН СССР. Сер. «Физика Земли». 1989. № 2. С. 13—28.

Планетология

Новая информация лунного камня

Хотя с момента высадки американских астронавтов («Аполлон-15») на Луну прошло более 20 лет, доставленные ими на Землю образцы лунных пород продолжают тщательно изучаться.

У. Марвин (U. B. Marvin; Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр, штат Массачусетс, США) исследовала тонкие срезы лунных брекчий — обломков различных пород, спаянных воедино под мощным воздействием тепла. В них наряду с обычным полевым шпатом, оливином и шпинелью обнаружены кристаллы весьма редкого кордиерита магния, лишь иногда встречающегося в сильно метаморфизованных породах Земли.

Чтобы такая комбинация минералов могла возникнуть, они должны были подвергнуться огромному давлению, подобному тому, что существует на глубине не менее 50 км под лунной поверхностью. Между тем эти минералы были найдены на поверхности, в 10 км над границей коры и мантии Луны, где их образование казалось бы естественным.

По мнению Марвин, на-

ходка дает новую информацию о гигантских катаклизмах (скорее всего, столкновениях с крупными метеоритами), которые только и могли привести к выделению тепла, способного так перерабатывать лунную кору, что в ней возникли весьма редкие для Земли минералы.

Smithsonian Institution Research Reports. 1989. № 57. P. 7 (США).

Планетология. Геология

Обращение магнитного поля Земли

Во время очередного 124-го рейса научно-исследовательского судна «ДЖОЙДЕС Резолюшн» группа под руководством Э. Силвер (E. Silver; Университет штата Калифорния, Санта-Крус, США) изучала морское дно в районе между Филиппинами и о. Калимантан.

Исследование колонок осадочных пород, взятых здесь при бурении в нескольких точках, показало, что около 1,1 млн лет назад геомагнитное поле сменило направление на противоположное и сохраняло его примерно 10 тыс. лет.

Свидетельства столь важного события в геологической истории нашей планеты находили и ранее, например в породах Орегонских гор на крайнем северо-западе США, но для определенных выводов этого специалистам было недостаточно.

Доказательства, обнаруженные теперь на дне морей Сулавеси и Сулу, можно считать решающими. Поскольку осадочные породы в то время накапливались на дне океана очень быстро, они позволяют во всех подробностях проследить, как именно протекал процесс смены направления магнитного поля Земли, хотя причины этого по-прежнему остаются загадкой.

Открытие произошло случайно: ученые при бурении ставили перед собой совсем иные цели, стараясь установить время формирования и ход эволюции бассейнов двух морей.

Science News. 1989. Vol. 135. № 12. P. 188 (США).

Астрономия

«Коричневый карлик» обнаружен

Астрономы давно предсказывали существование «коричневых карликов» — слабо светящихся звездобразных объектов небольшой массы. Такие небесные тела можно считать несостоявшимися звездами, поскольку малая масса не позволяет их ядрам разогреться настолько, чтобы в них началась термоядерная реакция. Обнаружить «коричневый карлик» удалось группе Д. Латама (D. Latham; Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачусетс, США), куда вошли также специалисты из Тель-Авивского университета (Израиль) и Женевской обсерватории (Швейцария). 10 лет они определяли скорости различных звезд в Галактике, ведя спектральные измерения доплеровского смещения их излучения. Во время наблюдений звезды HD 114762 обнаружилось, что ее движение то ускоряется, то замедляется, очевидно, под влиянием притяжения какого-то невидимого объекта.

Дальнейшие исследования показали, что таким объектом может быть тело, совершающее оборот вокруг звезды HD 114762 за 84 земных суток и, следовательно, находящееся от нее примерно на том же расстоянии, что и Меркурий от Солнца. Его масса (о которой можно судить по вариациям скорости звезды) в 11 раз больше массы Юпитера (т. е. около 0,01 $M_{\odot}$).

Все это в сочетании с низкой светимостью свидетельствует о том, что обнаружен именно «коричневый карлик». Принципиальная важность открытия состоит в том, что такого типа небесные тела могут представлять давно разыскиваемую астрономами «темную материю». До сих пор все сообщения об обнаружении такой материи оказывались ошибочными. Наблюдения «коричневого карлика» представляют достаточно надежные. Однако утверждать на основании открытия лишь одно-

го такого тела, что «темная материя» реально существует, пока нельзя. Необходимо продолжать поиски новых «коричневых карликов».

Nature. 1989. Vol. 339. № 6219. P. 38 (Великобритания).

Организация науки. Физика

Будет ли сооружен Европейский реактор на быстрых нейтронах?

Представители правительства и вовлеченных в сотрудничество организаций подписали соглашение о разработке детального конструктивного проекта Европейского реактора на быстрых нейтронах мощностью 1500 МВт, стоимость которого составит 2 млрд фунт. ст. Конструкторские работы предполагается завершить к 1993 г.

В значительной мере конструкция нового реактора основана на проекте французского реактора «Суперфеникс-1» (возобновившего работу в январе 1989 г., спустя 18 мес после остановки из-за утечки жидкого натрия из контура охлаждения), однако в нем при меньших размерах будет 3 или 6 контуров охлаждения.

Трехлетняя программа конструкторских работ оценивается в 190 млн фунт. ст., причем эти расходы должны почти полностью оплатить поровну Франция, ФРГ и Великобритания. Вклады Бельгии, Дании, Нидерландов и Италии гораздо меньше.

Возможно, новый реактор вступит в строй к 2000 г., если, конечно, будет обеспечено финансирование работ и утверждено место его расположения.

Франция, лидирующая в создании реакторов на быстрых нейтронах, рассматривается как наиболее подходящая страна для его размещения. Кроме того, в Великобритании и ФРГ ожидается более сильная политическая оппозиция этим планам. Но в любом случае, к 2005 г. Франция будет нуждаться в новых источниках энергии, которые должны заменить прежние поколения ядерных реакторов.

Однако в последние несколько лет экономические пре-

имущества реакторов на быстрых нейтронах были поставлены под сомнение. Предполагается, что конкуренцию им могут составить реакторы, в которых в качестве теплоносителя (и замедлителя нейтронов) используется вода под давлением.

Поэтому пока поддержка проекта Европейского реактора Великобританией довольно неопределенна, так как правительство решило снизить финансовое обеспечение собственной программы по реакторам этого типа со 110 до 10 млн фунт. ст. в год. ФРГ еще не приняла окончательного решения. Напомним, что демонстрационный реактор на быстрых нейтронах (г. Калкар, Северный Рейн-Вестфалия) после 16 лет строительства все еще не получил разрешения на эксплуатацию, хотя в его создание уже вложено 7 млрд марок.

Nature. 1989. Vol. 337. № 6209. P. 680 (Великобритания).



Техника

Установка для обезвреживания нечистот

В Хьюстоне (штат Техас, США) построена первая в мире коммерческая установка для переработки глубоко под землей отходов и нечистот. В скважине глубиной 1500 м соосно установлены трубы, изолированные от окружающей среды. В центральную трубу насосами закачиваются нечистоты, которые внизу создают большое гидростатическое давление. По другой трубе в зону реакции на дне установки, нагретую за счет протекающих экзотермических процессов, подается кислород, резко ускоряющий все процессы. В результате температура повышается до 260—370 °С. Благодаря высокой температуре, давлению, большим скоростям химических процессов из нечистот удаляется более 90 % летучих химических соединений и уничтожаются почти все болезнетворные микроорганизмы. Образовавшаяся инертная зола по консистенции напоминает песок и по внешней трубе выводится на поверхность.

В предложенном способе обезвреживания нечистот ис-

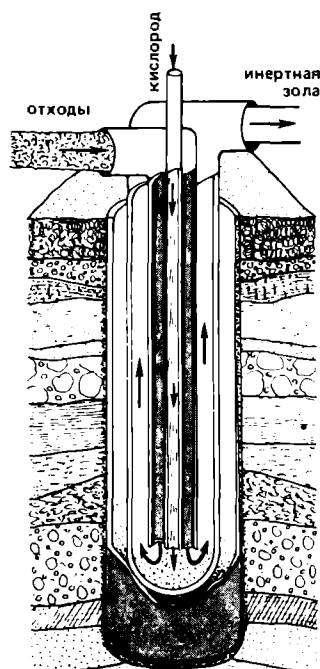


Схема установки по переработке отходов и нечистот.

пользуется метод влажного окисления, известный уже свыше 100 лет. Однако его широкое применение тормозилось из-за дороговизны необходимого оборудования, в частности аппаратов высокого давления. Подземная реализация метода оказалась экономичней; основные затраты приходится на бурение скважины.

До сих пор городские отходы в Хьюстоне высушивали в печи, затем из них изготавливали стерилизованные таблетки, служившие удобрением. Однако против этого выступило Агентство по охране окружающей среды США. Экологический эффект нового процесса несомненен. Если окончательно будет доказано, что в образовавшемся продукте нет болезнетворных микроорганизмов, его будут применять при производстве бетонных и асфальтовых дорожных покрытий. Но и в противном случае процесс все равно экологически и экономически выгоден, так как объем образовавшегося продукта во много раз меньше, чем перерабатываемых нечистот, и

для его захоронения требуются меньшие территории.

Аналогичная установка построена и в Голландии; в ней перерабатывается свиной навоз, который также использовали как удобрение. Однако неприятный запах и опасность заражения свиной болезнетворными микроорганизмами заставили искать способы переработки и обезвреживания навоза.

New Scientist. 1989. Vol. 122. № 1667. P. 34 (Великобритания)

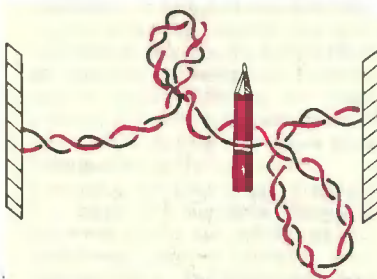
Молекулярная биология

Сверхспирализация ДНК за счет транскрипции

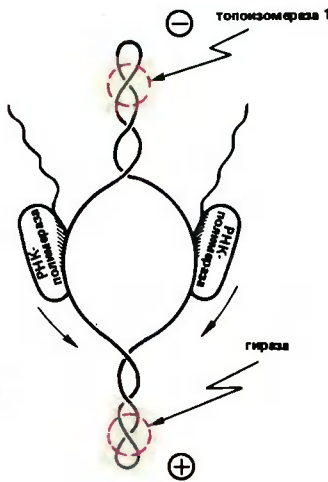
Американские ученые Л. Лью (Школа медицины им. Дж. Гопкинса, Балтимор, штат Мэриленд) и Дж. Уонг (Гарвардский университет, Кембридж, штат Массачусетс) опубликовали теоретическую работу, которая позволила по-новому взглянуть на старую проблему взаимосвязи сверхспирализации и транскрипции в живой клетке¹.

Как возникает сверхспирализация? Представим себе, что мы переплетаем две взаимнокомплемментарные цепи ДНК, стараясь получить двойную спираль. Через некоторое время мы бросаем это занятие и замыкаем каждую из переплетенных цепей в кольцо, после чего представляем ДНК саму себе. Нетрудно убедиться (используя хотя бы резиновые шланги), что после того, как мы замкнули нити, изменить число переплетений между ними, не разрывая их при этом, невозможно. Две цепи ДНК, вступаая в комплементарное спаривание, стремятся свиться, причем оптимальная длина витка составляет в среднем 10,5 пар нуклеотидов — не больше и не меньше.

Таким образом, ДНК определенной длины может и должна образовать определенное число витков. Между тем, переплетая цепи ДНК, мы не заботились о том, чтобы добиться определенного числа переп-



Движение РНК-полимеразы по ДНК можно уподобить продавливанию карандаша по свернутому в двойную спираль шнуру, при этом перед карандашом образуются положительные сверхвитки, а позади — отрицательные



При встречном движении двух РНК-полимераз по кольцевой молекуле ДНК образуются два изолированных домена. В положительно сверхспирализованном домене действует фермент гираза, а в отрицательно сверхспирализованном — топоизомераза I.

летений, т. е. могли получить меньше или больше, чем нужно, витков, иными словами, «недокрутить» или «перекрутить» спираль. Оказывается, эту проблему ДНК решает сама, дозакручиваясь или раскручиваясь и об-

разуя сверхспираль, т. е. спираль более высокого порядка, чем двойная. В первом случае образуется отрицательная сверхспираль, во втором — положительная. В клетках почти всех организмов сверхспирали ДНК оказываются отрицательными.

Важно, что степень отрицательной сверхспирализации (отрицательная сверхспирализационная плотность) в клетке регулируется. До сих пор считалось, что это достигается координированным действием специальных ферментов — топоизомераз. Так, в бактериальной клетке действуют два основных фермента — топоизомераза I и гираза. Первая способна ликвидировать отрицательные сверхвитки, т. е. релаксировать ДНК, вторая, наоборот, создавать отрицательные сверхвитки, т. е. сверхспирализировать ДНК.

Лью и Уонг пришли к выводу, что уровень отрицательной сверхспирализации в клетке поддерживается не только и не столько за счет активности топоизомераз, сколько — РНК-полимераз в процессе транскрипции. Иначе — РНК-полимеразы могут сверхспирализовать ДНК. Это происходит так. Допустим, что РНК-полимераза движется по отрезку ДНК с закрепленными концами. Процесс транскрипции требует, чтобы часть спирали ДНК, которую проходит РНК-полимераза, «расплеталась». Для этого либо сама ДНК должна разворачиваться, либо РНК-полимераза должна все время вращаться вокруг оси двойной спирали ДНК. В первом случае происходящее напоминает продавливание карандаша между двумя переплетенными нитями (рис. 1). Карандаш по ходу своего движения оттесняет вперед витки пройденного им участка двойной спирали, т. е. перед карандашом она становится перекрученной, а позади — недокрученной, причем тем больше, чем больше сместился карандаш. Таким образом, РНК-полимераза, транскрибируя ДНК, может создавать перед собой волну положительной сверхспирализации, а позади — отрицательной.

Аналогично в кольцевой молекуле ДНК, по которой навстречу движутся две РНК-полимеразы (рис. 2), создаются два изолированных домена — с от-

¹ Liu L. F., Wang J. C. // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1987. Vol. 84. P. 7024—7027.

Генетика

Введение чужеродных генов в геном

рицательной и положительной сверхспирализацией. Стоит РНК-полимераза отсоединиться от ДНК, как положительные и отрицательные сверхвитки взаимно уничтожаются. Как же зарегистрировать в эксперименте сверхспирализацию в молекуле ДНК? И на какой системе можно проверить правильность гипотезы?

Оказалось, что для этого подходит штамм кишечной палочки, содержащий рВ 322 — одну из первых генноинженерных плазмид. Эту плазмиду легко выделить из клетки и определить уровень ее сверхспирализации, а ориентация генов на ней такова, что образование сверхспирализованных доменов в принципе возможно. Возникающая при транскрипции гипотетическая сверхспирализация плазмид «привлекает» к себе топоизомеразы клетки. Выяснилось, что у кишечной палочки гиразы, в отличие от топоизомеразы I, способна ликвидировать положительные сверхвитки. Это позволяет, «выключив» один из этих ферментов, накопить на ДНК сверхспирализацию того знака, за ликвидацию которой этот фермент отвечал. Если, например, «отключить» гиразу, во всех положительно сверхспирализованных доменах, возникших на плазмиде в ходе транскрипции, сверхвитки останутся, а во время как во всех отрицательно сверхспирализованных — исчезнут; в результате после того, как плазмиды будут выделены из клетки и очищены от белков, ДНК окажется в целом положительно сверхспирализованной. Если же методами генной инженерии развернуть гены плазмиды так, что образование сверхспирализованных доменов станет невозможным, описанный эффект исчезнет.

Именно такие эксперименты и проделали Уонг с соавторами², получив результаты, оправдавшие приведенные здесь предположения. Таким образом, сверхспирализация ДНК за счет транскрипции, открывающая возможности тонкой регуляции функционирования ДНК, в значительной степени доказана.

© Ю. М. Сидорова
Москва

² Wong J. C. et al. // Cell. 1988. Vol. 53. P. 433—440.

Трудности проведения генной терапии для лечения каких-либо врожденных аномалий состоят в том, что при замене неполноценного гена на полноценный необходимо ввести последний в нужное место генома больной клетки. Результаты недавних исследований сотрудников Университета в Солк-Лей-Сити (штат Юта, США) под руководством М. Капекчи (М. Capeschi) значительно упростили эту задачу. Найден удобный путь отбора нескольких клеток из миллионов, находящихся в культуре, — тех, в которых в нужном месте генома находится введенный чужеродный ген. Этот метод получил название позитивно-негативного отбора (PNS).

Нужный ген исследователи вводили в клетки эмбрионов мышей, выращенных в культуре. Клетки, взятые у эмбрионов, еще не специализированы к какой-либо деятельности и при обратном введении становятся любой частью эмбрионов. Чужеродный же ген, введенный в геном, может быть передан последующим клеточным поколениям.

В клетки эмбрионов мышей вводили фрагмент гена *int-2*, который активируется при развитии опухолей молочных желез и кодирует белок, сходный с фактором роста клеток. Ген *int-2* тестируется в эмбрионах мышей на 7,5—9,5 день развития и исчезает у взрослых особей. Для исследований функций гена *int-2* в процессе эмбриогенеза американские исследователи применили метод PNS.

К гену *int-2* присоединили два других гена: бактериальный ген *neo*, придающий клеткам устойчивость к антибиотикам неомиконового ряда, и ген, кодирующий фермент тимидинкиназу вируса простого герпеса (HSV-tk). При размножении клеток, содержащих такие «гибридные» гены, получены два типа копий: а) содержащие ген *neo*, ген *int-2* и ген HSV-tk, б) содержащие ген *neo*, ген *int-2*, но не содержащие ген HSV-tk.

Так как эти копии должны

содержать ген устойчивости к антибиотикам неомиконову, то при обработке неомиконом они не погибают; если же обработать копии, содержащие ген HSV-tk, одним из веществ, подавляющих вирус простого герпеса, то происходит гибель клеток со встроенным геном герпеса. В результате были отобраны 4 колонии клеток, содержащих нужный для исследователей ген *int-2*.

Эта процедура позволит получать полноценные копии генов и производить направленное встраивание генов в геном клетки.

Nature. 1988. Vol. 336. № 6197. P. 348—352 (Великобритания).

Медицина

О патогенезе язвенной болезни

Группа австралийских исследователей, возглавляемая Б. Маршаллом (B. J. Marshall) высказала предположение, что причиной возникновения язвенной болезни двенадцатиперстной кишки и желудка является патогенная бактерия *Campylobacter pilori*, которую часто обнаруживают в этих органах у больных. Лечение больных солями висмута в сочетании с антибиотиками приводило к исчезновению бактерии из желудочно-кишечного тракта и в большинстве случаев сопровождалось выздоровлением.

Интересно, что циметидин, применяемый для лечения язвенной болезни, оказался менее эффективным для больных, в желудочно-кишечном тракте которых была найдена эта бактерия. По мнению авторов, до лечения данного заболевания необходимо исследовать микрофлору желудка и кишечника и при обнаружении *C. pilori* прежде всего устранить этот фактор.

The Lancet. 1988. Vol. II. № 8626—8627. P. 1437 (Великобритания).

Медицина

Причина мужского бесплодия

Долгое время основной «виновницей» бесплодности считалась женщина. Результаты работ,

проводящихся под руководством К. Мияке (К. Miyake; Университет Нагойи, Япония), подтверждают современные данные других исследователей о том, что по крайней мере в половине случаев отсутствие желательной беременности обусловлено мужским бесплодием.

В семенниках мужчин присутствуют так называемые клетки Лейдига (КЛ), питающие сперматогенные клетки. КЛ бывают трех типов: зрелые, активно вырабатывающие основной мужской половой гормон — тестостерон; малоактивные; незрелые и репрессирующие, не продуцирующие тестостерон. В семенниках бесплодных мужчин обнаружен избыток КЛ второго типа, что вызвано, очевидно, увеличением содержания лютеинизирующего гормона, вырабатываемого гипофизом и регулирующего образование половых гормонов. У здоровых мужчин преобладают КЛ первого типа.

Факторами риска мужского бесплодия является объем яичка менее 12 мл и отношение концентрации фолликулостимулирующего (вызывающего развитие семенных канальцев в семенниках) и лютеинизирующего гормонов менее 0,99.

Acta Urologica Japonica. 1988. Vol. 34. № 11. P. 1949—1951; 1995—2011 (Япония).

Психология

Сексуальность и особенность мышления

Р. Виллибальд и Х. Франц-Йозеф (R. Willibald, H. Franz-Josef; Дюссельдорфский университет, ФРГ), провели исследования, не подтвердившие одно из положений теории Фрейда, согласно которому подавленное половое влечение, неудовлетворенность половой жизнью и негативное отношение к ней проявляется в повышенной склонности к шуткам и анекдотам на сексуальные темы.

С помощью опросников об отношении к сексу и о сексуальном поведении, а также тестов на понимание юмора на эти темы авторы выяснили, что неудовлетворенность половой жизнью, стыдливость и скованность сопровождаются негатив-

ным отношением к сексуальному юмору (опрошено было 115 студентов). По мнению авторов, результаты, полученные с помощью опросника сексуальной активности, могут быть более надежными показателями для предсказания наличия чувства юмора по сравнению с обычно используемыми показателями консерватизма и ригидности мышления. Кроме того, по индивидуальным показателям половой активности можно судить о ригидности мышления.

Personality and Individual Differences. 1988. Vol. 9. № 6. P. 983—994 (Великобритания).

Биология

Запах хозяина мешает паразиту

Найти хозяина паразитическим насекомым помогают разнообразные химические вещества — продукты его жизнедеятельности. Вещества, имеющие сигнальное значение для представителя другого вида, принято называть кайромонами — в отличие от феромонов, обеспечивающих связь в пределах одного вида. Например, яйцевые паразиты одного из видов клопа — вредной черепашки — реагируют с помощью обоняния как на следы ног и тела хозяина, так и на его половой феромон — ванилин, которым самец привлекает самку. В присутствии кайромонов поиск хозяина активизируется, происходят и физиологические изменения в организме паразитов. Исходя из ряда экспериментов, можно было предположить, что наличие кайромона всегда способствует интенсивности заражения хозяина паразитом — отсюда и практический интерес к кайромонам. Однако М. Сривастава и Р. Сингх (M. Srivastava, R. Singh; Горакхпурский университет, Индия) обнаружили случай прямо противоположного действия кайромона.

Объектом изучения был наездник *Trioxys indicus*, заражавший тлю *Aphis crassivora* (данный наездник — представитель достаточно специализированного семейства Aphididae, связанного только с тлями). В эксперименте листья кормово-

го растения тли-хозяина либо обрабатывали (опыт), либо не обрабатывали (контроль) водным экстрактом тлей, содержащим кайромон. В каждый садок помещали по три листа с посаженными на них тлями числом от 5 до 200, а затем выпускали в садок самку паразита.

В опыте при плотности тлей от 5 до 10 ни одна из самок паразита не нашла хозяина даже за полчаса. В контроле дело обстояло иначе: паразит находил хозяина в среднем за 4 мин. При плотности 25 особей на садок применявшаяся доза кайромона (1 мл экстракта из 200 тлей на три листа кормового растения) уже не препятствовала обнаружению хозяина, но число зараженных паразитом особей все еще было ниже контроля. Зато при высоких плотностях (100—200 особей) кайромон, как и предполагается, ускорял поиск и увеличивал число зараженных тлей.

Зависимость между процентом зараженности и плотностью тлей оказалась сложной; в опыте максимум приходился примерно на плотность в 100 особей, в контроле — на 25. Независимо от плотности хозяина паразит всегда дольше не покидал листья, обработанные кайромоном, хотя при низких плотностях хозяина это не приводило к успеху. Воздействие кайромона имело и более отдаленные последствия: в его присутствии соотношение полов в последующем потомстве сдвигалось в сторону увеличения процента самок.

Итак, заманчивое в практике биологических методов борьбы с вредителями повышение зараженности хозяина благодаря применению кайромона в рассмотренном случае эффективно лишь при большой плотности тлей. Можно предположить, что описанное авторами явление связано с искусственной ситуацией: в естественных условиях при высокой концентрации кайромона просто невозможна низкая численность хозяина. Однако не исключено и другое: малая плотность хозяина на фоне большой концентрации кайромона может свидетельствовать о том, что прежде высокая численность хозяина катастрофически убывает, и в таких

условиях низкая эффективность заражения — своего рода эволюционная мудрость, не позволяющая вовсе истребить хозяина.

Journal of Applied Entomology. 1988. Vol. 106. № 4. P. 408—412 (Япония).



Охрана природы

Лесопосадки в КНР

В 1981 г. в Китае началась массовая кампания за восстановление лесов. В ней должны участвовать все физически здоровые люди в возрасте от 11 до 55 лет, причем каждый обязан посадить не менее трех деревьев. До сих пор КНР считается одной из самых безлесных стран мира: здесь на душу населения приходится лишь 0,13 га леса.

Со времени революции 1949 г. площадь лесопосадок в 10 раз превысила территорию Англии. Однако деревья приживаются плохо: занятая ими площадь составила всего лишь 26 млн га. Фактически в новой кампании приняли участие лишь около 1/3 лиц, на кого она была рассчитана. Тем не менее восстановление лесов продолжается. New Scientist. 1989. Vol. 121. № 1656. P. 29 (Великобритания).

Охрана природы

Древесина — показатель антропогенного загрязнения

Дж. Тендель и К. Вольф (J. Tendel, K. Wolf; Нюрнбергский университет, ФРГ) изучали взаимосвязь между изменениями состояния окружающей среды с начала XX в. до нашего времени и концентраций 17 химических элементов в годовых кольцах 100-летних сосен *Pinus silvestris*, произраставших в разных частях лесного массива, удаленного от основных промышленных центров Центральной Европы.

Оказалось, что концентрации S, K, P, Fe, Cu, Ni росли по мере индустриализации городов. Так, если содержание серы

в годовых кольцах 1893—1904 и 1914—1923 гг. почти не менялось, то в годовых кольцах 1934—1943 гг., соответствовавших периоду роста промышленного производства, оно увеличилось в 1,5 раза. В годовых кольцах, относящихся к периоду послевоенного упадка производства (1953—1964 гг.), концентрация серы была меньше, чем в предшествующее время, однако в последующие 20 лет неуклонно повышалась: в 1974—1983 гг. содержание серы было в 2,5—3 раза больше, чем в начале века.

Удивительно, что содержание в древесине таких элементов, как Ca, Mg, Mn, Zn, Al, Cd, Pb, в этом столетии непрерывно снижалось, хотя они также входят в состав атмосферных загрязнений, которые постоянно росли.

Авторы считают, что это явление связано с увеличением кислотности почвы, однако оговаривают необходимость специального изучения данного феномена.

Experientia. 1988. Vol. 44. P. 975—980 (Швейцария).

Экология

Улитки и окружающая среда

Известно, что концентрация химических элементов в раковинах пресноводных моллюсков отражает содержание этих элементов в воде, однако данные о подобных корреляциях для сухопутных легочных моллюсков отсутствовали. Группа шведских ученых из Университета Лунда и ряда других учреждений методом нейтронно-активационного анализа исследовала содержание 45 элементов в наружных скелетах 3 особей *Arianta arbustorum* и 3 особей *Cerastoderma hortensis*, обитавших в разных частях Швеции, и предлагает использовать этих животных в качестве биоиндикаторов состояния окружающей среды.

Так, ртуть и кадмий выявлены в раковине *A. arbustorum*, найденной на западе Швеции, где выпадают кислотные дожди, однако этих элементов

нет в раковине того же вида из расположенной на востоке Упсалы, где кислотных дождей значительно меньше. Элементы, входящие в состав минеральных удобрений (азот, фосфор, калий), в наибольшей концентрации отмечены у *C. hortensis*, обитавшей в агроценозе. У *A. arbustorum*, подобранной у шоссе, оказалось повышенным содержание брома, источник которого — вероятно, добавки в бензин. Во всех шести раковинах присутствуют нерадиоактивные изотопы цезия и стронция, что говорит о возможности накопления легочными моллюсками и соответствующих радионуклидов. Единственный радиоактивный элемент, обнаруженный в четырех раковинах — это торий.

Таким образом, по химическому составу раковин улиток авторы надеются определять характер антропогенного воздействия (кислотные дожди, ядерные аварии, промышленные выбросы) на биотопы, в которых они обитают.

Возможно, богатые коллекции раковин, четко выраженные в них годовые зоны роста, позволят довольно достоверно восстановить состояние окружающей среды в прошлом.

Ambio. 1988. Vol. 17. № 5. P. 347—349 (Швеция).

Экология

Дождевые черви как биоиндикаторы

Пытаясь выявить организмы-индикаторы сельскохозяйственной деятельности человека, М. Паолетти, Е. Иовани и М. Кортезе (M. G. Paoletti, E. Iovane, M. Cortese; Университет Падуи, Италия) исследовали видовое разнообразие и биомассу почвенной мезофауны пяти наиболее типичных агроценозов Ломбардской низменности: виноградника, сада, луга, полей люцерны и кукурузы. Ведь известно, что по реакциям этих организмов можно однозначно судить о характере воздействий на экосистемы, в которых они обитают.

Установлено, что дождевые черви (сем. Lumbricidae) по сравнению с представителями других основных групп почвенной мезофауны (мокрицами, многоножками-хилоподами, личинками и взрослыми жужелицами) наиболее чувствительны как к агротехническим, так и к агрохимическим мероприятиям. Механическая обработка кукурузного поля и химическая обработка виноградника привели к тому, что средние за год значения биомассы (48,1 и 51,8 г/м²) и численности (7,1 и 9 особей/м²) дождевых червей в этих сообществах были значительно ниже, нежели в почвах сада (196,8 г/м² и 57 особей/м²) и луга (250,6 г/м² и 73,2 особей/м²). Обработка виноградника в весенне-летний период содержащим медь фунгицидом вызывала постепенное повышение ее содержания в почве — до $(12 \pm 6) \cdot 10^{-5}$ к началу ноября и соответствующее уменьшение биомассы (от 20 до 1 г/м²) и численности дождевых червей. По мнению авторов, положительная корреляция между содержанием меди в почве и в особях *Allolobophora caliginosa* и *Lumbricus rubellus* позволяет заключить, что данные виды могут аккумулировать этот элемент.

Из всех изученных групп почвенной мезофауны реакция дождевых червей на внесение в почву меди была наиболее выраженной. Это делает их удобными биоиндикаторами загрязнения среды металлами. *Revue D'écologie et de Biologie du Sol.* 1988. Vol. 25. № 1. P. 33—58 (Франция)



Экология

Энергетика Великобритании и экология

Международные соглашения предусматривают, что к 2003 г. количество двуокиси серы, выбрасываемой в атмосферу тепловыми электростанциями Великобритании, должно быть снижено на 40 % (в 1980 г. все угольные ТЭС страны выбросили в атмосферу 3,03 млн т SO₂, к 2003 г. это количество надо снизить на 1,21 млн т). Центральная комиссия по энер-

гетике запланировала в связи с этим удвоить число установок для очистки от серы газов ТЭС. Предстоит увеличить общую мощность электростанций, оборудованных такими установками, с 6 до 12 тыс. МВт и затратить на их создание 1,2 млрд ф. ст. вместо предполагавшихся 600 млн. Однако и эта сумма занижена, по мнению Инженерного общества Великобритании, изучавшего эту проблему по заказу Министерства по охране окружающей среды: чтобы достигнуть 40 %-ного снижения количества SO₂, необходимо снабдить очистительными установками практически все крупные электростанции страны, работающие на угле, что будет стоить 3 млрд ф. ст.

Эти выводы Инженерного общества основаны и на учете того, что к концу века вступят в строй пять запланированных АЭС, а все новые ТЭС будут снабжены устройствами для удаления серы. Кроме того, предусматривается, что общий рост потребления электроэнергии в стране составит всего 1,5 % в год вместо 1,7 % по прогнозам Центральной комиссии по энергетике (в последние 20 лет рост составлял в среднем 2,1 % в год).

Великобритания обязалась также в ближайшее время сократить выброс в атмосферу окислов азота на 30 % (образуемая ими кислота содействует возникновению смога). ТЭС поставляют 40 % окислов азота. Цель по снижению их выброса может быть достигнута, если все крупные бойлеры страны получат форсунки нового поколения, более эффективно сжигающие топливо. Другой мощный источник окислов азота — автотранспорт — мог бы значительно уменьшить их выброс, если оборудовать автомобили новыми каталитическими конвертерами, но таких планов пока нет.

На одной из ТЭС в графстве Йоркшир уже начат монтаж самой мощной в мире установки для извлечения серы из топочных газов. Руководство энергетической промышленностью Великобритании со всей серьезностью относится к международным обязательствам, взятым в связи с проблемой кислотных дождей, возникающих в

результате массового сжигания ископаемых топлив.

New Scientist. 1988. Vol. 120. №1635. P. 29

(Великобритания).

Геология

Сок березы — индикатор рудных месторождений

Замечено, что в соке берез, растущих на некоторых рудных объектах, содержатся аномально высокие концентрации металлов, соответствующих данному типу руды. Наиболее сильно она поглощает Mn, Zn, K.

Л. В. Замана и Ю. В. Лесников (Читинский институт природных ресурсов СО АН СССР) количественно исследовали березовый сок на содержание фтора с целью определить возможность использования этого биогеохимического метода для поисков флюоритовых рудений. Работа велась на Улунтуйском кварц-флюоритовом месторождении в Восточном Забайкалье и на фоновых участках в сходных ландшафтно-геохимических условиях.

Флюоритовое оруденение представлено здесь крутопадающей кварц-флюоритовой жилой; она залегает на глубине 0,5—2,5 м, имеет мощность от 0,5 до 6,7 м и содержит около 17 % флюорита. При фоновых значениях концентрации фтора в березовом соке 0,2 мг/л над жилой они повышались до 1,46 мг/л. Максимальная концентрация (2,39 мг/л) была установлена в пологом, почти параллельной рудомещающей зоне, где флюоритовое оруденение неизвестно. Наряду с результатами гидрогеохимического анализа (0,4 мг фтора на литр воды) данные по березовому соку позволяют предположить флюоритовую минерализацию и на этом участке.

Новый метод поисков оруденения весьма перспективен благодаря широкому распространению берез, простоте и возможности экспресс-анализа березового сока без его предварительного концентрирования.

Доклады АН СССР. 1989. Т. 306. № 3. С. 700—703.

Океанология

Предвестник завершения Эль-Ниньо

Повторяющееся с периодичностью от 2 до 7 лет аномальное повышение температуры поверхностных вод в экваториальной зоне Тихого океана и у побережий Эквадора и Перу представляет собой наиболее драматичную по своим катастрофическим последствиям океаническую часть глобальных нарушений в системе взаимодействия океана и атмосферы, известных под названием Эль-Ниньо — Южное колебание (El Nino — Southern Oscillation, ENSO). Поскольку ENSO в первую очередь связано с перераспределением тепла в поверхностном слое океана, существенную роль должна здесь играть система течений. В нормальных условиях благодаря восточным пассатам теплые поверхностные воды из восточной экваториальной зоны Тихого океана перемещаются в западную. На востоке на смену им поднимаются глубинные холодные воды. Температурный контраст в океане вызывает контраст температур и давления в атмосфере, что и служит движущей силой пассатов. Система, таким образом, самоподдерживающаяся. Перемещение воды в западную часть океана создает превышение уровня и неизбежно должно компенсироваться потоком противоположного направления. Им является экваториальное подповерхностное (в слое 50—300 м) противотечение (или течение Кромвелла) — одно из самых мощных и устойчивых в Мировом океане. Расход течения Кромвелла (которое полосой до 400 км при средней скорости 0,5 м/с направлено с запада на восток почти точно вдоль экватора) огромен: $20 \cdot 10^6$ м³/с (примерно 70 % расхода Флоридского течения).

До последнего времени роль течения Кромвелла в функционировании ENSO была неясна, хотя и отмечалось временное его исчезновение в центральной и восточной частях Тихого океана в период сильно-

го Эль-Ниньо 1982—1983 гг. Но вот в 1987 г. впервые получены документированные свидетельства нарушения нормального режима этого противотечения.² Сотрудники Тихоокеанской лаборатории по исследованию морской среды Национального управления США по изучению океана и атмосферы (НОАА), проанализировав данные измерений американско-китайской группы специалистов, проводившихся ими с января 1986 г. на заякоренных буях в районе экватора на 165° в. д., установили, что в декабре 1987 г. подповерхностное течение в западной части океана было направлено вспять, на запад, и имело скорость 0,2—0,4 м/с. Специалисты связывают данный факт с началом завершения Эль-Ниньо 1986—1987 гг.

Действительно, переход от нормальной ситуации к Эль-Ниньо начинается с ослабления пассатов. Теплые воды, накопившиеся в западной части океана, устремляются на восток и перекрывают выход на поверхность холодным глубинным водам. Таким образом, в восточной части океана вместо отрицательной формируется положительная температурная аномалия; перепад атмосферного давления между западной и восточной частями океана уменьшается, что, в свою очередь, дополнительно ослабляет пассаты. Понижение уровня на западе Тихого океана ослабляет течение Кромвелла, однако по инерции оно какое-то время еще движется на восток. По мере накопления теплых вод в восточной части океана, здесь создаются условия для развития компенсационного подповерхностного течения уже западного направления, что и было зарегистрировано сотрудниками НОАА. Поскольку это течение переносит с востока более теплые воды, оно способствует восстановле-

нию положительной аномалии в западной части океана и возвращению к нормальному состоянию системы океан—атмосфера. В этом плане изменение направления течения Кромвелла можно рассматривать как толчок к окончанию Эль-Ниньо.

Полученные результаты, несомненно, интересны в связи с новыми взглядами на механизм функционирования такого глобального климатического феномена, как ENSO.

© А. С. Казьмин,
кандидат географических наук
Москва

Палеонтология

Яйца, эмбрионы и детеныши гипакрозавра

1988 год был рекордным по количеству найденных остатков ископаемых ящеров, особенно богатыми в этом отношении оказались южные районы канадской провинции Альберта: здесь только в урочище Девилс-Кули экспедиция Тирелловского палеонтологического музея, (Драмхеллер, Альберта) обнаружила несколько гнезд гипакрозавров (*Hypacrosaurus*, семейство утконосых динозавров), причем в одном из них лежало 21 яйцо¹. Результаты изучения этой находки были изложены Ф. Дж. Карри (Rh. J. Currie; Тирелловский музей) на конференции Американского общества палеонтологии позвоночных в Драмхеллере.

Уникальность находки в том, что рядом обнаружены остатки двух эмбрионов (очевидно, выброшенных при наводнении из разбитых яиц) и нескольких уже вылупившихся, более развитых детенышей. Возраст находок близок к 70 млн лет, т. е. относится к концу позднемелового периода. Распространенные тогда гипакрозавры перед-

¹ Lukas R., Firing E. // The Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter. 1983. № 16. (Special Issue: 1982 Equatorial Pacific Warm Event).

² McPhaden M. // Eos. Trans. Amer. Geophys. Union. 1988. Vol. 69. № 47. P. 1598; Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1988. Vol. 69. № 12. P. 1474—1475.

¹ См. также: Международный проект «Динозавр» // Природа. 1988. № 5. С. 116; Птицы все-таки произошли от динозавров? // Там же. № 6. С. 120; Найдено «гнездо» динозавров // Там же. № 9. С. 116.

вигались в почти вертикальном положении, опираясь преимущественно на задние ноги. Длина взрослого животного достигала 10 м, а развитый эмбрион из 20-сантиметрового яйца имел в распрямленном виде примерно 50 см. Голову взрослого ящера украшал костный пустотелый гребень.

Известно, что у большинства позвоночных детеныш появляется на свет с непропорционально большой головой, остальные же части тела вполне соразмерны. У зародыша гипакрозавра голова тоже непропорционально велика, но и все конечности «излишне» длинные.

В изучении находки участвовал палеонтолог Дж. Р. Хорнер (J. R. Horner; Музей Скалистых гор, Бозмен, штат Монтана, США), который ранее обнаружил «гнездовья» гадрозавров в нескольких пунктах на территории штата Монтана². Он заключил, что некоторые виды ископаемых ящеров длительное время кормили и растили своих детенышей, как и птицы, в гнезде. Раньше динозавры считались «плохими родителями».

У эмбрионов некоторые зубы, по-видимому, были истерты еще до вылупления из яйца. Тем самым ставится под сомнение метод различения эмбриона и «птенеца» по состоянию зубов.

Science News. 1988. Vol. 134. № 17. P. 261 (США).

Археология

Сюннуский могильник в Нинся

Сюнну (хунну) относят к этносам, оказавшим заметное влияние на историю Евразии¹. Центр их первоначального формирования находился, очевидно, на территории Северного Китая и Южной Монголии. По мнению ряда исследователей, протосюннуские племена появились там уже в XII—XI вв. до н. э., но процесс их этногенеза пока мало изучен. Известно, что наивыс-

шего могущества сюнну достигают во II в. до н. э. Под их контроль попадает не только значительная часть северных территорий Китая, но и вся Монголия, Тува, Алтай, Хакаско-Минусинская котловина. Именно сюнну создают первую кочевую державу в Центральной Азии. Их военно-политическая деятельность оказала большое воздействие на формирование последующих государств тюркских и монгольских народов. Впоследствии начинается распад державы сюнну. Частично они признали вассальную зависимость от Китая, частично были ассимилированы другими племенами (например, монголо-язычными сяньбэйдцами), а оставшиеся сюнну были вытеснены из Центральной Азии в ее западные районы. Это дало толчок для продвижения на запад ряда кочевых племен, которые в IV в. н. э. вышли к рубежам Римской империи. Их собирательное название — гунны — происходит от этнонима сюнну, хотя по своему культурному облику эти племенные объединения кардинально различаются.

К настоящему времени открыто и исследовано несколько крупных городищ и могильников сюнну на территории Забайкалья, Монголии и Внутренней Монголии в Китае. И каждый новый памятник добавляет к исторической и культурной характеристике этого народа немало не известных ранее черт.

К числу последних наиболее крупных открытий относятся раскопки китайских археологов неподалеку от дер. Даодуньцзы (уезд Тунсинь, Нинся-Хуэйский автономный район). Всего раскопано 27 древних могил. Все они грунтовые, но сильно различаются по размерам: 20 из них — в форме прямоугольной ямы, 6 — катакомбного типа и одна — с каменной обкладкой по периметру. Погребения одиночные; положение покойника ориентировано на север, вытянутое, на спине, конечности прямые, ноги несколько выше головы. В большинстве захоронений взрослых — остатки деревянного гроба, нередко вырыта ниша для керамики или лаковых изделий. У многих могил есть коридоры-дромосы, в которых найдены черепа и копыта круп-

ного рогатого скота и баранов. Это характерная черта сюннуских захоронений, связная с особенностями их заупокойного культа.

Всего найдено свыше 1500 предметов, правда, в их числе много монет и бусин. Все бронзовые монеты — одного достоинства, отливались в период правления династии Западная Хань (конец III — конец I вв. до н. э.). Наличие в одном наборе монет различных типов указывает, что они накапливались в течение долгого времени. Поэтому могильник датируется второй половиной Западной Хань; это же подтверждается аналогиями по керамике и некоторым бронзовым украшениям. К наиболее ярким находкам относятся бронзовые ажурные пряжки, обнаруженные на сюннуских памятниках не только Северного Китая, но и Монголии и Забайкалья. Помимо уже известных типов, выявлены новые варианты с изображениями лежащего верблюда, борьбы черепахи и змеи, стоящих воинов-меченосцев.

Авторы опубликованного отчета об этих раскопках У Эн, Чжун Кань и Ли Цзиньцзэн² подчеркивают отличие погребального инвентаря и обряда от сяньбэйских памятников и считают могильник Даодуньцзы остатками сюннуских племен, принявших покровительство западноханьских императоров. В древности там был образован уезд Сяньшуй, управлявшийся специальным генерал-губернатором вассальных государств. Хотя сведения об этом и содержатся в летописи «Хань шу», однако археологическое подтверждение их достоверности — остатки сюннуской культуры — обнаружены на территории Нинся впервые.

Новые материалы помогают изучать важную проблему взаимодействия и взаимовлияния таких диаметрально противоположных культур, какими были кочевая сюннуская и земледельческая ханьская культура.

© С. А. Комиссаров,
кандидат исторических наук
Новосибирск

¹ См.: Миняев С. С. Исчезнувшие народы. Сюнну // Природа. 1986. № 4. С. 42—53.

² Каогу сюэбао («Археологический вестник», на кит. яз.). 1988. № 3. С. 333—356.

Что читать о землетрясениях?

В. Н. Шолло,

доктор геолого-минералогических наук
Москва

КАК ПОКАЗЫВАЕТ мировая статистика, ежегодно происходит в среднем около 100 землетрясений с магнитудой 6 и выше, т. е. примерно одно разрушительное землетрясение каждые три дня, и около 20 землетрясений с магнитудой 7 и выше, т. е. одно сильнейшее землетрясение каждые три недели. Вести о подобных событиях всегда вызывают всплеск интереса к теоретическим вопросам сейсмологии, в первую очередь к проблеме прогноза, особенно прогноза времени.

Естественно, что буквально не было газеты и журнала, программы радио и телевидения, которые не откликнулись бы на такую страшную и жестокую трагедию, как Спитакское землетрясение. И несмотря на то, что ведущие наши ученые-сейсмологи в первые же дни после катастрофы ясно и недвусмысленно заявили, что современной науке о землетрясениях прогноз времени грядущего события — надежный и достоверный — сейчас недоступен, каких только ни пришлось читать и слышать невероятных идей и предсказаний! Газеты пропагандировали так называемые прогнозы времени киевского физика Э. И. Несмеяновича, ленинградская телепрограмма «Пятое колесо» с той же целью предоставила экран астрофизику Ю. П. Петрову.

В те остро переживаемые трагические дни доморощенные предсказания усиливали волнение людей, содержащее к тому же скрытый или явный упрек профессиональной науке, которая якобы ничего не может. Не может оградить людей от бедствий.

И тут становится ясно, как важно, чтобы самая широкая аудитория по-настоящему знала, что может и чего не может наука, в частности наука о землетрясениях.

С далеких довоенных детских лет запомнилась мне прекрасная книга Д. Л. Арманды «Грозные силы». Хорошо иллюстрированная, она рассказывала об извержениях вулканов, наводнениях, торнадо, самумах и, конечно, о землетрясениях. Книга выдержала три издания. Рассчитанная на детей, она могла служить превосходным источником информации и для взрослых.

Но за прошедшие сорок с лишним лет наука о Земле продвинулась очень значительно. И сейсмология, может быть, больше, чем другие разделы. Ужасные последствия каждого катастрофического события заставляли усиливать именно сейсмологические исследования, финансировать в первую очередь те работы, которые направлены на прогноз землетрясений. В каких книгах можно прочитать о том, чего достигла сегодня сейсмология?

Только в 80-е годы центральными и местными издательствами был выпущен целый ряд переводных и оригинальных книг, специально посвященных изучению землетрясений. Например: Дж. А. Эйби. Землетрясения. М.: Недра, 1982; Б. Болт. Землетрясения. Общедоступный очерк. М.: Мир, 1981; А. А. Никонов. Землетрясения... Прошлое, современность, прогноз. М.: Знание, 1984; А. В. Друмя, Н. В. Шибалин. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинев: Штиинца, 1985; Дж. Гир, Х. Шах. Зрябкая твердь. Что такое землетрясение и как к нему подготовиться. М.: Мир, 1988.

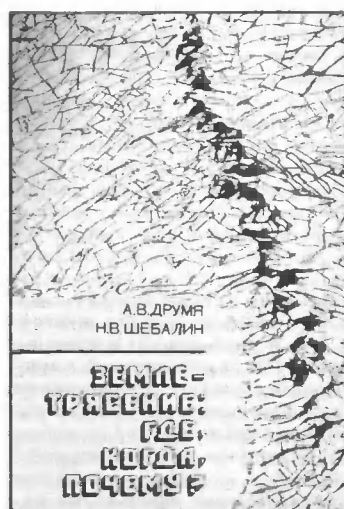
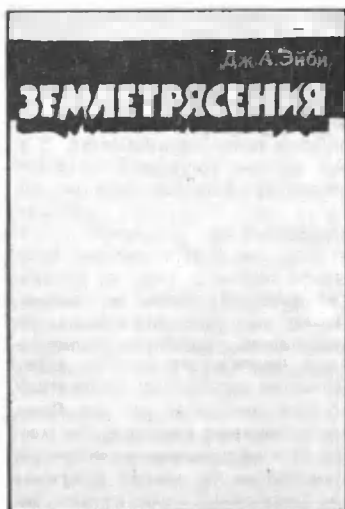
Эти книги и другие, где землетрясениям посвящены от-

дельные главы, вовсе не залеживаются на полках магазинов. Но при нашей тиражной политике мы и понятия не имеем, удовлетворен спрос на литературу по этой проблеме или нет. Лишь непостижимая тяга средств массовой информации к антинаучным идеям по поводу прогноза землетрясений позволяет заключить, что мы не только далеки от насыщения спроса, но просто держим наше общество в дремучем неведении о том, что такое землетрясения, почему и как они происходят.

Авторы названных книг — профессионалы высокой квалификации, преимущественно сейсмологи, находящиеся на острие современных проблем. Это для популяризации важно всегда, но особенно важно в такой сложной, неоднозначной, развивающейся области, как сейсмология. Активное участие в современных исследованиях позволяет авторам-специалистам показать не только достигнутое наукой, но и всю противоречивость нерешенных проблем, в первую очередь объяснить, как обстоит дело с прогнозом землетрясений.

Книги, посвященные одной теме и даже порой совпадающие по названию, не могут в чем-то не пересекаться, но в то же время они мало повторяют одна другую, дополняют и углубляют общее понимание проблемы. Естественно, каждый из авторов говорит о том, что такое землетрясение, как возникают сейсмические волны, как их регистрируют и интерпретируют, каковы соотношения между условной энергией (магнитудой) и интенсивностью землетрясений. Это тот минимальный сейсмологический ликбез, без которого невозможно понимание теоретических и экспериментальных задач.

Наиболее последователь-



тации и, наконец, к практическим рекомендациям, как и что следует делать в сейсмически опасных районах. Книга Дж. Эйби и родилась, как говорит он сам, из заметок, составленных в ответ на вопросы сотрудников сейсмических станций Новой Зеландии. Автор рассказывает о тектонике литосферных плит, связывая с этой концепцией проявления сейсмичности, и объясняет суть дилатантно-диффузионной модели подготовки и возникновения очага землетрясения, не приводя других альтернативных или дополняющих моделей.

Практические меры по уменьшению ущерба от разрушительных землетрясений изложены Болтом и Эйби, естественно, применительно к условиям своих стран, но могут в значительной степени быть использованы и в нашей стране. Так, ими подробно рассматривается система страхования в сейсмоопасных районах, широко распространенная на Западе и не принятая у нас. Этот опыт, несомненно, был бы очень полезен и мог бы способствовать улучшению качества нашего строительства в сейсмоопасных районах.

Книга А. В. Друмя и Н. В. Шебалина более широко и обстоятельно рассматривает самые разные физические подходы к пониманию того, что такое очаг землетрясения и какие процессы в нем происходят. Помимо дилатантно-диф-



фузионной модели, основанной на представлениях об увеличении объема вещества в зоне будущего очага землетрясения, они описывают и модель лавинно-неустойчивого трещинообразования, разработанную советскими геофизиками. Оказывается, что физические модели очага землетрясений, разрабатываемые различными школами сейсмологов, вовсе не альтернативны, а скорее дополняют друг друга, отражая разные стороны того сложного, как мы теперь знаем, физико-механического процесса, которым является подготовка и развитие очага крупного землетрясения.

но классические основы сейсмологии представлены в книгах американского геофизика Б. Болта и сейсмолога из Новой Зеландии Дж. Эйби. При этом у Болта изложение сопровождается наглядными иллюстрациями типов сейсмических колебаний, путей прохождения сейсмических волн, что сильно содействует ясному пониманию, как и из чего возникает основная научная информация о физике процесса землетрясения.

Вообще надо сказать, что обе только что упомянутые книги написаны обстоятельно, хотя и несколько сухоовато, ведут читателя от наблюдаемых фактов к их оценке и интерпре-

Друмя и Шебалин приводят и обсуждают совсем новые, нетрадиционные исследования свойств вещества Земли, связанные с именем академика М. А. Садовского и заключающиеся в том, что в широчайшем диапазоне — от зерен минералов до континентов и океанов — вещество построено дискретно-иерархически. И эта особенность, на профессиональном жаргоне называемая «кусковатостью», неминуемо должна сказываться на всех особенностях эволюции Земли, в том числе и на проявлениях сейсмичности, ее пространственно-временном распределении.

Объяснить с исчерпывающей ясностью, что же такое очаг землетрясения, не удастся, пожалуй, никому из авторов, хотя все они стремятся к этому. Дело, очевидно, в сложности и противоречивости самого объекта, которая приводит и к неоднозначности представлений о нем. Но вот Друмя и Шебалин находят удивительно емкий и ясный образ очага, вещественную модель, запечатленную в куске обсидиана с характерным для него изломом на сколе, напоминающим раковину. Пожалуй, более наглядно представить очаг землетрясения трудно.

Книгу отличает присутствие такой не повторяющейся у других авторов темы, как сейсмическое районирование. Подробно рассказано об общем и детальном районировании, а также микрорайонировании — специальной отрасли инженерной сейсмологии, которая изучает влияние качества грунта на сейсмический эффект. Авторы показывают, что в каждом случае сейсмическое районирование — комплексная исследовательская задача.

В книге Дж. Гира и Х. Шаха, американских специалистов по сейсмостойкому проектированию и строительству, существенно новым для наших читателей стал рассказ о землетрясениях, спровоцированных деятельностью человека в районах крупного строительства или интенсивной добычи полезных ископаемых. Последние главы могут служить готовой инструкцией по обучению населения и заблаговременной подготовке

предупредительных и спасательных мероприятий в случае опасности разрушительных последствий.

Особенный, отличный угол зрения на проблемы сейсмической опасности содержится в книге А. А. Никонова. Много сил и времени автор-геолог потратил на поиски данных о землетрясениях далекого прошлого. Эти страницы читаются как приключенческая повесть. Одна глава так и названа — «Кавказский сейсмоисторический детектив». Однако письменные и археологические свидетельства, которые приходится добывать тяжким трудом, весьма противоречивы. И нужно сказать, что при всей своей увлеченности автор внимательно относится к доводам оппонентов и намерен продолжать поиски и оттачивать аргументы.

Оценка истинной интенсивности землетрясений исторического прошлого, подчеркивает Никонов, — необходимая стадия исследования сейсмической опасности регионов, в частности тех, где сейсмические события редки и слабы. Это приобретает особое значение, когда поднимается вопрос о размещении АЭС или других ответственных крупных сооружений. Листая книгу Е. П. Борисенкова и В. М. Пасецкого «Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы» (М., 1988), с удивлением узнаешь, что землетрясения неоднократно бывали в Новгороде, Вологде, Перми и Нижнем Тагиле, на Урале, Колском п-ове и в Карелии, т. е. во всех тех местах, которые мы считаем сейсмически безопасными. Конечно, по отрывочным записям невозможно представить себе силу происходивших толчков, их распространение. Необходимы целенаправленные исследования.

Самое интересное и важное для читателя — что говорят авторы всех этих книг по поводу прогноза землетрясений. Ученые единодушны: в настоящее время полный прогноз, т. е. предсказание места, силы и времени будущего толчка, на научной основе сделать невозможно. Правда, в Китае в 1975 г. было заблаговременно предсказано Хайченское землетрясение на Ляодунском п-ове. Но нельзя считать это событие перелом-

ным в проблеме прогноза времени. Зная о геофизических предвестниках готовящегося события, власти решились на оповещение населения только после того, когда на снег выползли змеи (землетрясение произошло в феврале). А катастрофическое Таншаньское землетрясение, случившееся на следующий год, предсказать не удалось, и последствия его были ужасны. Болт считает, что прогноз землетрясений всегда останется вероятностным. Друмя и Шебалин подчеркивают, что полного прогноза, как однократного решения проблемы, добиться вообще невозможно. Прогноз землетрясений для каждого конкретного случая останется процессом, подчеркивают они, процессом, развивающимся от долгосрочного прогноза к среднесрочному, краткосрочному и, наконец, оперативному. Это идеальная схема.

Поэтому из двух путей, которые могут ослабить ущерб от землетрясения, т. е. из предсказания и предохранения, правильнее, вероятно, предпочесть второй. Но необходимо использовать при этом элементы прогноза, т. е. предсказания места и силы ожидаемых толчков. А это по сути и есть сейсмическое районирование. На основе данных сейсмического районирования должны разрабатываться заблаговременно все предохранительные мероприятия: планирование, проектирование и строительство, обучение населения правильному поведению в момент землетрясения и после него и целый ряд других мер, которые предлагаются и обсуждаются в тех книжках, о которых мы говорим.

Имей журналисты и редакторы под рукой хотя бы одну из этих книг, большинство распространяющихся сейчас антинаучных домыслов не получило бы доступа к широкой аудитории. Но, увы, тиражи научно-популярных книг о землетрясениях, как правило, невелики, и их давно нет в продаже нигде, в том числе и в сейсмоопасных зонах, где проживает примерно половина населения нашей страны.

Итоги читательской анкеты

На «Анкету читателя», опубликованную в № 8 1988 г., пришло 452 ответа — примерно от 0,8 % читателей. Редакция вправе считать, что именно ответившие на все вопросы — самые заинтересованные наши читатели, к мнению которых стоит прислушаться. Полученная информация ценна для нас и достоверна статистически.

КТО ЭТИ САМЫЕ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫЕ?

Распределение по возрастам: до 20 лет — 12 %, 20—30 лет — 17 %, 30—40 лет — 21 %, 40—50 лет — 20,4 %, 50—60 лет — 17,3 %, 60—70 лет — 8,2 %, 70—80 лет — 2,6 %, свыше 80 лет — 1,7 %.

Средний возраст нашего «активного читателя» — 40,2 года. Это, на наш взгляд, величина не случайная — именно на эти годы приходится у человека творческая зрелость.

Распределение по образованию: высшее — 67,8 %, незаконченное высшее — 4,4 %, среднее — 13,5 %, школьники и учащиеся ПТУ — 7,1 %, студенты — 6,2 %. Среди приславших ответы 24 доктора наук (5,3 %) и 96 кандидатов (21,3 %).

Распределение по роду деятельности: учащиеся — 13,3 %, рабочие — 10,9 %, работники сельского хозяйства — 1,6 %, работники инженерно-технических профессий — 14,4 %, преподаватели вузов — 9,1 %, школьные учителя — 3,5 %. (Два последних значения несколько огорчают: казалось бы, именно преподавателям наш журнал должен быть особенно полезен, помогая узнавать новейшие и достоверные новости науки, получать представление о современном состоянии самых важных и острых проблем естествознания, наконец, просто ориентироваться в мире науки.) Среди ответивших 1,3 % математиков, 8,2 % физиков, 2,2 % химиков, 8,6 % биологов, 7,5 % геологов, 1,3 % географов, 4,4 % медиков, 0,7 % экономистов, 2,2 % представились просто «научными работниками». Читают нас и художни-

ки — 0,9 %, журналисты — 0,2 %, писатели — 0,4 %, историки — 0,2 %, военнослужащие — 0,4 %.

Большинство «активных читателей» (82,7 %) выписывает журнал. Это и неудивительно, тем более что 36,8 % читают «Природу» свыше 10 лет, а многие и более 20. Покупают «Природу» в киосках — 15,5 % читают в библиотеках — 0,7 %. Очень отрадно, что у журнала появляются и новые друзья: 27,5 % читают «Природу» в течение 1—2 лет и почти все из них намерены подписаться на нее в будущем. На протяжении 3—5 лет нашими подписчиками являются 18,6 %, 6—10 лет — 16 %.

Среди ответов на вопрос о способе знакомства с журналом встречаются частые замечания в адрес «Союзпечати». Мы согласны с читателями: не всегда «Природу» можно купить в киоске, особенно быстро расходуется журнал в университетских центрах и академгородках. Но угадать все капризы розничной продажи — дело сложное, поэтому наши «активные читатели» со стажем 10 лет и более предпочитают выписывать журнал. Показательна и ситуация с подпиской на будущий год — 88,2 % читателей ответили, что намерены выписать журнал, 5,1 % — нет, 6,2 % еще не приняли решения.

ЧТО ИЩЕТ В ЖУРНАЛЕ НАШ «АКТИВНЫЙ ЧИТАТЕЛЬ»?

11,3 % ответивших читают регулярно все разделы. Самый популярный, сохраняющий это лидерство уже несколько лет, — «Новости науки», его отметили 79,6 % читателей. За ним идут: «Астрономия. Космические исследования» — 60,8 %, «Биология» — 55,4 %, «Философия и история естествознания» — 54,1 %, «Экология» — 53,9 %, «Рецензии» — 52,2 %, «Физика. Ядерная физика» — 46,3 %, «Археология» — 45,2 %, «Встречи с забытым» — 44,3 %, «Геология. Геофизика» — 36,6 %, «Океанология» — 32,4 %, «Химия» — 24,6 %.

Наиболее популярные статьи 1987—1988 гг.:

1. Тори К. С. Путешествие среди черных дыр. (1988, № 8).
2. Зельдович Я. Б. Возможно ли образование Вселенной «из ничего»? (88,4).
3. Новиков И. Д. Как взорвалась Вселенная? (88,1).
4. Маалеев Е. В. Гибель этрусков (88,8).
5. Гинзбург В. Л. Высокотемпературная сверхпроводимость (87,7).
6. Фейнман Р. Мистер Фейнман едет в Вашингтон (87,7).
7. Логунов А. А. Релятивистская теория гравитации (87,1).
8. Манин Ю. И. «Это — любовь» (рецензия на книгу К. К. Парк «Осада. Первые восемь лет жизни аутичного ребенка...») (87,4).
9. Чернин А. Д. Вселенная Фридмана (88,5).
10. Арнольд В. И. Трехсотлетие математического естествознания и небесной механики (87,8).
11. Номер, посвященный В. И. Вернадскому (88,2).
12. Резанов И. А. Атлантида как объект научного исследования (88,6).
13. Номер, посвященный Н. И. Вавилову (87,10).
14. Дела томатные (А. Е. Гайсинович, Ю. Я. Керкис) (88,5).
15. Лем С. Принцип разрушения как творческий принцип (87,9).
16. Трифонов В. Г., Эль-Хамр Ю. Библийская легенда глазами геологов (88,8).
17. Жданов В. М. Эволюция вирусов (88,5).
18. Скворцов А. К. Логика и аналогии в теории эволюции (88,3).
19. Фейнберг Е. Л. Как важно иногда быть консервативным (88,6).
20. Чернин А. Д. Физическая концепция времени от Ньютона до наших дней (87,8).
21. Кульберг А. Я. Новый этап в изучении СПИДа (88,5).
22. Каспий: прошлое, настоящее, будущее... (87,3).
23. Кутырев В. А. Универсальный эволюционизм или коэволюция? (88,8).
24. Флоренский К. П. Биосфера глазами натуралиста (88,2).

25. К 1000-летию крещения Руси (88,7).

26. Белянова Л. П. Многоликая жемчужина Крыма (88,8).

27. Соколов Е. А. К западке Бермудского треугольника (88,5).

28. Левский Л. К. Изотопная космогония (88,8).

29. Вольфсон С. А., Ениколопов Н. С. Размышления о пользе и вреде химии (88,7).

30. Спивак Д. Л. Язык при измененных состояниях сознания (88,5).

На вопрос, насколько понятны материалы, публикуемые в журнале, 63,9 % ответили, что им понятны почти все статьи. Но для 1,6 % многое непонятно, хотя отрадно, что количество таких ответов сократилось по сравнению с анкетой 1986 г. Хотелось бы надеяться, что журнал не отсечивает таким образом читателей, а помогает им в самообразовании. Рассказывать о проблемах современной науки, не всегда доступных неспециалистам, и не сбиваться при этом на вулгаризацию ради популярности — задача нелегкая.

48,1 % читателей считают содержание журнала достаточно сбалансированным, разнообразным и интересным. «Хотелось бы большего» написали 28,2 % — как правило, это пожелания типа «не увлекаться геологией и давать больше биологии» или «поменьше зверюшек и больше философии». Конечно, учесть все пожелания невозможно, но мы стремимся к тому, чтобы большинство статей в каждом номере были понятны как можно большему числу наших — очень разных — читателей.

Оценивая актуальность и достоверность наших публикаций, 47,9 % полагают, что материалы по актуальным проблемам науки «Природа» публикует достаточно, 48,2 % — недостаточно. Принимая мнение второй группы как руководство к действию, мы будем пытаться по возможности оперативно и обстоятельно информировать читателей о делах на самом «переднем крае» естествознания у нас в стране и за рубежом. Сложнее ответить тем 41 % читателей, которые безоговорочно требуют преобладания

дискуссионных материалов над общепризнанными результатами.

«Природа и впредь будет предоставлять свои страницы для серьезных споров ведущих ученых по разным отраслям науки, но постарается не сбиваться на дешевую сенсационность, имеющую мало общего с научной дискуссией.

ЧТО ХОТЕЛИ БЫ «АКТИВНЫЕ ЧИТАТЕЛИ» ПРОЧИТАТЬ НА НАШИХ СТРАНИЦАХ В БУДУЩЕМ?

Большинство ответивших написали, что их интересует все связанное с исследованием космического пространства, астрономией, планетологией и т. п. Далее идут философия, экология, вычислительная техника, проблемы кибернетики и информатики, математика, история науки, квантовая физика, организация и методология науки, психология, биология, составление сейсмических и иных прогнозов, медицина, релятивистская теория гравитации и т. д. Немало предложений больше отражать развитие науки за рубежом, сообщать о наиболее значительных конференциях, симпозиумах, встречах. Многих интересуют такие «нестандартные» направления, как гелиобиология, парапсихология, альтернативные теории эволюции и т. д. Попробуем учесть и эти пожелания, стараясь только не терять своего лица и не подменять другие издания.

ЧТО НЕ УСТРАИВАЕТ «АКТИВНОГО ЧИТАТЕЛЯ»?

Основной упрек в наш адрес повторяется из года в год: низкое качество полиграфического исполнения. Это требование — «улучшить полиграфию» — уверенно лидирует среди ответов на вопрос о путях совершенствования журнала. Увы, далеко не все здесь зависит от редакции. Особенно много бед с цветной печатью — а ведь подавляющее большинство наших читателей призывают нас давать больше цветных фотографий и вообще цветного оформления. Есть еще группа пожеланий, выполнить которые тоже не представляется возможным, — к нашему величайшему сожалению, ибо речь идет о самых преданных и заинтересованных

читателях, — тех, кто составляет тематические подшивки из наших материалов, чтобы использовать их много лет. При нынешних трудностях с бумагой мы не можем позволить себе увеличить у журнала поля, начинать каждую статью с разворота и создать иные удобства для подшивки. Но мы будем, как и прежде, выпустать тематические сборники из материалов, опубликованных в «Природе», и надеемся, что они смогут частично заменить трудоемкие самодельные подшивки.

Ряд предложений связан с повышением доступности журнала: от призыва «писать более человеческим языком» до неоднократно встречающейся просьбы «давать к каждой статье словарь терминов». Редакция старается следить за употреблением специальной терминологии в статьях и за ее разъяснением (скажем, при отсутствии значений терминов в доступных справочных изданиях).

Мы отметили для себя немало: приводить по возможности списки рекомендуемой литературы; чаще привлекать к работе иностранных авторов; больше заниматься пропагандой журнала; лучше следить за опечатками. Часто повторяется просьба — печатать обзоры научной информации, в том числе зарубежной, и ради этого увеличить объем журнала. Предлагают печатать статьи с продолжением, ввести страничку юмора, давать больше сведений об авторах — перечислить все предложения невозможно. Учесть же многое постараемся.

Уважаемые читатели! Редакция старейшего в стране научно-популярного журнала благодарит всех, кто прислал анкеты с ответами, всех наших заинтересованных и неравнодушных корреспондентов. В 16,6 % анкет повторяется просьба: «опубликуйте результаты» — мы с удовольствием ее выполняем. Для нас очень важен такой диалог, ваш непосредственный отклик. Ждем ваших новых писем. Мы надеемся и дальше быть полезными вам, наши читатели, старые и новые, скептические и восторженные, очень разные, но похожие в главном — в стремлении к знанию.

Тематический указатель журнала „Природа“ 1989 года

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Антропный принцип: история и современность. Казютинский В. В., Балашов Ю. В.	1	23
Астрономия в семье наук. Гурштейн А. А. Вернуть доверие космическим программам. Сагдеев Р.-З. (Публикация Морозовой Н. Д.)	11	48
В. М. Гольдшмидт — основоположник геохимии и кристаллохимии	6	3
Знаменитый незнакомец. Хисина Н. Р.	10	85
Правила Гольдшмидта. Ярошевский А. А.	10	85
Возвращается Г. А. Гамов. Френкель В. Я., Чернин А. Д.	10	93
Вредительство... в деле изучения солнечного затмения. Успенская Н. В.	9	82
Выбор направлений в фундаментальных исследованиях. Кутепов А. М., Кузнецов В. И.	8	86
Золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1988 год.— С. Л. Соболеву и Ж. Лерэ. Олейник О. А.	1	16
Извлечь уроки из трагедии. Вступительное слово. Лавров Н. П.	7	106
Итоги читательской анкеты	12	3
К новой парадигме сейсмологии. Страхов В. Н.	12	116
Корифей. Воспоминания о Д. С. Коржинском. Перчук Л. Л.	12	4
Лауреаты Нобелевской премии 1988 года По физике — Л. Ледерман, М. Шварц, Дж. Штейнбергер. Герштейн С. С.	8	102
По химии — Й. Дайзенхофер, Р. Хубер и Х. Михель. Абдулаев Н. Г., Золотарев А. С.	1	98
По медицине — Дж. Блэк, Г. Илайон, Дж. Хитчингс. Харкевич Д. А., Галегов Г. А., Краевский А. А.	1	101
Лев Васильевич Шубников. Веркин Б. И., Гредескул С. А., Пастур Л. А., Фрейман Ю. А., Храмов Ю. А.	1	104
200 лет спустя: наука в революционном обществе	1	89
Французская революция и история науки. Редонди П. (Пер. с фр. Дегтярева А. В.)	7	81
Французская революция и развитие математики в России. Юшкевич А. П.	7	82
Научное познание и ценности. Мамчур Е. А.	7	91
Неизвестные страницы из жизни Н. И. Вавилова. Керкис Ю. Я.	8	26
Не становиться в позу младшего партнера! (Интервью с Р. З. Сагдеевым.)	3	97
	1	33

Нильс Бор в ФИАНе. Фейнберг Е. Л.	10	123
Н. Н. Семенов и химия XX века. Шмидт А. Е. (Вступительное слово. Гольдманский В. И.)	7	72
Нужна действенная система защиты. Цыганков С. С.	12	99
Нужна полная экологическая гласность! (Беседа с председателем Государственного комитета СССР по охране природы Н. Н. Воронцовым. Публикация Успенской Н. В.)	11	3
«Отрыжка» клеточной теории. Гайсневич А. Е., Музрукова Е. Б.	11	92
«Природа» — «Nature»	6	61
Проблема духовного и основного вопрос философии. Сачков Ю. В.	6	7
Слово в защиту фундаментальной науки. Таусон Л. В.	9	3
Спитакская трагедия глазами фоторепортера	12	58
Стандарты, развитие и научные школы. Жданов Г. Б.	10	79
Судьба Географического музея Любимое детище В. П. Семенова-Тянь-Шанского. Полян П. М.	3	83
Нужны ли географические музеи в III тысячелетии? Ефремов Ю. К.	3	91
У истоков ВИМСа. Здорик Т. Б., Фельдман Л. Г.	4	91
У истоков идеологизированной науки. Ахундов М. Д., Баженов Л. Б.	2	90
Универсальный эволюционизм и козволюция. Моисеев Н. И.	4	3
Федеральные лаборатории — источник коммерческой технологии*	4	106
Фундаментальная наука и научно-технический прогресс. Матинян С. Г.	8	3
Химическая революция Лавуазье. Кузнецов В. И.	9	20
Человек в «постчеловеческом» мире: проблема выживания. Кутырев В. А.	5	3
«Я глубоко убежден, что я прав...» Н. К. Колцов и лысенковщина. Гайсневич А. Е., Россиянов К. О.	5	86;
	6	95

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Будет ли очередной солнечный максимум рекордным?*	6	106
В странном мире Нептуна*	3	105
Вихри на Солнце*	5	107
Возобновлены полеты шаттлов*. Никитин С. А.	1	107
Второй пилотируемый советско-французский полет*	5	105
Гигантские молекулярные облака. Сурдин В. Г., Рудницкий Г. М.	8	42

* Опубликовано в разделе «Новости науки».

Гипотеза космического «снежка» отвергается*	4	106	Сеть регистрации радиоактивных осадков*	5	110
Горячие точки космологии. (Публикация Морозовой Н. Д.)	7	3	Сихотэ-Алинский метеорит. Цветков В. И.	8	78
Двуокиси серы против парникового эффекта*	10	105	Сколько лет Вселенной?*	4	104
Еще один кандидат в черные дыры?*	4	105	Следы космических струн*	9	105
Запуски космических аппаратов в СССР: сентябрь — октябрь 1988 г.	2	103	Солнце продолжает «бушевать»*	11	103
ноябрь — декабрь 1988 г.	4	103	Спор об обращениях магнитного поля Земли*	2	105
январь — февраль 1989 г.	6	104	Спутник предсказал извержение*	12	103
март — апрель 1989 г.	8	109	Структура микромира и Вселенная*	10	102
май — июнь 1989 г.	10	101	Существуют ли далекие планеты?*	3	105
июль — август 1989 г.	12	102	Тритон «затеминяется»	11	103
Звезды между галактиками?*	3	103	Уровень океана измеряется из космоса*	11	102
Землетрясения и солнечная активность*	12	103	«Фобос» у Марса*. Никитин С. А.	6	105
Игра случая или закономерность?*	5	109	«Фотон»*	9	104
Из чего «сделана» Земля?*	9	105	Фракталы в космосе*	7	110
Ионный полярный «дождь»*	11	103	Хаос в Солнечной системе*	10	104
Источник энергии в комете Галлея?*	3	104	Хирон: малая планета или комета?*	9	107
Как вращается Солнце?*	10	102	Экспедиции на «Мире»*. Никитин С. А.		
Карта озонового слоя*	4	106	Сентябрь — октябрь 1988 г.	2	103
Кислотный дождь и перекись водорода*	6	110	Октябрь — ноябрь 1988 г.	3	103
Комета Галлея продолжает удивлять*	2	107	Ноябрь — декабрь 1988 г.	5	106
«Коричневый карлик» обнаружен*	12	104	Декабрь 1988 г. — январь 1989 г.	6	104
Космическая вулканология*	11	102	Февраль — март 1989 г.	7	109
«Краб» в Южном небе*	9	107	Март — апрель 1989 г.	8	109
Крайности погоды 1988 г. в Африке*	10	117	Хлорфторуглероды и погода*	10	104
«Ледяной вулканизм» спутников Урана*	8	111	Эль-Ниньо и снежный покров Евразии*	1	120
«Магеллан». Никитин С. А.	10	101			
Магнитное поле Нептуна*	10	104	ФИЗИКА. ТЕХНИКА		
Магнитные поля в скоплениях галактик*	10	103	Абрикосовские нити в сверхпроводнике*	11	106
Метан влияет на озоносферу*	1	109	Алмазная пленка в полупроводниковой технологии*	10	106
Метеозффекты и загрязнение атмосферы*	4	118	Алмазы из взрывчатых веществ*	3	107
Мобильные материи Венеры. Сузиков А. Л.	11	17	Алюминий-литиевые сплавы для авиации*	1	112
Молнии — источник соединений азота*	4	106	Аномалии сопротивления в металлических стеклах*	6	109
Мощный гамма-всплеск 24 октября 1988 г. Митрофанов И. Г.	9	66	ARGUS на страже стандартной модели фундаментальных взаимодействий. Уральцев Н. Г., Хозе В. А.	5	69
Наблюдения комет со «спутника» Венеры*	5	106	Атомная энергетика в перекрестии мнений. (Публикация Арутюнян И. Н., Львовского Г. М.)	10	15;
Неравновесное реликтовое радиоизлучение?*	7	109		11	57
Нити зазеркалья*	2	106	Биомеханические мускулы для роботов*	5	113
Новое поколение метеолокаторов*	5	110	Будет ли сооружен Европейский реактор на быстрых нейтронах?*	12	105
Новая информация лунного камня*	12	104	«Быстрые» микросхемы*	3	109
Нужен всемирный закон об атмосфере*	5	109	Вариант безопасного реактора. Феоктистов Л. П.	1	11
Облака на Нептуне*	12	102	Взаимодействие реакторных антинейтрино с дейтонами*	8	113
Обращение магнитного поля Земли*	12	104	Водородные мазеры на борту космических аппаратов*	2	109
«Озонная дыра» в лаборатории*	1	107	Высокотемпературная сверхпроводимость в микроэлектронике*	2	16
Озоносфера Северного полушария*	6	106	Высокотемпературная сверхпроводимость: два года спустя. (Интервью с Ю. А. Осипьяном.)	2	3
Оптические отождествления радионисточников*	3	106	Высокотемпературные сверхпроводники притягиваются магнитом?*	3	109
Оптический телескоп нового поколения*	9	105	«Говорящая» перчатка для слепоглохонемых*	6	109
Ореол вокруг космических аппаратов. Лазарев А. И., Авахян С. В., Севастьянов В. И.	2	100	Гравимагнитное взаимодействие по данным лазерного слежения*	9	109
Откуда взялся Плутон?*	8	111	Двуглавая физика. Ефремов А. В.	6	31
Первый полет «Бурана». Никитин С. А.	2	104	Дейтерий во Вселенной. Вайнер Б. В., Щекинов Ю. А.	4	25
«Пионер-10» покидает гелиосферу*	5	107	200 запоминающих устройств на одном кристалле*	8	114
Полет «Атлантида». Никитин С. А.	4	103	Зарегистрированы релятивистские гиперядра*	5	111
28-й полет по программе «Спейс шаттл»*	8	110	Измерена скорость геодезической прецессии Луны*	7	112
29-й полет по программе «Спейс шаттл». Никитин С. А.	9	104	Как устроены процессы. Мержанов А. Г., Руманов Э. Н.	2	65
Плутон обладает атмосферой*	3	106			
Полярные шапки на Плутоне*	7	110			
Природа колец вокруг сверхновой 1987А*	2	107			
Пульсар на месте вспышки сверхновой 1987А?*	8	111			
Пятнистая поверхность Весты*	1	108			
Радиотелескоп «Австралия»*	3	107			
Самая протяженная замagnetиченная область во Вселенной*	12	103			
Сверхсветовые скорости вдали от галактического ядра*	5	108			
Серебристые облака над Москвой. Сурдин В. Г.	11	83			

Какая память лучше?	9	110
«Калибровка» кристаллов оливина из метеоритов*	11	107
Кварк-глюонная плазма. Шурик Э. В.	9	11
Коммерческие солнечные батареи*	3	110
Лазер направляет электрический разряд*	1	111
Лазерная плазма — источник рентгеновских лучей*	5	112
Лазерное охлаждение атомов. Балыкин В. И., Миногин В. Г.	7	19
Лазерные элементы с центрами окраски*	9	110
Лидар измеряет ветер*	11	107
Математический взгляд на эволюцию физики. Фаддеев Л. Д.	5	11
Механика и управление ракетой. Колесников К. С.	6	20
Микродвигатели*	2	109
Насколько совершенны реальные кристаллы?	1	111
Нейтральные частицы — причина широких атмосферных ливней*	5	111
Неожиданные свойства дождевых капель. Стерлядкин В. В.	3	64
Новая физика в распаде $\pi^0 \rightarrow \gamma + \text{«ничто»}$ *	6	107
Новые эффекты газовой кинетики. Гельмуханов Ф. Х., Чаповский П. Л., Шалагин А. М.	10	65
Новый конструкционный материал*	9	111
Нужна ли ядерная энергетика? Феоктистов Л. П.	4	9
Обнаружена поляризация параметрического рентгеновского излучения*	10	106
Обнаружены возбужденные D-мезоны*	6	108
Ограничения на время жизни нейтрино*	9	108
Осцилляции в системе «прелестных» мезонов. Голутвин А. И., Зайцев Ю. М.	5	65
Переход разупорядочивания в капиллярной ряби*	11	106
Перспективы использования лазеров на свободных электронах*	4	108
Повышение T_c высокотемпературных сверхпроводников*	1	110
Подземные и подводные эксперименты в физике и астрофизике? Домогацкий Г. В., Комар А. А., Чудаков А. Е.	3	22
Полиэтилен в полупроводниковых приборах*	4	109
Поляризуемые лазерные зеркала*	8	114
Проблема радиоактивных отходов. Кривотатский А. С.	5	50
Проверка принципа суперпозиции*	9	109
Прямое наблюдение электропереноса дислокаций*	3	107
Разложение воды и атмосферное электричество*	1	108
Регистрация инфракрасного излучения*	10	105
Решение через 200 лет*	2	108
Рисунок на ткань — в присутствии покупателя*	10	107
Сверхпроводящий трансформатор*	3	109
Силы инерции в мире Ньютона. Ишлинский А. Ю.	3	66
Сканирующий туннельный микроскоп исследует рост пленок*	6	107
Спектр космических протонов*	8	112
Сражение за восьмой знак в μ *	7	111
Строительная наука против стихии. Айзенберг Я. М.	12	68
Струи, вихри, турбулентность. Гудков В. А.	11	33
Турбулентность в антиферромагнетике*	6	108
Упругомагнитный механизм оптической записи*	4	109
Установка для обезвреживания нечистот*	12	105
Уточнен аномальный магнитный момент мюона*	11	105
Флуоресценция Пуанкаре*	1	112

Фотоиндуцированный магнетизм и магнитоэлектрический эффект. Нагаев Э. Л.	6	65
Холодный ядерный синтез? Чуянов В. А.	5	63, 85
Частицы высоких энергий из созвездия Лебедь X-3*	10	106
Чернобыль. Рассуждения физика-нереакторщика. Соколов Ю. Л.	4	15
Экспериментальная проверка возможного нарушения принципа Паули*	8	113
Экспериментальная проверка закона тяготения*	5	112
Электрон отталкивается от фотона*	4	107
Электроны в изогнутой трубке*	3	108
Эффект Рамзауэра в кристалле*	1	109

ХИМИЯ

Взрыв без образования газов*	8	115
Марганец при фотосинтезе*	1	22
Обезвреживание отходов гальванических процессов*	11	107
Природа сероводородной коррозии стали*	9	111
Топливо из растительного сырья*	9	110
Ультразвук ускоряет химические реакции*	11	108
Ферментативный синтез органических соединений из окиси углерода и водорода*	8	115
Фотоллиз помогает разрушить бензпирен*	6	110
Экстракты из торфа целебны*	9	111

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Актинии строят «золотые» раковины. Сиренко Б. И.	9	35
Болезнь тюленей*	4	112
Быть ли экспериментам с зародышами человека?	3	112
Гистамин в эмбриогенезе*	4	111
Гликозаминогликаны предотвращают гибель ооцитов*	1	114
Естественное воспроизводство трихограмм*. Карцев В. М.	5	116
Еще раз о законе гомологических рядов в наследственной изменчивости. Медников Б. М.	7	27
Живые кристаллы. Голубев С. Н.	3	13
Жизнь выходит из воды на сушу	5	17
Первые «сухопутные» растения. Мейен С. В.	5	17
Наземные беспозвоночные. Пономаренко А. Г.	5	20
От рыб к четвероногим. Воробьева Э. И.	5	23
Запах хозяина мешает паразиту*	12	108
Зачем нужны «белки теплового шока»?	1	115
Как гадюки находят брачных партнеров*	7	116
Как оценить интеллект животных? Мазохин-Поршников Г. А.	4	18
Как появились первые клетки? Деймер Д., Михайлов А. И., Селезнев С. А.	10	3
Как трихограмма измеряет яйцо хозяина*	9	113
Когда включаются гены у человека?	1	114
«Компас» тутового шелкопряда*	7	115
Морская лаборатория вдали от моря. Еманов В. С.	1	47
О происхождении ластенок*	10	112
Окраска в половом отборе*	11	113
Паук — марафонец или спринтер?*	8	118
Половой каннибализм у богомолов*. Карцев В. М.	8	119
Почему рыба мигрирует?*	9	113
Разгадка свечения иглокожих. Несис К. Н.	8	24

Роды задерживаются на два года*	6	112
Самоорганизация в развитии зародыша. Белинцев Б. Н. (Вступительное слово. Волькенштейн М. В.)	2	81
Силюрийские мечехвосты на службе у человека. Кузнецов А. П.	10	54
Стратегии паразитов, вирус СПИДа и одна эволюционная гипотеза. Лем С.	5	96
Еще немного о СПИДе и гипотезе С. Лема. Тихоненко Т. И.	5	103
Температура инкубации яиц влияет на соотношение полов у змей*	7	114
Хищники управляют поведением жертв*. Карцев В. М.	7	115
Хищные травоядные*	7	116
Эволюция березовой пяденицы. Раффес П. М., Тиминенко Ю. И.	2	74

БОТАНИКА. ЗООЛОГИЯ.
МИКРОБИОЛОГИЯ

Антидепрессанты в лечении малярии*	11	110
Бактериальный образ жизни*	3	110
Бактерии — в изготовлении наушников*	11	112
Живородящая рыба бельдюга. Зимин В. Л.	7	60
Жидкое топливо — из водорослей*	7	112
Журавль-красавка. Хохлов А. Н.	3	50
Знак спаривания у пчелиной матки*. Карцев В. М.	6	112
Как лягушата переносят жару и засуху*	9	114
Конкуренция между водными насекомыми и позвоночными*	11	114
Ласточка-«кукушка»*	2	112
Малоазиатский тритон. Белая А. А.	2	35
Мамонтонок с Ямала. Тихонов А. Н., Храбрый В. М.	6	46
Микробиологическая утилизация компонентов, заражающих почву*	10	111
Муравьи строят баррикады*	6	114
Новые жители Москвы-реки. Соколов Л. И., Цепкин Е. А., Соколова Е. Л., Головатюк Г. Ю.	9	80
Охотничьи повадки глубоководного удильщика. Несис К. Н.	9	68
Пингвин-альбинос*	8	120
Почему птицы несут яйца?*	2	112
Рижский зоопарк. Денисов И. А.	3	58
Самолечение скворцов*	10	113
Тяжелые металлы против инфекций*	10	111
Удивительные осколки. Попов К. П.	3	37
Укус синайской гадюки*	3	112
Уникальная оборонительная стратегия термита*. Кипляков В. Е.	6	113
Ферментеры геологического масштаба. Горбатов О. В., Минько О. И., Лифшиц А. Б., Елютина Н. Ю.	9	71
Черепаша — «шагоглотательница»*	1	115
Электрорецепторы ехидны*	11	113

ГЕНЕТИКА

Введение чужеродных генов в геном*	12	107
В поисках генов шизофрении*. Рогова Е. И.	11	91
Влияние генов на развитие опухолей*	9	112
Второй фронт в борьбе со СПИДом*	10	110
Генетические последствия облучения человека. Шевченко В. А.	11	24
Иммунная защита от иммунитета. Ионов И. Д.	7	46
История гипотезы канцерогенеза. Урываев И. В.	11	8

Мутагены стимулируют биосинтез*	2	110
Настоящее и будущее наследственности человека. Бочков Н. П.	1	3
Новые гипервариабельные участки ДНК*	2	110
Новый метод введения чужеродных генов в растения*	5	114
Один ген вызывает одну и ту же болезнь у человека и собак*	5	114
Перспективы лечения болезней крови методами генной инженерии*	4	110
Полиплоидия и гибридизация амбистом*	1	113
Прямая диагностика болезни Хентингтона*	5	115
СПИД у мышей*	10	109
«Сплавление» генов в изучении их экспрессии у бактерий*	8	115
Третья изменчивость. Струнников В. А.	2	17
Экогенетические аспекты мутагенеза. Порошенко Г. Г., Горькова С. Н.	3	3

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ.
БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА

Бактерии, устойчивые к макрофагам*	11	109
Белок — «транспортёр» ДНК*	10	108
Имитация онкогена*	1	114
Ингибиторы протеолиза подавляют вирус СПИДа*	8	117
«Инсулин» беспозвоночных*	2	112
Лазер против лучевой болезни*	11	109
Лечение опухолей гибридным белком*	10	109
Молекулярное животноводство*	10	112
Новая функция полиаминов*	8	116
Новый биоэстидицид*	5	114
Почему мутнеет хрусталик. Бабюкова М. А., Брикман И. В.	5	38
Природный антифриз*	4	110
Пространственная структура онкобелка р ²¹ *	11	109
Растения синтезируют рекомбинантный меланин*	9	112
Рестриктазы для РНК*	1	113
Роковая замена. Лалайц И. Э., Милованова Л. С.	10	10
Сверхспирализация ДНК за счет транскрипции*. Сидорова Ю. М.	12	106
Сезонные изменения иммунной системы*	5	113
Синтетические олигонуклеотиды против СПИДа*. Шумянцева В. В.	6	110
Сцилла и Харибда гелиобиологии. (Биофизическая индивидуальность и циклическая воспроизводимость.) Жавирблис В. Е.	6	13
Теломеразы — новый фермент, синтезирующий концы хромосом*. Данилевская О. Н.	10	108
Ферментативный катализ в двуокиси углерода*	2	27
Химический синтез антител с ферментативной активностью*	10	109
Эдитинг — «редактирование» генетического текста*. Евстафьева А. Г.	10	107
ЯМР в биологии*	2	110

ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ.
МЕДИЦИНА

Аналог интерлейкина вызывает обезболивание*	7	113
Вакцина против СПИДа*	11	110
Вакцина против чумы*	8	116
Вакцины против малярии*	8	116
Внутренний термометр*	2	111

Время в психике человека. Цуканов Б. И.	4	82	Гибнут подводные луга*	6	114
Действие вируса на нервные клетки*	3	111	Глобальное загрязнение среды микроэлементами*	1	116
Доза облучения опухоли уменьшена в 100 000 раз*	6	111	Глобальное потепление: судьба фауны и флоры*	5	117
Зачем зародышам инсулин?*	3	111	Гляциологи объясняют замор рыбы*	4	113
Как иммунная система разрушает цитовидную железу*	10	111	Грызун в качестве «эксперта»*	5	117
Какого цвета «малиновый звон»? Галеев Б. М.	3	54	Дамбы на Севере не будет?*	8	120
Медицина катастроф. Городецкий В. М.	12	90	Дизлдрин против саранчи*	2	120
Механизм возникновения рака печени*	8	118	Дождевые черви как биоиндикаторы*	12	109
Мутагенные «коктейли»*	8	117	Древесина — показатель антропогенного загрязнения*	12	109
На пути к искусственному мозгу*	7	112	Жесткий закон на благо потребителя*	5	118
Наследование умственных способностей и воспитания*	6	112	Загрязнение снега в Канаде*	8	120
Нитрит натрия ускоряет канцерогенез*	3	110	Защита грунтовых вод в США*	11	115
Новая стратегия в лечении вирусных заболеваний*	3	111	Земноводные и пресмыкающиеся в городе*. Семенов Д. В.	4	112
Новый способ искусственного оплодотворения*	1	115	Искусственные островки для гнездования птиц*. Грищенко В. И.	3	113
О патогенезе язвенной болезни*	12	107	Искусственные рифы из нефтяных вышек*	5	118
Опиоидные пептиды обезболивают роды*	6	111	Клеточный мониторинг. Карнаузов В. Н., Ариас Пулидо У., Лисовский А. Е.	6	57
Опиоиды ослабляют действие простагландинов*	10	111	Клиника для ежей*	5	117
О правшах и левшах*. Цибульский В. Л.	4	111	Лесопосадки в КНР*	12	109
О чем говорит улыбка?*	11	112	Мелиорация промышленными отходами*	7	117
Патогенез ревматоидного артрита*	9	112	Нильский окунь не виноват*	10	113
Пептидная регуляция физиологических функций. Каменский А. А., Сарычева Н. Ю.	8	18	Новый биосферный заповедник в Центральном Черноземье. Семенов В. А., Ляхцкий Ю. П.	8	33
Пересадка донорской нервной ткани*	7	114	Новый способ очистки воды от нитратов*	8	121
Позаботиться о здоровье никогда не поздно*	7	114	От охраны вида к биосферному заповеднику. Незилин Л. П., Зюганов В. В., Розанов А. С.	7	52
Позитронно-эмиссионная томография в диагностике эпилепсии*	4	111	Охрана природы на Самоа*	9	114
Польза рыбной диеты*	5	115	Охраняя, использовать. Кузавев В. Б., Шелгунова М. Л.	10	40
Природные бензодиазепины*. Цибульский В. Л.	2	111	Перемещение спасает виды от вымирания*	7	117
Причина мужского бесплодия*	12	107	Планета Земля: народонаселение и экология*	4	113
Противомаларийная вакцина*	11	110	Повреждение растений озоном: ранняя диагностика*	5	118
Психологические аспекты землетрясения в Армении. Ениколопов С. Н.	12	95	Потопу попал в беду*	2	80
Пути лечения дистрофии мышц*	11	111	Премия по экологии — метеорологу*	10	114
Ранняя диагностика рака*	7	113	Придорожная соль*	3	113
Сезонные психические расстройства*	5	115	Свинца в реках США стало меньше*	11	114
Сексуальность и особенность мышления*	12	108	Сертификатное свидетельство № 5000*	9	115
Социологическое исследование в террариуме*	8	117	Сжигание мусора в море — пагубно*	5	118
Способ предупреждения беременности*	7	113	Сколько гусениц поедает воробей?*	11	114
Стероидные гормоны контролируют иммунную систему*	11	111	Сколько китов в Антарктике?*	6	115
Стресс и психологическая экология. Китаев-Смык Л. А.	7	98	Спасти заповедный лес Камеруна*	9	115
Фактор роста нервов из эмбриональной мышцы*	4	110	Судьба африканского слона*	5	116
Художественное творчество глазами врача. Хайкин Р. Б.	4	40	Трансгенные животные: первый патент*	6	114
Эмоции и мозг*	11	111	Траулеры и морские птицы*	9	114
Эффективная радиотерапия опухолей мозга*	8	118	Тюлень-монах возвращается*	1	116
Ясное сновидение. Лаберж С. (Вступительное слово. Ротенберг В. С. Пер. с англ. Петровой А. В.)	8	73	Улитки и окружающая среда*	12	109
			Цветы вдоль шоссе*	8	121
			Число ржанок растет*	8	121
			Шум маломерного флота*. Солдатов С. А., Шишкина В. В.	2	112
			Экология и СПИД. Кульберг А. Я.	4	34
			Экономия воды в туалетах*	4	114
			Экосистема Черного моря сегодня*. Виноградов М. Е.	7	118
			Энергетика Великобритании и экология*	12	110
			Ядовитая окраска судов и маркировка*	11	113

ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ

Акклиматизация диких животных. Чесноков Н. И.	4	59
Атмосфера страдает от выжигания лесов*	5	116
Африка: печи спасают леса*	6	114
Африканская пчела завоевывает Америку*	10	113
Африканские слоны вырождаются*	8	120
Балластные воды наносят ущерб маркикультуре*	7	117
Бородач может вернуться*	2	120
В компании — теплее*	4	112

ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА

Активные разломы и сейсмичность. Трифонов В. Г., Караханян А. С., Кожурин А. И.	12	32
Арабские страны участвуют в «Глобальном геотраверсе»*	3	115
Главные хранилища сульфидных руд на дне океана. Лисицын А. П.	2	38
Гондвана — исчезнувший суперконтинент. Хани В. Е., Божко Н. А.	6	36
Граниты и руды. Таусон Л. В.	3	40
Загадка неглубоких землетрясений*	1	118
Земля землетрясений. Никонов А. А.	12	39
Земная кора возникает «короткими очередями»*	3	114
Земная кора Европы*	6	116
Измеряется дрейф континентов*	3	114
История возникновения Гималаев*	2	115
История океана Тетис. Казьмин В. Г.	9	40
Какими красками писал Дионисий? Наумова М. М., Писарева С. А.	2	52
Лесу 250 миллионов лет! Соломина Р. В.	6	34
Лишайники — хронометр сейсмических катастроф. Смирнова Т. Ю., Никонов А. А.	8	51
Модель зарождения зоны субдукции*. Шеменда А. И.	9	116
Нефть глубинных недр и новая «биосфера»*	1	118
Новая геодинамическая модель. Кропоткин П. Н.	1	70
О происхождении некоторых самородков золота. Бородавский Н. И.	8	99
Поглощение вулканов при субдукции*	4	117
По следам землетрясения в Пегреме. Журавлев А. П., Экман И. М.	6	27
Прогноз экономичности нефтедобычи*	10	116
Происхождение деканских траппов*	2	115
Промышленная нефтегазоносность рифей*. Базилевская О. Л.	6	115
Пульс спрединговых хребтов*. Волков К. Р.	5	119
119-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*	1	117
120-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн». Басов И. А.	2	113
121-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн». Басов И. А.	3	118
122-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн». Басов И. А.	4	114
123-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»	10	114
Рифейские рифты — генераторы нефти. Соколов Б. А., Егоров В. А.	6	73
Рудоносность земной коры: новые данные*. Базилевская О. Л.	5	119
Сверхглубокое бурение на Кавказе*. Базилевская О. Л.	7	119
Следы величайшей из волн цунами*	6	116
Следы невиданных зверей. Ярмолюк В. В.	4	79
Еще одна Несси? Тимофеев Д. А.	4	81
Сок березы — индикатор рудных месторождений*	12	110
Спад производства урана в США*	9	115
Спрединг на Венере. Сузанов А. Л., Пронин А. А.	5	27
Существовал ли океан Япетус?*	4	116
Тектонические системы. Пономарев В. С., Трифонов В. Г.	7	62
Угленосные отложения Приморья*	11	115
Формирование залежей фосфатов на атоллах*	11	116
Фосфориты океана. Батурич Г. Н.	5	76

ГЕОФИЗИКА. ГЕОХИМИЯ

Агрохимическая нагрузка на ландшафты. Башкин В. Н.	2	28
Биогеохимические заметки со Шпицбергена. Добровольский В. В.	7	36
Вероятность новых землетрясений*	5	120
Ветры и землетрясения*	3	118
Вулканизм и сейсмичность Исландии*	3	117
Вулканы и мышьяк*	1	119
Вулканы и озон*	8	112
Вулканы не умирают*	7	121
Геохимический прогноз землетрясений. Войтов Г. И., Попов Е. А.	12	60
Гигантские пылевые частицы*	11	104
Динамика литосферы и прогноз землетрясений. Кейлис-Борок В. И.	12	10
Загадка озера Моно*	4	120
Замечание сейсмолога об отдаленных «предвестниках» землетрясений. Борисов Б. А.	12	65
Как использовать тепловую энергию вулкана?*	4	116
Калифорния: землетрясение неизбежно*	2	115
Камерунские озера грозят новой катастрофой*	3	120
Камчатка готовится к землетрясениям. Федотов С. А.	12	87
К механизму образования стратосферного озона*	11	104
Колима — в фазе пробуждения*	6	117
Магматическая камера в рифтовой зоне*	11	116
Между ядром и мантией Земли*	4	115
Необычное землетрясение в Непале*	9	117
Новая граница плит в заливе Аляска?*	10	116
О наведенных землетрясениях*	3	117
О природе сверхглубоких землетрясений*. Кусков О. Л.	8	121
Планетарные течения — в лаборатории*	11	117
Почему «ошиблась» карта? Рейснер Г. И.	12	19
Проблема прогноза землетрясений. Соболев Г. А.	12	47
Растворенный галлий в океане*	1	119
Растет выброс углекислого газа*	11	104
Ремобилизация металлов в центрах спрединга*	2	116
Роль закиси азота оспаривается*	11	105
Сдвиговые разломы и землетрясения*	7	20
Сейсмическая активность: взгляд из космоса. Сальман А. Г., Шилин Б. В.	12	55
Сейсмогенный разрыв. Борисов Б. А., Рогожин Е. А.	12	26
Сейсмологическая служба Кавказа в дни спитакской трагедии. Годзиковская А. А.	12	24
Синергетика в геофизических системах. Сендов Д. Г.	9	25
Служба срочных донесений. Старовойт О. Е., Захарова А. И., Чепкунас Л. С.	12	66
Содержание метана в тропосфере растет* («Спитак-88»). (Публикация Артурьян И. Н., Татевосян Р. Э.)	12	79
Спитакское землетрясение. Шебалин Н. В., Борисов Б. А.	4	69
Странные землетрясения на Аляске*	3	121
Углерод из мантии Земли*	3	120
Экспедиции к южнополярным вулканам*	4	118

ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ

Айсберги и потепление*	6	118
«Атлантида» XXI века*	10	117
Аэрокосмические исследования в строи-		

тельстве. Ревзон А. Л.	10	57
Засуха и парниковый эффект*	9	118
Испарение в тропиках*	6	118
Когда возникли муссоны?*	8	123
Космические снимки пустынь*	5	121
Красное море в последнюю ледниковую эпоху. Иванова Е. В.	3	93
Лавинная опасность*	4	119
Ледниковый покров в меловом периоде?*	6	118
На пути к созданию экологической карты СССР. Кочуров Б. И.	8	10
Наступают ли пустыни?*	8	123
Опись нетронутой природы*	3	121
Потепление близится*	4	119
Средиземноморье через 40 лет*	6	48
Янтарный берег. Лымарев В. И.	6	48

ОКЕАНОЛОГИЯ

Белые пятна Черного моря. Айзатулин Т. А., Фашук Д. Я.	1	81
Венеция отгораживается от моря*	10	117
Возможности прогноза Эль-Ниньо*	3	115
Геотермальное поле ТАГ*	9	118
Гидротермальное поле на хребте Горда*	11	117
Естественные просачивания нефти в океане*	3	116
«Железная шапка» на горе Марсили*	1	119
Метеоспутники о «красных приливах»*	6	117
Мифы, гипотезы, реальность	10	46
Сцилла и Харибда: от мифа к физической модели. Лейкин И. А.	10	47
Исчезнувшие корабли. Павлов А. Н., Топорков А. В.	10	53
Многолучевой эхолот. Дмитриевский Н. Н., Терский Н. Ю.	5	61
Новые горы и «курильщики» на морском дне*	7	123
Предвестник завершения Эль-Ниньо*. Казьмин А. С.	12	111
Рейс «Поларштерна»*	7	121
Советско-американское сотрудничество в изучении морского дна*	10	115
Сюрпризы подводных гидротерм*. Базилевская Е. С.	8	122

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

«Бэби-ящер»*	3	114
Впервые найдено яйцо ископаемой ящерицы*	1	120
Динозавры — кочевники?*	2	118
Древнейшие приматы Афро-Арабского региона*. Решетов В. Ю.	11	119
Загадки вендской фауны. Федонкин М. А.	8	59
Исчезнувшие лебеди Средиземноморья*	9	119
История накопления осадков в Атлантическом океане*	2	117
Карликовый ископаемый кит*	6	119
Когда появились млекопитающие на Карибских островах?*	8	124
Конопля у предков шотландцев*	2	117
К онтогенезу динозавров*	3	113
Окремнение: вечные препараты. Крылов И. Н., Орлеанский В. К., Тихомирова Н. С.	4	73

Палеонтологические исследования в Монголии	9	46
Динозавры без сенсации. Курзанов С. М.	9	47
Млекопитающие Центральной Азии. Решетов В. Ю.	9	55
Древнейшие организмы и образование фосфоритов. Розанов А. Ю.	9	61
Самое длинное животное*	9	119
Самый первый британец*	8	124
Свидетельства древней погоды*	11	119
Удивительные рыбы из Гого*	10	118
Шестая находка археоптерикса*	5	121
Яйца, эмбрионы и детеныши гипакрозавра*	12	111

АРХЕОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ

Антропология о происхождении славян. Алексеев Т. И., Алексеев В. П.	1	60
Бронзовые шаманы из провинции Сычуань*. Комиссаров С. А.	3	122
Диета древних египтян*	3	121
Доинкские грядковые поля*	7	123
Древнейшая оседло-земледельческая культура Америки? Березкин Ю. Е.	9	120
Древние Башкапсарские рудники. Бжания В. В.	1	55
Золотые украшения из Прииртышья*	9	119
Исторический прогресс: хозяйственно-культурные аспекты. Андрианов Б. В.	3	75
Как угасала империя майя?*	10	119
Когда курица стала домашней?*	8	125
Когда человек овладел огнем?*	10	119
«Остановленное мгновение» палеолита*. Васильев С. А.	8	124
Открытие Гиркании. Хлопин И. Н.	4	50
Памятник наскального искусства Алтая. Кубарев В. Д.	11	38
Первый киприот и последний карликовый бегемот*	5	121
Появление железа на Охотском побережье*. Лебединцев А. И.	2	119
Примитивные деньги в Древнем Перу*. Березкин Ю. Е.	6	119
Пришельцы? — Пракосмонавты! Шилов Ю. А.	6	79
Проба воздуха из пирамиды Хеопса*	1	120
Система земледелия у ацтеков. Баглай В. Е.	11	84
Советские археологи в Сирии. Бадер Н. О., Мерперт Н. Я., Мунчаев Р. М.	2	62
Степные находки*. Нечитайло А. Л.	5	122
Существовало ли государство у наска? Березкин Ю. Е.	11	118
Сюннуский могильник в Нинся*. Комиссаров С. А.	12	112

РЕЦЕНЗИИ

Драма идей и человеческие судьбы (на кн.: Я. Б. Зельдович, М. Ю. Хлопов. Драма идей в познании природы). Бисноватый-Коган Г. С.	10	120
Здоровье — здоровым (на кн.: И. М. Брахман. Введение в эалеологию — науку о здоровье). Барабой В. А.	2	121
История удивительного края или отчет о не вполне удавшейся экспедиции? (на кн.: А. С. Монин, В. В. Гордеев. Амазония). Мягков Н. А.	5	123

Книга, необходимая экологу (на кн.: Биоиндикация загрязнений наземных экосистем). Миркин Б. М.	11	122
Мысли по поводу журнала «Вопросы истории естествознания и техники»		
Культура и личность в истории науки. Зинченко В. П.	1	121
История открытия высокотемпературной сверхпроводимости. Киржич Д. А.	1	124
Новая жизнь древней науки (на кн.: И. М. Забелин. Мудрость географии). Карандеев Ю. Т.	2	123
«Он учитель всех нас» (на кн.: Развитие идей Леонарда Эйлера и современная наука). Цверева Г. К.	4	121
«Понять замысел Бога...» (на кн.: Стивен У. Хокинг. Краткая история времени. От Большого взрыва к черным дырам). Смородинский Я. А.	7	124
Популярная монография о печени (на кн.: А. Ф. Блюгер. Тайны и парадоксы печени). Нисевич Н. И.	4	123
Портрет Ньютона в реалистической манере (на кн.: В. Карцев. Ньютон). Данилов Ю. А.	6	123
По следам уссурийского тигра (на кн.: А. Г. Юдаков, И. Г. Николаев. Экология амурского тигра). Воронцов Н. Н.	6	120
Сложные пути открытий (на кн.: И. В. Дорман. Космические лучи, ускорители и новые частицы). Филипович С. Р.	11	120
Стремиться к многообразию форм знания (на кн.: Система. Симметрия. Гармония). Овчинников Н. Ф.	9	123
Судьбы науки о наследственности (на кн.: А. Е. Гайсинович. Зарождение и развитие генетики). Тахтаджян А. Л., Инге-Вечтомов С. Г., Полянский Ю. И.	8	126
Теоретическая биология: единство движения и разность идей (на кн.: Лекции по теоретической биологии). Александров Д. А.	9	121
Феномен человека (на кн.: Современная наука: познание человека). Кобзарев И. Ю.	3	123
Что читать о землетрясениях? Шолпо В. Н.	12	113

ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

За строкой архивного документа. Илизаров С. С.	2	125
Почетный гражданин Вены. Пиннекер Е. В.	5	126
Т. И. Вяземский — основатель Карадагской станции. Михаленко Д. К.	11	126
Хронологическая машина А. Головацкого. Филиппова Э. Н.	4	127
Штрихи к биографии С. А. Подолинского. Чесноков В. С.	6	126

НОВЫЕ КНИГИ

1 127; 2 51, 124; 3 96, 126; 4 124; 5 124; 6 124; 7 97, 128; 9 126; 10 122; 11 124		
--	--	--

РЕЗОНАНС

Об ошибках в науке, научных и популярных статьях. (Публикация Морозовой Н. Д.)	4	101
Об «ускорении» радиоактивного распада, или Анатомия дилетантства. Шуколюков Ю. А.	6	89
Ядерные взрывы и землетрясения. Гамбурцева Н. Г.	12	78

ИНФОРМАЦИЯ

4 126; 5 16; 6 56; 8 58; 9 38—39		
----------------------------------	--	--

НЕКРОЛОГ

Памяти А. Е. Гайсиновича. Полянский В. М.	11	101
---	----	-----

Авторский указатель журнала „Природа“ 1989 года

А бдулаев Н. Г.	1	101	В асильев С. А.	8	124	Е встафьева А. Г.	10	107
Авакян С. В. (см. Лазарев А. И.)			Вайнер Б. В.	4	25	Егоров В. А. (см. Соколов Б. А.)		
Айзатулин Т. А.	1	81	Веркин Б. И.	1	89	Елютина Н. Ю. (см. Горбатюк О. В.)		
Айзенберг Я. М.	12	68	Виноградов М. Е.	7	118	Еманов В. С.	1	47
Александров Д. А.	9	121	Войтов Г. И.	12	60	Емиколопов С. Н.	12	95
Алексеев В. П. (см. Алексеева Т. И.)			Волков К. Р.	5	119	Ефремов А. В.	6	31
Алексеева Т. И.	1	60	Волькенштейн М. В.	2	81			
Андрианов Б. В.	3	75	Воробьева Э. И.	5	23			
Ариас Пулидо У. (см. Карнаухова В. Н.)			Воронцов Н. Н.	6	120			
Арутюнян И. Н. (см. Осипьян Ю. А.);	10	15;				Ж вирблис В. Е.	6	13
	11	57;				Жданов Г. Б.	10	79
	12	79				Журавлев А. П.	6	27
Ахундов М. Д.	2	90						
			Г айсинович А. Е.	5	86;	З айцев Ю. М. (см. Голутвин А. И.)		
				6	95;	Захарова А. И. (см. Старовойт О. Е.)		
				11	92	Здорик Т. Б.	4	91
Б абижаев М. А.	5	38	Галегов Г. А. (см. Харкевич Д. А.)			Зимин В. Л.	7	60
Баглай В. Е.	11	84	Галева Б. М.	3	54	Зинченко В. П.	1	121
Бедер Н. О.	2	62	Гамбурцева Н. Г.	12	78	Золотарев А. С. (см. Абдулаев Н. Г.)		
Баженов Л. Б. (см. Ахундов М. Д.)			Гельмуханов Ф. Х.	10	65	Зюганов В. В. (см. Незлин Л. П.)		
Базилевская Е. С.	8	122	Герштейн С. С.	1	98			
Базилевская О. Л.	5	119;	Гниненко Ю. И. (см. Рафес П. М.)					
	6	115;	Годзиковская А. А.	12	24			
	7	119	Головатюк Г. Ю. (см. Соколов Л. И.)			И ванова Е. В.	3	93
Балашов Ю. В. (см. Казютинский В. В.)			Голубев С. Н.	3	13	Илизаров С. С.	2	125
Балыкин В. И.	7	19	Голутвин А. И.	5	65	Инге-Вечтомов С. Г. (см. Тахтаджян А. Л.)		
Барабой В. А.	2	121	Гольданский В. И.	7	72	Ионов И. Д.	7	46
Басов И. А.	2	113;	Горбатюк О. В.	9	71	Ишлинский А. Ю.	3	66
	3	118;	Городецкий В. М.	12	90			
	4	114	Горькова С. Н. (см. Порошенко Г. Г.)					
Батурин Г. Н.	5	76	Гредескул С. А. (см. Веркин Б. И.)					
Башкин В. Н.	2	28	Грищенко В. Н.	3	113			
Белинцев Б. Н.	2	81	Гудков В. А.	11	33	К азьмин В. Г.	9	40
Беляев А. А.	2	35	Гурштейн А. А.	11	48	Казьмин А. С.	12	111
Березкин Ю. Е.	6	119;				Казютинский В. В.	1	23
	9	120;				Каменский А. А.	8	18
	11	118				Карандеев Ю. Т.	2	123
Бжания В. В.	1	55				Караханян А. С. (см. Трифонов В. Г.)		
Бисноватый-Коган Г. С.	10	120	Д анилевская О. Н.	10	108	Карнаухова В. Н.	6	57
Божко Н. А. (см. Ханин В. Е.)			Данилов Ю. А.	6	123	Карцев В. М.	5	116;
Борисов Б. А. (см. Шибалин Н. В.);	12	26, 65	Дегтярев А. В.	7	82		6	112;
Бородаевский Н. И.	8	99	Деймер Д.	10	3		7	115;
Бочков Н. П.	1	3	Денисов И. А.	3	58		8	119
Брикман И. В. (см. Бабижаев М. А.)			Дмитриевский Н. Н.	5	61			
			Добровольский В. В.	7	36			
			Домогацкий Г. В.	3	22	Кейлис-Борок В. И.	12	10

Керкис Ю. Я.	3	97	Музрукова Е. Б. (см. Гайсинович А. Е.)	11	92	Рогов Е. И.	11	91
Кипятков В. Е.	6	113	Мунчаев Р. М. (см. Бадер Н. О.)	5	123	Рогожин Е. А. (см. Борисов Б. А.)	12	26
Киржниц Д. А.	1	124	Мягков Н. А.			Розанов А. С. (см. Незлин Л. П.)		
Китаев-Смык Л. А.	7	98				Розанов А. Ю.	9	61
Кобзарев И. Ю.	3	123				Россиянов К. О. (см. Гайсинович А. Е.)		
Кожурин А. И. (см. Трифонов В. Г.)						Ротенберг В. С.	8	73
Колесников К. С.	6	20				Рудницкий Г. М. (см. Сурдин В. Г.)		
Комар А. А. (см. Домогацкий Г. В.)						Руманов Э. Н. (см. Маржанов А. Г.)		
Комиссаров С. А.	3	122;						
	12	112						
Кочуров Б. И.	8	10	Нагаев Э. Л.	6	65			
Краевский А. А. (см. Харкевич Д. А.)			Наумова М. М.	2	52			
Кривоухатский А. С.	5	50	Незлин Л. П.	7	52			
Кропоткин П. Н.	1	70	Несис К. Н.	8	24;			
Крылов И. Н.	4	73		9	68	Сагдеев Р. З.	1	33;
Кубарев В. Д.	11	38	Нечитайло А. Л.	5	122		6	3
Кузав В. Б.	10	40	Никитин С. А.	1	107;	Сальман А. Г.	12	55
Кузнецов В. И. (см. Кутепов А. М.);	9	20		2	103;	Сарычева Н. Ю. (см. Каменский А. А.)		
Кузнецов А. П.	10	54		3	103;	Сачков Ю. В.	6	7
Кульберг А. Я.	4	34		4	103;	Севастьянов В. И. (см. Лазарев А. И.)		
Курзанов С. М.	9	47		5	106;	Сеидов Д. Г.	9	25
Кусков О. Л.	8	121		6	105;	Селезнев С. А. (см. Деймер Д.)		
Кутепов А. М.	1	16		7	109;	Семенов В. А.	8	33
Кутырев В. А.	5	3		8	109;	Семенов Д. В.	4	112
				9	104	Соболев Г. А.	12	47
						Соколов Б. А.	6	73
			Никонов А. А. (см. Смирнова Т. Ю.);	12	39	Соколов Л. И.	9	80
			Нисевич Н. И.	4	123	Соколов Ю. Л.	4	15
						Соколова Е. Л. (см. Соколов Л. И.)		
Лаберж С.	8	73				Солдаткина С. А.	2	112
Лавров Н. П.	12	3	Овчинников Н. Ф.	9	123	Соломина Р. В.	6	34
Лазарев А. И.	2	100	Олейник О. А.	7	106	Смирнова Т. Ю.	8	51
Лалаянц И. Э.	10	10	Орлеанский В. К. (см. Крылов И. Н.)			Сморodinский Я. А.	7	124
Лебединцев А. И.	2	119	Осипьян Ю. А.	2	3	Старовойт О. Е.	12	66
Лейкин И. А.	10	47				Стерлядкин В. В.	3	64
Лем С.	5	96				Страхов В. Н.	12	4
Лисицын А. П.	2	38				Струнников В. А.	2	17
Лисовский А. Е. (см. Карнаухов В. Н.)						Сурдин В. Г.	8	42;
Лифшиц А. Б. (см. Горбатов О. В.)			Павлов А. Н.	10	53		11	83
Лихацкий Ю. П. (см. Семенов В. А.)			Пастур Л. А. (см. Веркин Б. И.)			Суханов А. Л.	5	27;
Лымарев В. И.	6	48	Перчук Л. Л.	8	102		11	17
Львовский Г. М.	10	15;	Петрова А. В.	8	73			
	11	57	Пиннекер Е. В.	5	126			
			Писарева С. А. (см. Наумова М. М.)					
Мазохин - Поршняков Г. А.	4	18	Полянский Ю. И. (см. Тахтаджян А. Л.)					
Мамчур Е. А.	8	26	Полынин В. М.	11	101	Татевосян Р. Э.	12	79
Матинян С. Г.	8	3	Пономарев В. С.	7	62	Таусон Л. В.	3	40;
Медников Б. М.	7	27	Пономаренко А. Г.	5	20		9	3
Мейен С. В.	5	17	Попов Е. А. (см. Войтов Г. И.)			Тахтаджян А. Л.	8	126
Мержанов А. Г.	2	65	Попов К. П.	3	37	Терский Н. Ю. (см. Дмитриевский Н. Н.)		
Мерперт Н. Я. (см. Бадер Н. О.)			Порошенко Г. Г.	3	3	Тимофеев Д. А.	4	81
Милованова Л. С. (см. Лалаянц И. Э.)			Пронин А. А. (см. Суханов А. Л.)			Тихомирова Н. С. (см. Крылов И. Н.)		
Миногин В. Г. (см. Балыкин В. И.)						Тихоненко Т. И.	5	103
Минько О. И. (см. Горбатов О. В.)						Тихонов А. Н.	6	46
Миркин Б. М.	11	122				Топорков А. В. (см. Павлов А. Н.)		
Митрофанов И. Г.	9	66				Трифонов В. Г. (см. Пономарев В. С.);	12	32
Михайлов А. И. (см. Деймер Д.)								
Михаленок Д. К.	11	126	Ряфес П. М.	2	74			
Моисеев Н. Н.	4	3	Реззон А. Л.	10	57	Уральцев Н. Г.	5	69
Морозова Н. Д.	4	101;	Редонди П.	7	82	Урываева И. В.	11	8
	6	3;	Рейснер Г. И.	12	19	Успенская Н. В.	8	86;
	7	3	Решетов В. Ю.	9	55;		11	3
				11	119			

Ф аддеев Л. Д.	5	11	Ц везева Г. К.	4	121	Шелгунова М. Л. (см. Ку-		
Фащук Д. Я. (см. Айза-			Цветков В. И.	8	78	заев В. Б.)		
туллин Т. А.)			Цепкин Е. А. (см. Со-			Шеменда А. И.	9	116
Федонкин М. А.	8	59	колово Л. И.)			Шилин Б. В. (см. Саль-		
Федотов С. А.	12	87	Цибульский В. Л.	2	111;	ман А. Г.)		
Фейнберг Е. Л.	10	123		4	111	Шилов А. Е.	7	72
Фельдман Л. Г. (см. Здо-			Цуканов Б. И.	4	82	Шилов Ю. А.	6	79
рик Т. Б.)			Цыганков С. С.	12	99	Шишкина В. В. (см. Сол-		
Феокистов Л. П.	1	11;				даткина С. А.)		
	4	9				Шолпо В. Н.	12	113
Филонович С. Р.	11	120	Ч аповский П. Л. (см.			Шуколюков Ю. А.	6	89
Филиппова Э. Н.	4	127	Гельмуханов Ф. Х.)			Шумянцева В. В.	6	110
Фрейман Ю. А. (см. Вер-			Чепкунас Л. С. (см. Ста-			Шуряк Э. В.	9	11
кин Б. И.)			ровойт О. Е.)					
Френкель В. Я.	9	82	Чернин А. Д. (см. Френ-			Щ екинов Ю. А. (см.		
			кель В. Я.)			Вайнер Б. В.)		
Х анн В. Е.	6	36	Чесноков Б. В.	10	73			
Хайкин Р. Б.	4	40	Чесноков В. С.	6	126	Ю сман И. М. (см.		
Харкевич Д. А.	1	104	Чесноков Н. И.	4	59	Журавлев А. П.)		
Хисина Н. Р.	10	85	Чудаков А. Е. (см. До-					
Хлопин И. Н.	4	50	могацкий Г. В.)					
Хозе В. А. (см. Ураль-			Чуянов В. А.	5	63, 85			
цев Н. Г.)								
Хохлов А. Н.	3	50	Ш алагин А. М. (см.					
Храбрый В. М. (см. Ти-			Гельмуханов Ф. Х.)					
хонов А. Н.)			Шебалин Н. В.	4	69	Я рмолук В. В.	4	79
Храмов Ю. А. (см. Вер-			Шевченко В. А.	11	24	Ярошевский А. А.	10	93
кин Б. И.)								

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Е. М. ПУШКИНА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:

Г. И. ПАНКОВА, С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА
Художник П. П. ЕФРЕМОВ

Художественные редакторы:

Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией

О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА,
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

В художественном оформлении

номера принимали участие
Н. Х. БУТЫРИНА,
В. С. КРЫЛОВА,
Р. Э. МАТКАЗИН,
В. А. СКРЕБНЕВ

Ордена Трудового Красного

Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:

117049, Москва, ГСП-1,
Мароковский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 29.09.89

Подписано в печать 14.11.89

Т—19 001

Формат 70×100 1/16

Бумага офсетная, № 1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1459,0 тыс.

Уч.-изд. л. 15,4

Тираж 54 500 экз.

Зак. 2365

Цена 80 к.

Ордена Трудового

Красного Знамени

Чеховский полиграфический

комбинат

Государственного комитета СССР

по печати

142300, г. Чехов

Московской области

ПРИРОДА

1⁹⁰



Сейчас уже очевидно, что человек своей деятельностью вызвал антропогенную эволюцию растительности, изменяющую облик нашей планеты. Чтобы этот процесс не привел к фатальному исходу, специалисты ищут пути управления им.

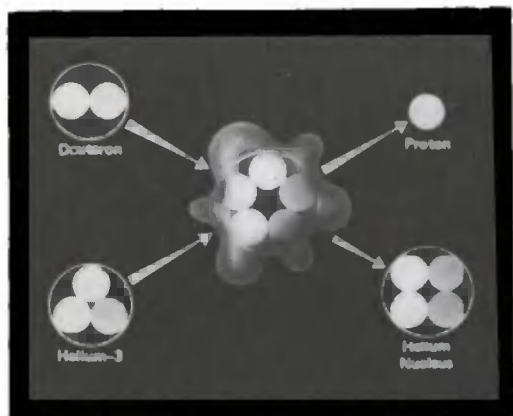
Миркин Б. М. АНТРОПОГЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Происхождение многих месторождений нефти и газа, не «вписывающихся» в господствующую концепцию нефтегазоаккумуляции, объясняется капиллярными процессами в пластах.

Большаков Ю. Я. НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ НЕФТЕГАЗОАККУМУЛЯЦИИ

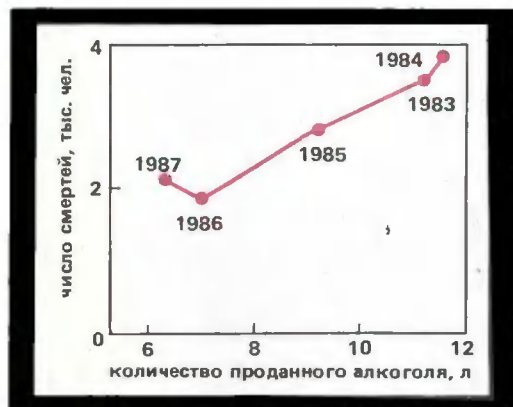
Существуют по крайней мере три стрелы времени — термодинамическая, психологическая и космологическая. Только когда их направления совпадают, могут возникнуть условия, подходящие для развития разумных существ.

Хокинг С. СТРЕЛА ВРЕМЕНИ



Возможно, развитие космонавтики сыграет главную роль в решении проблем энергетики будущего — большие запасы топлива для экономичных и безопасных термоядерных реакторов обнаружены на спутнике нашей планеты.

Кульчински Дж., Шмитт Х. ТЕРМОЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО... С ЛУНЫ



Для долгосрочного прогноза алкогольной ситуации в мире, для разработки антиалкогольной стратегии в нашей стране важно оценить глобальные тенденции, связанные с потреблением спиртных напитков.

Немцов А. В. ПОТРЕБЛЕНИЕ АЛКОГОЛЯ КАК ГЛОБАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА

В международном проекте «Геном человека» соединились усилия специалистов по молекулярной биологии и информатике. На стыке этих наук бурно развивается новая дисциплина — компьютерная генетика.

Певзнер П. А., Твардовский Т. БАНКИ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ПРИРОДА

80 к.
Индекс 70707

