

## Тайна земных катастроф

*Гангнус А.А.*



Эта книга - о поисках путей научного прогнозирования природных процессов, порождающих одно из самых страшных стихийных бедствий — землетрясения.

- О книге
- Путешествие за мыслью (вместо пролога)
  - Цель науки
  - Геопрогноз и география
- Хаитский завал
  - Я - "Наука-1"
  - Завал
  - Ответственность ученого
- Солёный хребет
  - "Пророческий" сон
  - За предвестниками в Ташкент
  - Солёный хребет

- Джинн из бутылки
- Дирижер землетрясений
- С водой или без воды?
- Плазма в горах
- Современные оракулы
- Постичь исток причин исконных...
- Ничто обо всем или все ни о чем?
- Решать или не решать?
- Когда земля крикнула
- Скажи мне, кудесник...
- Еще о прогнозе в стихах и в прозе
  - Провал, взрыв, сдвиг
  - Умная, снисходительная природа
  - Музыка недр
  - Землетрясения и электричество
- Сейсмогеография
  - Снова хребет петра
  - О могуществе статистики
  - Палеосейсмо...
  - Когда спящий пробуждается
- Психология научной революции
  - Куда оно движется?
  - Азарт новаторства
  - Семь раз проверь...
- Получаем результаты
  - Феникс из пепла
  - Мобилизм в гармском районе
  - Рифт или рамп? рифт!
  - Рифт или рамп? рамп!
  - С очагом лицом к лицу

- О вреде праведного консерватизма
- Между Лавразией и Гондваной
  - "Как будто Крым"
  - Вахшский надвиг
  - Как мобилисты Японию утопили
  - Глубокие землетрясения в центре материка
  - Остановиться и подумать!
  - Снова сдвиг и взрыв
  - Пространство сейсмотектоники
  - Бомбы в мантии
  - Подпорка крыши
  - Энергия, накопленная в прошлом
- К новому геопрогнозу
  - Землетрясения и вулканы
  - Металлы и мобилизм
  - Релятивистская геомеханика
  - Иерархия циркуляций
  - Цепная реакция земли
  - Соль тектоники
- Геопэзия (вместо эпилога)
  - Сейсмическая мутность
  - Дрейф неоднородностей
  - Сейсмовидение
  - Земля-корабль
  - О пользе аналогий
  - Цель или следствие?
  - Что любит и чего не любит природа?
  - К новому единству
  - Десять лет спустя
- **Карты**

- **Рис. 7. Сейсмичные зоны (заштрихованы) и механизмы землетрясений мира.\***

Источник:

Гангнус А.А. 'Тайна земных катастроф' - Москва: Мысль, 1985 - с.189

*Второе издание*

Заведующий редакцией **А. П. Воронин**

Редактор **Н. А. Рожкова**

Редактор карты **О. В. Трифонова**

Младший редактор **С. С. Карийский**

Оформление художника **А. А. Антонова**

Художественный редактор **С. М. Полесицкая**

Технический редактор **Л. П. Гришина**

Корректор **Г. С. Михеева**

Г 1904030000-009 ББК 26.21  
004(01)-85 157-85 Г 19

## Путешествие за мыслью (вместо пролога)

### Цель науки

Вы совершаете решительный поступок. Вам кажется, что вы, человек разумный, рассчитали все последствия своего действия, и все равно вы бываете удивлены бесчисленностью непредвиденных следствий вашего поступка и тем, как далеко они заходят. Или тем, как он ровно ничего не меняет... При этом вы можете задуматься о том, что само ваше решение, выношенное в муках и потребовавшее, на ваш взгляд, самообладания и характера, - это в огромной мере следствие тысяч событий, которые носят характер случайности или необходимости, но и в том и в другом случае не зависят от вас.

Так вы оказываетесь в какой-то момент один на один с великой проблемой детерминизма, причинно-следственных связей в окружающем вас мире. И когда вопрос о решительном поступке будет далеко позади, вы, возможно, заинтересуетесь проблемой в целом.

Ведь по существу причинно-следственные связи в окружающем нас мире - это то, чем в значительной мере заняты с самого основания и литература, и почти все науки. И это не праздное любопытство, хотя раскрытие всех связей увлекательнее любого детектива. Установив эти связи, человек может экстраполировать закономерности в будущее. Предвидение, прогноз... Основной целью науки считал прогноз Д. И. Менделеев, сам давший миру необычайно глубокие и важные орудия пророчества - научные законы.

Как далеко заходит связь вещей? Позволяет ли она давать абсолютный прогноз - расчет "судьбы", то есть всех событий, на целые эпохи вперед? Есть ли принципиальные ограничения способности предвидеть?

Прогноз метеорологический. Прогноз вулканических и сейсмических катастроф. Прогноз экологический: о перспективах все большего вмешательства человека в дела земные и космические. Прогноз экономический и социальный. Прогноз геологический: надолго ли хватит нам земных богатств и куда лучше обратить поиск? Прогноз эпидемий гриппа, насморка и инфаркта - самых массовых болезней века. Прогноз генетический: как поведут себя законы эволюции в условиях все более искусственного отбора? Да и судьба самого человека как биологического вида нам безразлична: чем будет заменен фактор естественного отбора, более над нами не властный?

Прогноз - это то, что должен непрерывно иметь в виду даже палеонтолог - исследователь далекого прошлого, изучающий климатические и биологические революции в жизни Земли. Прогноз - это то, чего ждет от ученого общество. И наконец, будучи занят прогнозом, ученый должен хоть отчасти предвидеть и пути дальнейшего исследования, а также последствия всей своей деятельности. Прогноз прогноза.

Большая книга о Прогнозе во всех аспектах этой темы - давняя мечта автора. Несколько последних лет были заняты подходами к воплощению этой мечты, но, когда дело доходило до пера и бумаги, каждый раз получалось что-то вроде очередного предисловия к большой теме причин и следствий в этом мире, к тем тонкостям причинно-следственных связей, которые позволяют в той или иной мере конструировать будущее. Одна из рядовых глав, посвященная сейсмическому прогнозу, разрослась, вытесняя прочее. И не случайно: книга целиком написана в далеких горах, на сейсмической станции. Обстановка обязывала. Автор признается: большая книга "о прогнозе вообще" - для него по-прежнему задача отдаленного будущего. Отсюда подзаголовок этой книги. Перед читателем - несколько предисловий к теме прогноза вообще и прогноза опасных природных явлений в частности.

Приведу небольшую таблицу. Каждая цифра в столбце справа весьма драматично характеризует важность прогноза тех событий, наименование которых обозначено слева. Эти цифры - число жертв, подсчитанное (примерно) отделом природных катастроф Смитсоновского института (США) за 1947-1970 годы.

Вид бедствия	Число прямых* жертв на Земле (тысяч человек)
Циклоны, тайфуны, штормы, ураганы	760
Землетресения	190

Наводнения	180
Грозы	20
Цунами	15
Извержения вулканов	7
Внезапная жара	5
Туман	3
Внезапный холод	3
Лавины	3
Оползни	3
Дожди	1

\* Косвенные жертвы (их число оценить невозможно) - это больные, конец которых был ускорен стихийным бедствием, это жертвы нервных потрясений, сердечных приступов, вспышек голода, эпидемий, сопровождающих бедствия.

Наибольшее внимание в этой книге автор уделил второму по важности бедствию. Но проблемы у всех видов прогноза общие. И главная из них - общеполитическая, общенаучная - о пределе наших возможностей в предвидении будущего.

## Геопрогноз и география

Итак, книга о геопрогнозе. Это о какой же науке пойдет речь? География, геология, геофизика, геодезия, геохимия... Науки о Земле, принято сейчас говорить. Выросшие некогда из единого ствола древнего землеописания - географии науки о Земле разошлись далеко по путям специализации. У них разный язык, разные методы. И геофизик-сейсмолог скорее договорится с физиком-акустиком, а

геохимик с химиком, чем оба представителя геонаук между собой. Но когда они находят общий язык, да еще догадаются пригласить географа-гидролога, появляется новый метод прогноза сильных землетрясений- по дебиту радоновых источников. Задача геопрогноза - особая задача, она не терпит межевых столбов. Если географ, занятый прогнозом оползней и обвалов, попытается на Памире или Тянь-Шане решать свою задачу без помощи сейсмолога, он обречен на неудачу: причины оползней - специфические, географические, вернее, геоморфологические, а вот спусковым крючком, поводом для разрушительных обвалов и оползней обычно оказывается землетрясение. Предмет изучения наук о Земле один, и он требует нового объединения на новой основе...

Может быть, этой новой основой будет та же древняя прародительница - география, только наполненная новым содержанием? Земля - сложнейшая система, ее изучение требует соответственно, как принято говорить, системного подхода... Но эта геосистемность - все связано со всем! - была в методе прежней, нераздробленной географии. И не станут ли предметом изучения будущей географии общие для всех нынешних наук о Земле пограничные задачи - задачи геопрогноза, например? А то ведь и не знаешь порой, что осталось в ведении древнейшей из геонаук: даже метеорологи, климатологи, гляциологи, океанологи, геоморфологи все чаще именуют себя не географами, а то геологами, то геофизиками.

К самым специальным физическим и химическим свойствам Земли возможен общепланетарный, географический подход. А если есть такой подход, то и задача пишущего проясняется. Надо увидеть, услышать и показать за уютом горных кишлаков, журчанием арыков, ревом горных рек, гулом дождей и ватной тишиной облаков под ногами притаившуюся грозную опасность, подготовленную всем ходом грандиозной истории Земли...

Но вернемся к вопросу о решительном поступке. Может получиться, что таким большим решением для вас окажется разрыв с привычным, каким-то уж слишком гладким и поистине предсказуемым существованием, бросок в дальнюю научную экспедицию, как раз и занятую вплотную раскрытием причинно-следственных связей в окружающем мире специально с целью нащупать пути проникновения в будущее, пути прогноза...

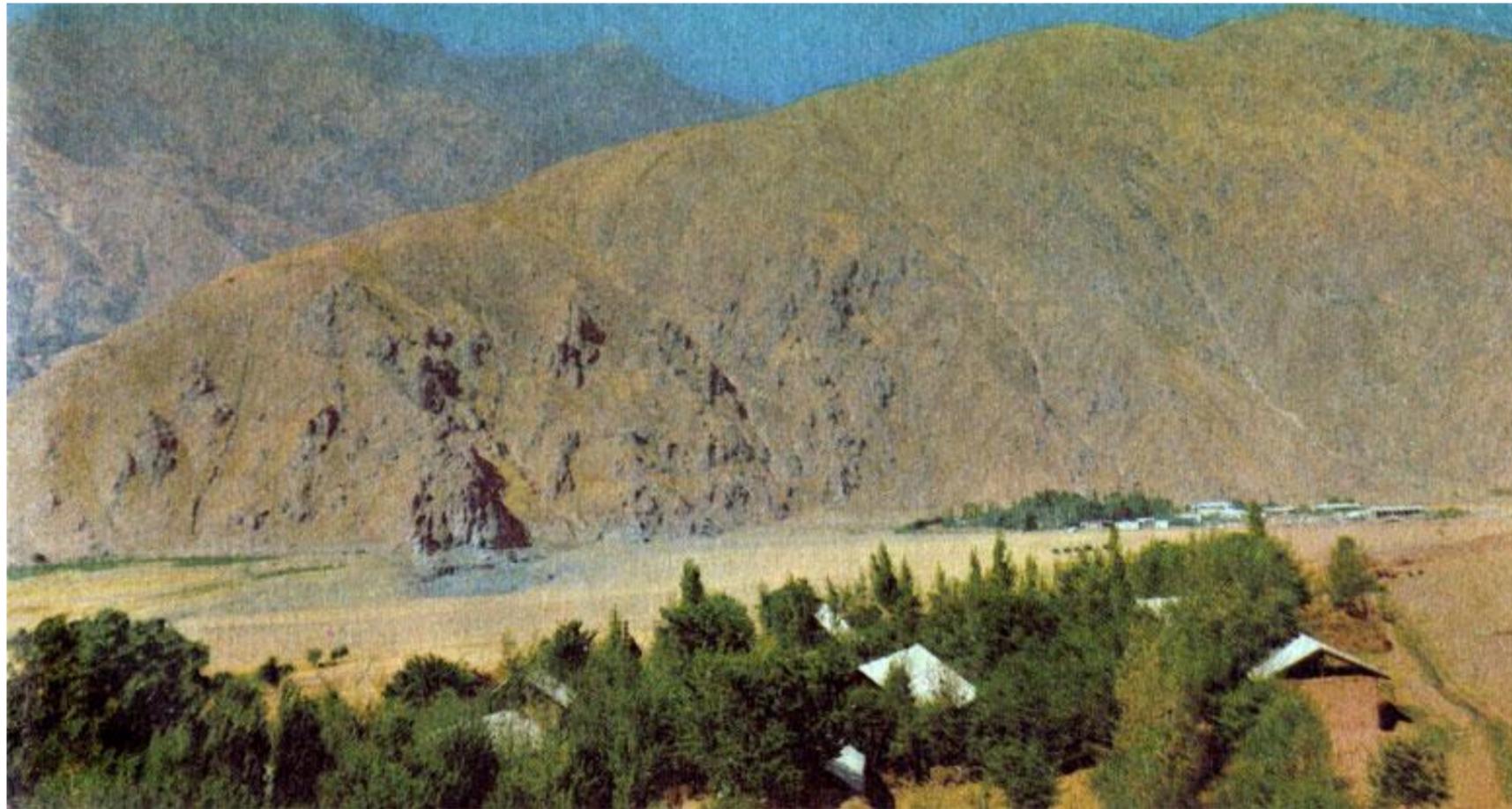
## Хаитский завал

КОМАНДИРОВОЧНОЕ УДОСТОВЕРЕНИЕ.

Дано ГАНГНУСУ АЛЕКСАНДРУ  
АЛЕКСАНДРОВИЧУ в том, что он,  
являясь инженером Комплексной  
сейсмологической экспедиции  
ордена Ленина Института физики  
Земли АН СССР, командирован,  
с... по... в Таджикскую, Киргизскую,  
Узбекскую, Казахскую ССР.  
Зам. директора института (подпись)

## Я - "Наука-1"

Уже через неделю после приезда в Гарм, в самую июльскую жару, я оказался посреди широкой, голой и абсолютно безлюдной долины реки Ясман. Обливаясь потом, я ковылял по каким-то каменным буеракам, поросшим густо-зеленой травой юганом, то и дело проваливаясь в замаскированные этой зеленью ямы. Юган был похож на укроп, но пахнул иначе, да и предупредили уже меня - не трогай, ядовит, оставляет долго не заживающие язвы.



*Вот она, наша Гармская обитель, на другом берегу мутного Сурхоба, под крылышком гранитной махины горы Мандолюль.*

Я ковылял, стремясь зайти повыше, время от времени останавливаясь и высматривая вдали уцелевшую окраину Хаита. Затем и ковылял - нужна была "прямая видимость" с сейсмостанцией "Хаит". Позади на дороге остался "уазик" с шофером, не захотевшим ломать машину на буераках. Шофер был прав, но мне досадно на него и жарко. Градуса сорок два было, не меньше.

- "Наука"! Я - "Наука-1"! - лоя ртом раскаленный воздух, время от времени повторял я в маленький переносной передатчик.

"Наука" не отвечала.

"Наука" - это аспирант Миша Якубов. Появление в экспедиции этого тихого, скромного человека не столько предвещало, сколько знаменовало начало важных перемен для Гармского "куста" сейсмостанций.

До сих пор каждую из полутора десятка станций обслуживают двое станционников, как правило, муж и жена. Иногда две пары. Значительная часть всех материальных сил экспедиции уходит на обслуживание этих станций - ремонт, строительство, снабжение.

"О, то ж могучая организация - КСЭ", - восхищенно проговорил как-то один из моих сослуживцев, Виталий Пономарев, с присущим ему восточноукраинским акцентом. Он полулежал на зеленой травке, наблюдал за тарахтящим бульдозером, разравнивающим площадку вокруг монументального нового здания сейсмостанций Чиль-Дара (к югу от Гарма). Восхищение это было отчасти небескорыстным. Мы были на субботнике, и появление бульдозера сразу сделало все мероприятие приятным отдыхом на природе. Справедливость же этого восторга не вызывала сомнения. Трудями Игоря Леоновича Нерсесова, нашего шефа (с 1955 года) КСЭ (Комплексная сейсмологическая экспедиция) превратилась в мощную разветвленную всесоюзную сеть с громадным штатом, бюджетом и хозяйством. Основа этой сети - сейсмостанций. Оторванные от мира станционники ведут сплошную запись даже пустых, без землетрясений, периодов на фотобумагу, проявляют и даже делают первичную обработку сейсмограмм на месте. Всё почти как в канун первой мировой войны, во времена основоположника этой науки Б. Б. Голицына.

Но вся эта монументальность в последнее время все чаще вызывает у специалистов ощущение чего-то устаревшего - вроде динозавров в эпоху появления первых млекопитающих. Сила, могущество - и какая-то моральная изношенность.

Автоматические станции, если их поставить в безлюдных местах, только принимают и передают по радио толчки землетрясений, передают на центральный пульт. Причем принимаемый сигнал вовсе не обязательно тут же записывать на фотобумагу. Можно на магнитную ленту. А потом - с любым усилением и только нужные места - воспроизводи хоть в десятке экземпляров. За полтора года, что нам довелось быть в экспедиции, были подписаны очень важные международные соглашения о сотрудничестве в области охраны среды (в том числе и сейсмического прогноза), и в Гарм зачастили американцы. Их аппаратура появилась и там, где мы бродили с аппаратами Миши Якубова. И она была уже автоматической и телеметрической. Установилось что-то вроде переходной эпохи. Новую технику - с магнитофонами - привезли и наши инженеры, но установили пока на обычной сети прежних станций.

Но все это было потом. А пока "Наука" не отвечала. Ни мне, ни, как потом оказалось, "Науке-2", Владу Мартынову, который не шагнул, как я, а карабкался в это время вверх по крутому склону другого ущелья, на север от Хаита, вблизи сейсмостанций "Туратол".

- "Наука-1", "Наука-2", как меня слышите? Прием, - час за часом охрипшим голосом повторял Миша Якубов. Он нас не слышал, и это было неприятно: срывались эксперименты по передаче сейсмического сигнала.

Хороший диапазон, УКВ. Связь на ультракоротких волнах надежная и ясная, но УКВ, как лучи света, идут только по прямой. А вокруг горы, да еще какие! Вот и сейчас УКВ не проходят: мешает, наверное, вон тот выступ у выхода из долины. Мне уже кажется, что я различаю розоватый домик сейсмостанций "Хаит" у подножия горы, той самой, с которой сорвался роковой обвал. Наверное, обман зрения: ведь двадцать километров отсюда. А вот серый скол все еще свежих пород на горе виден и вправду совершенно отчетливо. Прямо у этого скола американцы через год поставят свою автоматическую станцию.

- Я - "Наука-1", - неуверенно убеждаю я себя и еще Мишу Якубова, который меня то ли слышит, то ли нет... И основательно проваливаюсь в очередную яму, прикрытую юганом, на этот раз чуть не сломав ногу. Однако что же это за буераки такие?

Растирая ушибленное место, я вдруг вспомнил... Перед глазами возник рисунок из классической уже книжки И. Е. Губина, старого геолога, исходившего здесь все с двадцатых годов, когда он начинал работать, еще нередко под обстрелом басмачей. Разлапистое, как дерево, было изображено на рисунке это самое Ясманское ущелье и рябью - волны, наступающие на его дно со склонов. Так осыпались, оползали эти склоны дважды - во время Гармского землетрясения 1941 года и во время Хаитского землетрясения 1949 года. Вот почему буераки, вот почему пустынна эта заманчиво-красивая долина! Несколько кишлаков погребено здесь под кучами валунов и земли. Я посмотрел в сторону Хаита.

## Завал

Одинокая стоит посреди огромного разлива Сурхоба и впадающих в него Ясмана и Обикабуда чайхана. Одна-две машины всегда у дверей. Посетители сидят на дощатых помостах, устланных мягкими коврами и курпачи - стегаными ватными ковриками, обязательно разувшись. Чай только зеленый, черный здесь не пьют. Сахару к чаю дадут, если попросить, но обычно и этого нет, только лепешки, да еще бывает пичак - комочки сладкого высохшего теста, замешанного на бараньем жире. Довольно вкусно и сытно. Говорят, чайхана была здесь и до 1949 года - на окраине Хаита. Теперь поселка нет, а чайхана есть. Напротив на небольшом возвышении - памятник из белого крупнокристаллического местного мрамора. Женщина с точеным классическим горнотаджикским лицом. Скорбь, задумчивость, тишина - памятник надгробный.

Нас много, человек пятнадцать. Американские сейсмологи в основном, некоторые с женами. И несколько наших. Молоденькая миссис Дитерих, жена известного сейсмолога, кладет к подножию памятника букет маков - начало июня. Вокруг необычная для гор ширь, кругозор в некоторых направлениях километров на пятнадцать - двадцать. На юге, за Сурхобом, высится пик Петра Первого - высочайший в одноименном хребте. Завал - на северо-восток, Ясманское ущелье - на северо-запад. Воздух кристаллической чистоты. Нежная, еще весенняя, не тронутая жгучим летним солнцем зелень смягчает суровые очертания крутых склонов, изборожденных красными шрамами - срывами дерна и почвы. Эти срывы здесь особенно многочисленны, их все меньше по мере удаления от эпицентра землетрясения.

Американцы жадно спрашивают, записывают. Еще бы! Центральными пунктами советско-американской программы в области сейсмического прогноза стали по существу Хаит в СССР и разлом Сан-Андреас на западе США, где под угрозой катастроф были и остаются города Лос-Анджелес и Сан-Франциско.

Потом мы поднимаемся на завал. Я много раз ходил по нему, прыгал с глыбы на глыбу, вглядываясь в черные щели, зияющие до сих пор кое-где между камнями, любясь мирными озерами с дикими утками и камышами, неожиданно появляющимися среди каменного хаоса. Я смотрел вниз, в долину, как бы совмещая себя с порывом грязекаменной стихии, несущейся на мирные дувалы...

В этот раз я угадывал все те же мысли и переживания на лицах наших иноязычных гостей. Вот рыжий Джон Бергер, молодой синеглазый весельчак, с явно обдуманном намерением отделился от группы, углубился в хаос завала, стал там на возвышении и полчаса простоял неподвижно, скрестив руки на груди, глядя вниз, в долину. Старый, мудрый мистер Кук, сейсмолог из штата Юта, остановился, не в силах побороть одышку. Указывая рукой на вздыбленные валы из камней, сказал: "Как большие волны" - и застыл, снова и снова окидывая долину печальным взглядом.

Валы и вправду похожи на застывшие волны. Их несколько на стрежне каменного потока. Каждый вал, подпруживая текущие по долине ручьи, образовал озеро. Большинство этих озер давно заилилось и вытекло через промытые в завале каналы. Заиленное дно такого озера становилось ровной площадкой, поросшей зеленой травой и кустарником, тенистыми деревьями. Странно видеть эти абсолютно ровные, как футбольные поля, площадки среди каменных нагромождений. На такой площадке у прозрачного ручья так и тянет построить дом и зажить в свое удовольствие. И жители Хаита так и поступали - строили и жили на зеленых лугах среди заросших остатков древнего и забытого, но точно такого же завала.

Почему люди так фатально привязаны к опасным местам? С какой-то настойчивой закономерностью такие подверженные периодическим катастрофам местности оказываются самыми привлекательными. Людей влечет склон вулкана, где природа буйствует в своей щедрости на плодородном вулканическом пепле. Кишлаки в Таджикистане чаще всего стоят на конусах выноса - наклонных ровных площадках, образованных плодороднейшей почвой, вымытой реками с гор.

(Эта плодородная почва - лёсс. Откуда здесь лёсс? Каждое лето, а часто и в начале осени прозрачная горная даль мутнеет, становится желтой и даже коричневой. Иногда с базы экспедиции не видно даже ближайших обрывов противоположного берега Сурхоба - это две-три сотни метров. Солнце с трудом пробивается через эту мглу, холодает. На фруктах, овощах, на оставленных вещах появляется пыльный, жирный на ощупь налет. Афганец, ветер с юга, несет взметенную там пыль обширных равнин, разоренных полей, заносит ее чуть ли не в стратосферу и тысячелетие за тысячелетием откладывает эту пыль в горах Памира и Южного Тянь-Шаня. Происходит удивительное географическое явление. На высоких горных вершинах, классических областях сноса наращиваются метры почв. Часто этот процесс явно опережает темпы сноса. И тогда горы, скалистые по бокам, в обрывах, сверху представляют собой плодороднейшие поля. Когда-то каждый метр лёссового склона и даже вершины гор обрабатывались и поддерживали существование жителей изолированных в горах кишлаков. О природе лёссов спорят. Некоторые доказывают, что лёссы чуть ли не ледникового происхождения. Тот, кто видел регулярность и масштабы выпадания плодородной пыли из афганца, не может не стать решительным сторонником "эоловой" теории образования лёсса.)

Естественно, по конусам выноса периодически проносятся всё сметающие и погребаящие сели - грязекаменные потоки, уничтожая сады и постройки. Люди ставят города (и Хаит так стоял) у слияния рек, где очень часто пересекаются глубокие разломы, а в местах пересечения повышается вероятность сильного землетрясения. А Хаит стоял к тому же на завале, оставшемся от предыдущего, древнего, такого же или еще более сильного землетрясения.

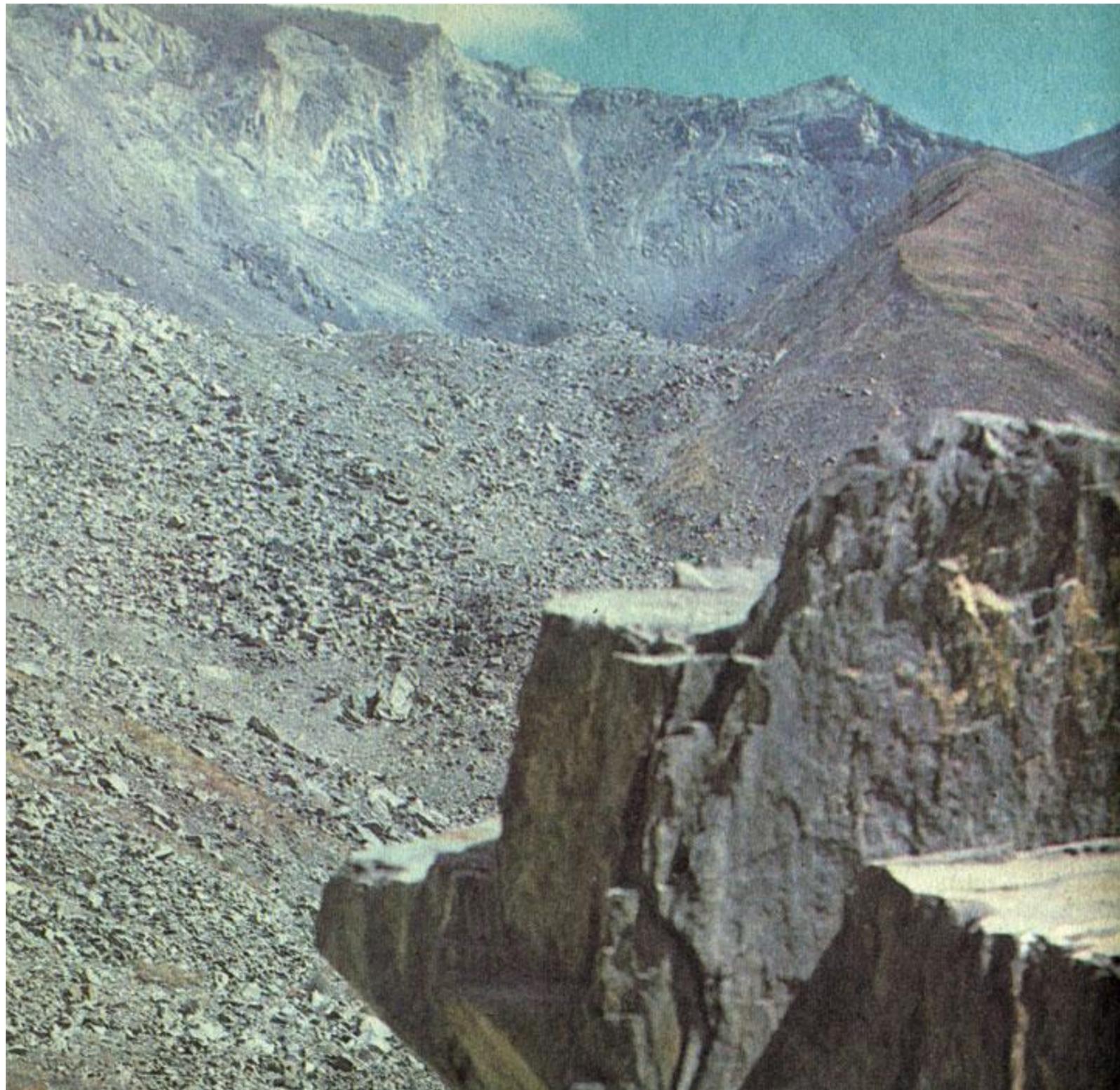
В природе многие процессы не единичны, а подвержены цикличности, возврату на круги своя. Я разговаривал с хаитским таджиком, хорошо помнящим землетрясение и жизнь хаитцев до катастрофы. Человек верующий, он убежден, что Хаит наказан аллахом за грехи: поселок якобы выделялся в долине свободой нравов во взаимоотношениях мужчин и женщин. Но он отлично помнит, что вершина над поселком была очень странной, необычной. Она была раздвоена по гребню, как бы разрублена неведомым страшным ударом. Геологи называют такую структуру вершинным грабеном. Мой друг душанбинский геолог Валерий Кучай считает вершинные грабены верным признаком сильнейших древних землетрясений и много показывал их мне с воздуха во время облета Сурхобской и Алайской долин. Саимрон - так зовут хаитца - пацаном много раз лазил в странную щель на вершине. Там били ключи и было зелено - прекрасное пастбище. Но старики считали это место нехорошим. Именно по вершинному грабену раскололась гора во время главного толчка 10 июля 1949 года, и половина ее, четверть кубического километра гранита, рухнула вниз, ударила в противоположный борт ущелья, взметнулась (стоячая эта волна хорошо видна и сейчас) и, ударяя, шарахаясь от борта к борту, каменной массой кинулась вниз.

Снова и снова прокручивает природа эффектный и страшный сценарий. Удар землетрясения - вынос миллиардов тонн камней в долину, снова удар. Все в ту же точку, как будто с целью. С целью... Иногда в науке полезно такое нарушение философской схемы - в конце цепочки причин и следствий поставить как бы "цель", конечный прогнозируемый результат процесса.

Что же происходит в районе Хаита?

Здесь сходятся под тупым углом две близширотные структуры. Одна, более древняя - долина Сурхоба - широким корытом устремляется на восток, к китайской границе. Другая, более молодая, соединяющая в одну прямую долины рек Комароу и Ясмана, выходит навстречу долине Сурхоба, но на этой прямой линии встает препятствие - гранитная глыба горы, нависшей над Хаитом. Землетрясение каждый раз бьет в точку, куда нацелилась прямая как стрела долина Ясмана.

Похоже, природа "не успокоится" здесь до тех пор, пока не пробьет две оставшиеся перемычки на этой прямой - выступ у Хаита и водораздел Комароу и Ясмана, эпицентр другого крупного землетрясения, Гармского, 1941 года. Для чего "нужна" природе такая прямолинейность и законченность, не совсем ясно. Может быть, здесь закладывается новый великий разлом, подобный Сурхобскому?



*Эпицентр Хаитского землетрясения, "извержение" каменных масс из расколовшейся горы. Вблизи это все еще свежая, не затянутая временем рана.*

Сколько завалов, подобных Хаитскому, в скрытом и явном виде разбросано по просторам великой горной страны Памиро-Тянь-Шаня?

Основатель научной сейсмологии академик Б. Б. Голицын в 1915 году доложил на заседании физико-математического отделения Академии наук о сильном землетрясении, потрясшем сердце Памира. "С тех пор прошло более четырех лет, - сказал Борис Борисович, - и об этом землетрясении, вероятно, все забыли бы, если бы впоследствии не обнаружилось, что в тот же самый день и час произошел на Памире около местечка Сарез громаднейший обвал горы, заваливший собою часть долины реки Мургаб, или Бартанг, на месте которой образовалось озеро" (Голицын тогда, впервые в истории сейсмологии, подсчитал энергию Памирского землетрясения и кинетическую энергию обвала. Оказалось, эти энергии очень близки по величине. И Голицын предположил, что возможен хотя бы частичный возврат к обвальной теории очага землетрясения, характерной для древнего географического этапа в изучении подземных толчков. Может быть, не обвал вызван землетрясением, а, наоборот, сотрясение земли - обвалом?)

*Как позже выяснилось, Голицын ошибся. Энергия обвала может быть и большой, но она плохо проникает в толщу планеты и не способна вызвать мощную сейсмическую волну. Впрочем, слабые "географические" землетрясения - реальность. Когда в 1972 году по ущелью Малой Алма-атинки на столицу Казахстана шел грандиозный грязекаменный поток - сель, остановленный, к счастью, специальной противоселевой плотиной выше высокогорного катка Медео, первыми заметили, что в горах происходит что-то странное, сейсмологи. Скважинные сейсмографы сотрудника нашей экспедиции Е. И. Гальперина записали весь ход несостоявшейся катастрофы - все удары грязекаменной массы о борта ущелья и последний самый страшный удар о рукотворную преграду, спасшую город).*

Мургаб был перегорожен стеной высотой 600-700 метров. В этих глубочайших недрах был заживо похоронен небольшой кишлак Усой. Это во много раз больше, чем толща камней над Хаитом. Сарезское озеро нынче - одна из достопримечательностей Памира. Оно глубокое, затопленный кишлак Сарез лежит на глубине четверти километра, и это еще мелкое место.

...Многие красивые горные озера обязаны своим существованием подобным катастрофам, и они таят в себе опасность других бед. Таким было озеро Иссык над Алма-Атой, подпруженное древним завалом от древнего землетрясения. Оно существовало и радовало глаз сотни или тысячи лет, пока другая могучая стихия, сель, грязекаменный поток из набухшей ледниковой морены, не выплеснул озеро, пробив плотину. Мой старый знакомый Евгений Коломеец отдыхал в тот день на Иссыке и наблюдал катастрофу... плывя на лодке по обреченному озеру. Чудом оставшись в живых, он на всю жизнь сохранил воспоминание о противном ощущении: тебя выплескивают, как муху из чашки, и ничего нельзя сделать...

Озера рождаются и гибнут, и это нормальные проявления жизни растущих, непрерывно сотрясаемых гор. Но в горах и рядом с ними живут люди. И они не хотят быть мухами перед неистовством слепой судьбы...

## Ответственность ученого

- Мистер Кук, - спрашиваю я на другой день после экскурсии в Хаит, - представьте себе, что сейсмический прогноз у вас в кармане. Опубликовали бы вы сообщение о готовящемся сильном землетрясении?

Мистер Кук становится очень серьезным. Подумав, отвечает:

- Да, опубликовал бы.

- Ну, а если промашка? Риск ложной тревоги всегда же есть?

Мистер Кук твердо:

- Это неважно. Совесть ученого важнее его авторитета. Надо говорить, что думаешь, даже если не будут слушать.

- Мистер Кук, - настойчиво продолжаю я спрашивать, снова почувствовав себя репортером (дело происходило на банкете после Международного совещания по прогнозу землетрясений. Многие присутствующие подошли: тема заинтересовала). -Мистер Кук, вам известно, должно быть, что порой происходит на тихоокеанских островах, где уже неплохо организована служба прогноза цунами (*Цунами - огромные океанические волны от сильных "моретрясений"*). Людей среди ночи поднимают по тревоге: возможно цунами! Они хватают спящих, плачущих детей, вещи, бредут вверх по склону, сидят, мерзнут (цунами и зимой возможно). А цунами нет. Прогноз не стопроцентный! Через полгода та же история. А через год люди по тревоге никуда уже не идут: не верят. И тут-то оно и происходит. Да и если бы даже стопроцентный был прогноз... Представьте себе огромный город, парализованный ужасом перед близящейся катастрофой. Всех эвакуировать все равно невозможно. Паника, остановка производства, нервные срывы, инфаркты. Не кажется ли вам, что опубликование прогноза принесет больше вреда и убытков, чем землетрясение? Не проще ли строить прочнее и не думать о дамокловом мече? Вот вы сказали: совесть важнее. А не может так получиться, что, думая об очистке собственной совести, ученый забудет о конечной цели: чтобы людям стало лучше, а не хуже от действия или бездействия ученого?

Мистер Кук заволновался. Для него этот вопрос явно неакадемического плана:

- Это все очень важно. У нас много думают над этой стороной дела. Сейчас у нас в Калифорнии есть специальная комиссия, в ней три сейсмолога, два геолога и два социолога. Эта комиссия пропускает все поступающие прогнозы и взвешивает их всесторонне, с учетом психологии, экономики и т. д. Но и комиссия ошиблась. Она выпустила прогноз о близящемся землетрясении в районе Лос-Анджелеса. Дело было в конце 1972 года, перед рождеством. Шуму прогноз наделал немало. Землетрясения до сих пор нет. Авторитет ученых, конечно, поколеблен. Комиссия, возможно, в следующий раз осторожнее станет публиковать подобные прогнозы. Но ученый не вправе думать о своем авторитете перед лицом катастрофы. Лично я, даже если бы комиссия не согласилась со мной, считал бы себя обязанным обратиться к населению непосредственно. Дело тут не только в совести... Ну, а качество прогноза надо улучшать неустанно. Ведь для того мы здесь и собрались, не так ли?

Все дружно соглашались. Разговор переходит на другие темы. Но мистер Кук не участвует в нем. Устало опустив голову, замкнувшись, он явно продолжает обсуждать с собой эту острую для всякого ученого тему - тему ответственности перед людьми.

А я вспомнил два эпизода, связанных с недавней серией югославских землетрясений. Эпизод первый. Один мой знакомый сейсмолог опубликовал после землетрясения в Скопле 1965 года что-то вроде заключения с намеком, что повторных толчков лично он не ожидает. Толчок произошел чуть ли не через неделю после выхода его статьи в свет. И второй случай, более поздний. Сильный толчок потряс город Баня-Лука. И местный сейсмолог на свой страх и риск обратился при содействии властей к населению с призывом покинуть дома. Все вышли. Основной толчок через двадцать минут до основания разрушил город. И ни один человек не пострадал! Что руководило этим ученым? Интуиция опытного сейсмолога? Ведь точных методов отличить форшок (предваряющий толчок) от основного пока нет. Да, интуиция плюс страстное желание предотвратить гибель людей.

...И вот снова и снова вглядываюсь в карту Гармского района, испещренную точками - эпицентрами слабых землетрясений. Сейчас уже ясно: слабые землетрясения содержат в себе сигнал о характере идущих в недрах процессов, предупреждают о катастрофе. Как говорит наш шеф, проблема прогноза - это проблема шума. Как прочитать, как выделить этот сигнал из шума? Я мысленно возвращаюсь назад, к прошлогоднему лету, когда я, потрясенный Хаитом, сожженный солнцем, вернулся в Гарм, на базу, и сел за письменный стол с твердым намерением понять - без общих разговоров, без ссылок на авторитеты, - возможен ли прогноз, близок ли он...

## Соленый хребет

## "Пророческий" сон

...Людмиле Вермишевой, молодому физику, предложили поехать на далекий незнакомый Памир, в знаменитую экспедицию, изучающую землетрясения. Накануне отъезда Люсе приснился сон...

Людмила - в незнакомой ей пустынной стране с дикими скалами и быстрыми шумливыми реками. Внезапно она слышит рокот мотора и видит вертолет, который опускается недалеко от нее. Из машины выходит высокий седоватый человек. Он направляется прямо к Люсе, здоровается, спрашивает о работе, о планах. Услышав слово "Гарм" (вблизи этого таджикского города будет работать Люся), он кивает головой:

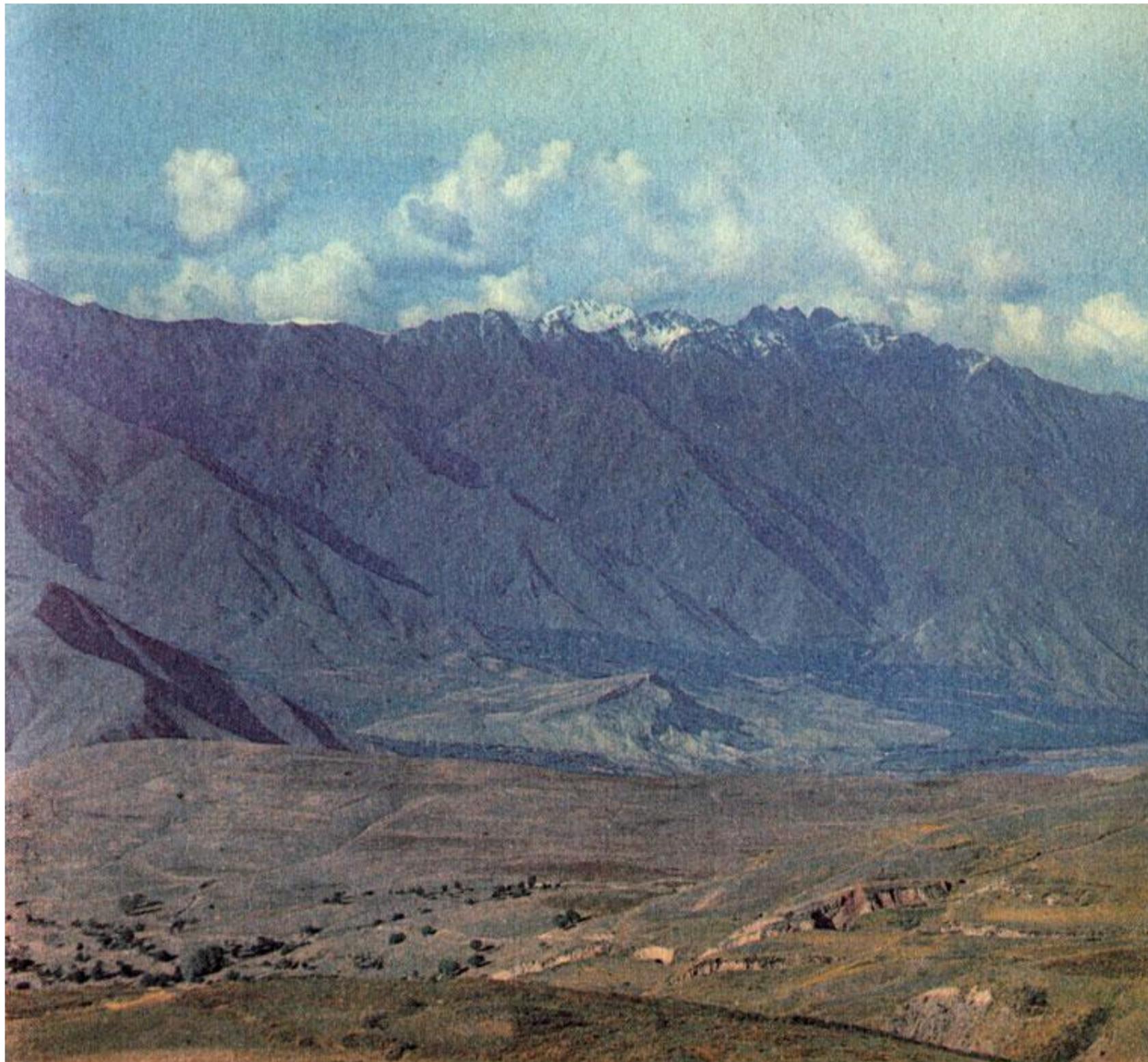
- Знаю. Это там, где 10 сентября будет землетрясение.

- Землетрясение?!

- Да... Впрочем, вы об этом еще узнаете. - Человек как будто смущен, похоже, он проговорился о том, чего говорить был не должен. Пробормотав слова прощания, он направляется к вертолету.

Люся приехала в Гарм и шутки ради рассказала о своем "пророческом" сне новым сослуживцам. Сейсмологи посмеялись, но, странное дело, когда наступило 10 сентября, все, кто слышал о сне, будто чего-то ждали: все-таки прогноз, пусть и ненаучный... 10 сентября землетрясения, конечно, не было. Оно было 13 сентября. Задрожали, запели пружины в диване, звякнула ложечка в стакане на столе, с тонким звуком лопнуло плохо вставленное оконное стекло. Люся выбежала на крыльцо. Над красными обрывами противоположного берега реки дымилось розовое облачко пыли - небольшой обвал от землетрясения, среднего: 11,5-го энергетического класса по шкале, придуманной когда-то сотрудницей экспедиции Татьяной Глебовной Раутиан. Это значит: энергия толчка  $10^{11.5}$  джоулей (Чтобы читатель не путался в разных единицах измерения, применяемых для определения силы землетрясений, привожу формулу пересчета магнитуд (шкала Рихтера) в классы:  $K=1,5M+5$  (для сильных землетрясений) и  $K=1,8M+4$  (для слабых).  $K$  - показатель степени, логарифм в выражении  $10^K$  джоулей. Столько энергии, значит, выделило землетрясение. Например, землетрясение 13-го класса считается средним, но, если оно произойдет прямо под городом, последствия могут быть печальными (именно таким было Ташкентское землетрясение 1966 года). Показатель  $K$  используется чаще в советской сейсмологии. Перевод энергии в баллы интенсивности см. на рис. 1.). Часты ли такие землетрясения в Гармском районе? Когда как. В среднем такое землетрясение происходит один-два раза в год, то есть не так уж часто. И точность в три дня для сейсмического прогноза - это еще не достигнутая мечта.

Прошел год. Так получилось, что инженер Вермишева в ходе одной работы должна была построить кривую, дающую, по теории, характерный упреждающий изгиб, если приближается сильное землетрясение. Она начала с мая 1973 года и увидела, что могла бы предсказать землетрясение, случившееся 13 сентября, не только во сне...



*Снимок сделан с южного, памирского берега реки Сурхоб. Райцентр Гарм расположен у подножия похожего на взметнувшуюся волну холма Ганч (глина - тадж.) - маленького и невзрачного, однако интересного не только гончарам, но и геологам кусочка меловых осадочных пород среди однообразия вознесенного до небес гнейсового "фундамента" Гиссарского хребта. Прямо за этой стеной был эпицентр сильного Гармского землетрясения 1941 года.*

Туда, к выходу из ущелья, устремились жители кишлаков, когда 8 июля 1949 года прошли первые толчки - задрожала земля и с горных круч поползли обвалы. Как назло (а может, эта связь и не случайна) накануне прошли дожди, редкие в это время года, и оползни отрывались от скального ложа совсем легко.

После первых толчков на место прибыла комиссия, спасатели, сейсмологи, кинооператор с самолета снял дымящиеся обвалами склоны. Дальнейшее происходило на глазах многочисленных свидетелей... Я слышал легенду (оговариваюсь: ничем не подтвержденную). Беженцы, расположившиеся лагерем у выхода из долины, ближе к могучему Сурхобу, попросили одного сейсмолога рассказать им о землетрясениях, отчего они бывают и т. д. Сейсмолог якобы встал на ящик продовольственной помощи (по другим вариантам, на бревно) и рассказал, как мог. Переводчик переводил на таджикский. После выступления - вопросы, как и положено. Самый важный вопрос: а будет еще толчок? Сейсмолог ответил обиняком: мол, землетрясения - это от накопления напряжений. Толчок снимает напряжение. Толчков, и сильных, было несколько. Значит, скорее всего не будет. В этот момент страшный удар сбивает сейсмолога с ящика. Опомившись, он вскакивает и видит бледные от ужаса лица людей, глядящих через него на Хаит. Оглядывается и видит тучу пыли над тем местом, где только что зеленели тополя поселка. Позднее я проверил: случая с лекцией, видимо, не было. Но легенда есть, и возникла она не случайно, в ней хорошо отражен уровень уверенности сейсмического прогноза, даже самого общего.

После главного толчка обвалы перепрудили реки. В полчаса долина превратилась в море грязи, где продолжали гибнуть люди и стада.

Рассказывают и о случаях чудесного спасения, о курьезах. Какой-то человек вел козу по окраине Хаита, противоположной от горы. Перед несущимся потоком камней возникла ударная волна, которая перебросила таджика с козой на другой берег реки, чуть не на полкилометра. Тот очнулся в кроне дерева, вместе с козой. Оба остались невредимыми.

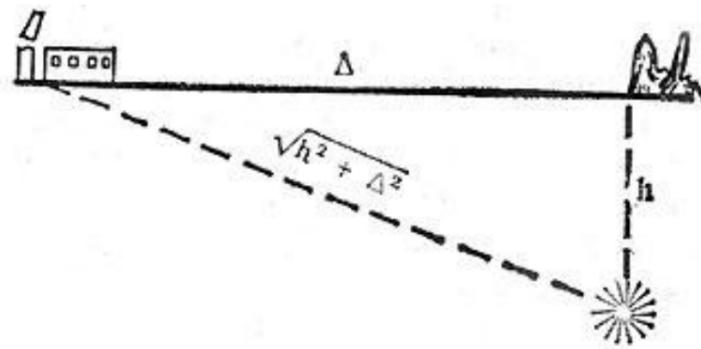
...Я вздрогнул. Из коробочки рации, висящей на боку, раздался тройной писк - вызов и ясный голос Миши Якубова:

- "Наука-1", я - "Наука", как меня слышите? Прием.

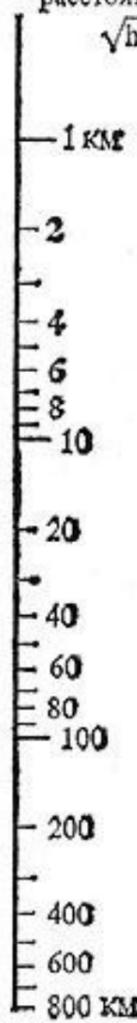
Есть связь! Я ответил Мише и с помощью компаса определился на карте: поставил точку. Точка легла рядом с надписью "Развалины кишлака Сафидоу". Сафидоу и еще 150 поселений, пострадавших во время Хаитского землетрясения 1949 года, были бы вне опасности, если бы катастрофа была предсказана...

## За предвестниками в Ташкент

Это было в раскаленном от жары Ташкенте в начале лета 1974 года. Японские кинематографисты продемонстрировали сейсмологам, участникам Международного симпозиума по поискам предвестников землетрясений, красивое и поучительное зрелище - гибель и погружение в мантию в результате "зловредной" подрывной деятельности мобилизма (возрожденной теории дрейфа материков) всей страны Восходящего Солнца. О зловредном мобилизме несколько дальше. Здесь же - важный момент из этого фильма. Главную катастрофу - погружение материка японские ученые, руководствуясь опять-таки строгой и стройной теорией тектоники плит, предсказывают и тем спасают народ от гибели. А вот разрушительные землетрясения, предшествующие катастрофе, не предсказывают, не могут... и это в фантастическом фильме! С тем большим рвением мы, участники симпозиума предсказателей (так нас иногда для краткости величали администраторы гостиниц), после просмотра фильма отдались выяснению того, что же в этом направлении делается и можно ли наконец предсказать землетрясение.



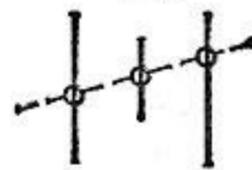
Глубина очага  $h$  или  
расстояние до очага  
 $\sqrt{h^2 + \Delta^2}$



Бальность

XII
XI
X
IX
VIII
VII
VI
V
IV
III
II

Схема



Магнитуда



*Рис. 1. Схема-ключ к пониманию разницы между баллами интенсивности, разрушительности землетрясения в данном месте и магнитудой (M), энергией самого толчка. Сила сотрясения убывает с увеличением расстояния до очага землетрясения в среднем по закону, учтенному составителями этой номограммы. Расстояние до очага определяется по формуле Пифагора, где катеты - глубина очага и расстояние по поверхности до эпицентра землетрясения (по Н. В. Шебалину)*

Снова и снова вспоминаются кадры гибели Токио, которые были очень похожи на документальные. Это правдоподобие, конечно, не случайно: в титрах мы увидели имя научного консультанта, профессора Такеучи, крупного сейсмолога. Дело в том, что катастрофа в Токио неизбежна (это статистический, а следовательно, безупречный прогноз!), и ученые все время прикидывают, что будет, когда она грянет. Бесстрастные ЭВМ смоделировали картину катастрофы, дали прогноз возможных потерь. 26 тысяч пожаров должно вспыхнуть в первую же минуту. Какая пожарная команда справится с этой стихией, тем более что толчка могут не выдержать и трубы водопровода? И чем дальше уходит в прошлое страшный 1923 год, год прошлого Токийского землетрясения, тем чаще его вспоминают, ибо неотвратимо приближается его повторение.

Вот только когда?

Почему-то, когда говорят о возможном предсказании землетрясений, прежде всего часто вспоминают какую-нибудь душещипательную историю: о собаке, за минуты до толчка вынесшей из дома ребенка, о рыбах, своим метанием в аквариуме предупредивших жителей деревни, и т. п. Но на Ташкентском симпозиуме биометоды предсказания не заняли сколько-нибудь серьезного места. Похоже, всем историям, живописующим инстинктивный прогноз животными сильных толчков, недостает достоверности, точности, воспроизводимости в эксперименте. В разговоре со мной собкор "Известий" по Ташкенту Г. Димов по этому поводу говорил вот что:

- Я лежал, как и тысячи прочих ташкентцев, на раскладушке в саду, смотрел в звездное небо и ждал очередного толчка. Почему-то тогда, в 1966 году, они происходили ночью. Лежал и думал: вот если сейчас толчок, почуют ли его собаки заранее? Как нарочно, раздался гул, после этого загремели крыши, на глазах качнулись стены, дома... и только тогда по всему городу взвыли собаки.

Животные в этом описании - простые участники паники, не более того... Нет, похоже, в решении проблемы прогноза человеку надеяться не на кого. Все дастся не вдруг, а обычно, путем кропотливого собирания фактов, осмысления, эксперимента...

...О настоящей сейсмической катастрофе помнят сотни лет, она оставляет след в культуре целых стран и поколений. Позволю себе еще одну цитату. Иоганн Вольфганг Гёте так вспоминал о катастрофе, которая произошла, когда ему было всего шесть лет, за сотни километров от Германии:

"Первого ноября 1755 года произошло Лиссабонское землетрясение, вселившее беспредельный ужас в мир, уже привыкший к тишине и покою... Земля колеблется и дрожит, море вскипает, сталкиваются корабли, падают дома, на них рушатся башни и церкви, часть королевского дворца поглощена морем, кажется, что треснувшая земля извергает пламя, ибо огонь и дым рвутся из развалин. Шестидесят тысяч человек, за минуту перед тем спокойные и безмятежные, гибнут в мгновение ока... Так природа, куда ни посмотри, утверждает свой безграничный произвол.

Скорее, чем весть о страшном событии, распространились (по Европе. - А. Г.) его симптомы; во многих местах ощущались легкие толчки, вдруг перестали бить некоторые источники, главным образом целебные. Люди богобоязненные тотчас же стали приводить свои соображения, философы - отыскивать успокоительные причины, священники в проповедях говорили о небесной каре... Мальчик (Гёте. - Л. Г.), которому пришлось неоднократно слышать подобные разговоры, был подавлен. Господь бог, вседержитель неба и земли... совсем не по-отечески обрушил кару на правых и неправых".

Да, это была настоящая катастрофа. Таких землетрясений за всю историю человечества насчитывается два-три, не больше. Тринадцатая часть всей поверхности Земли была охвачена Лиссабонским землетрясением.

В длинной цитате из Гёте современного ученого привлечет не только художественность, но и точность описания симптомов, например: "...перестали бить... источники, главным образом целебные" (то есть минеральные). На Ташкентском симпозиуме проблема участия (или неучастия) воды в подготовке землетрясения обсуждалась широко и подчас остро, а известное открытие советских ученых, обнаруживших изменения химического состава минеральных источников перед Ташкентским землетрясением 1966 года, оказалось важным для самых разных районов Земли.

Вот вкратце история этого открытия. Медики из Института курортологии и физиотерапии имени Н. А. Семашко вскоре после Ташкентского землетрясения сообщили, что содержание радона в целебных источниках местных курортов до и после толчка закономерно менялось. Начиная с 1957 года оно стало медленно расти. С 1960 по 1965 год рост был постоянным. Потом кривая круто взметнулась вверх, и к началу 1966 года содержание радона в лечебной воде втрое превысило первоначальное. Потом кривая снова стала пологой, как бы заколебалась. Тут и грянуло землетрясение. После него уровень содержания радона стал стремительно падать, пока не достиг прежнего уровня.

Вскоре, во время Сарыкамышского землетрясения 1970 года, которое тоже произошло в районе, славящемся своими целебными водами (на западе озера Иссык-Куль), эффект "предупреждения водой" был снова отмечен. Медики курорта Джетыюгуз жаловались, что стало трудно следить за содержанием радона в одной скважине курорта (оно заколебалось за три месяца до толчка), а в другой всегда холодная вода стала вдруг за два месяца до события быстро нагреваться. В третьей же скважине вроде ничего особенного не произошло, только необычно резко возрос напор - за месяц до толчка...

Так подмеченная закономерность стала открытием. Жаль только, что это случилось так поздно. Ведь еще в трудах академика Б. Б. Голицына, который, как говорят, все начал и обо всем сказал, указывалось на связь между сильным землетрясением и режимом минеральных источников. Более 60 лет назад Российская сейсмическая комиссия "постановила организовать правильные параллельные наблюдения как над температурой, пульсацией и дебитом Екатерининского источника в Боржоме, так и над одним из Эссентукских источников Пятигорской минеральной группы, одновременно с наблюдениями над различными сейсмическими явлениями". В этом постановлении особо отмечалась необходимость следить за содержанием редких газов. Открытие запоздало лет на пятьдесят... Но нет худа без добра. Задержалось открытие и объяснение прогностических эффектов. Зато это происходит сейчас, бурно и широким фронтом. Прямо на глазах. И я не могу не радоваться, что приобщился к сейсмологии именно в этот момент.

## Соленый хребет

Мы идем по соленой тропе. Соль блестит кристаллами на гладкой поверхности валунов, выступает корочками в трещинах старых камней. Кое-где попадаются красивые розовые полосатые камни - мягкие, они рассыпаются от нажатия пальцами. Это тоже соль, гипс. Гипсы из отложений каких-то древних юрских лагун или озер... Гипса так много, что даже вода относительно пресных речек и ключей хребта Петра Первого отдает сырой штукатуркой и не мылится.

Но не нравится эта соленая вода, видимо, только нам. Дорогу то и дело пересекает кабаньих след - к водопою. А вот и еще один, не кабаньих. Я оборачиваюсь, зову свою спутницу, показываю.

- Снежный человек? - без особого волнения спрашивает она.

- Медведь! И большой.

После этого известия спутница уже несколько взволнована, но медведь (даром что вокруг изобилие всяческих, больших и малых, медвежьих следов) к нам выйти не пожелал. Жизнь вокруг поистине кипит. Ущелье Руноу в этом месте все поросло облепихой, колючей, непролазной, усыпанной целебными ягодами. В городе это большая ценность, а здесь колючки и ярко-красные пятна, оставляемые облепихой на одежде, только заставляют чертыхаться. Над соленой бурлящей рекой высятся стройные деревья арчи, памирского можжевельника с хвоей, напоминающей запахом весну, завязи помидоров. Но сейчас осень, и над соленым болотцем начинают желтеть и осыпаться коричнево-бархатные с верхушки камышины-рогозины. Под ногами хрустит местами ледок, и вертикальная стена хребта, которая маячит перед нами, как будто не приближаясь и не удаляясь, сахарно-бела не от соли, а от свежего снега.

Почему насквозь просолен хребет Петра Первого, неясно. Может быть, дело тут не только в отложениях солей из высыхающих лагун исчезнувшего океана Тетис, как это принято считать. В глубине души я больше верю в глубинный, подкорový источник рассолов, пропитавших этот весь раздробленный разломами хребет. Но то, что он просолен, сослужило науке о сейсмическом прогнозе неоценимую службу.

Семь лет назад Олег Михайлович Барсуков, заведующий лабораторией электромагнитного прогноза Института физики Земли, вместе с группой сотрудников установил на северном склоне хребта Петра Первого, вблизи кишлака Газор-Чашма-Боло, небольшую дизельную электростанцию, весь ток которой... уходил в электроды, заземленные на расстоянии километра один от другого. Через пятнадцать секунд полюсы генератора менялись местами и подавался новый импульс. На осциллограмме получалась прямоугольная гармошка из тридцати - сорока импульсов. В течение дня серия повторялась несколько раз.

Эти импульсы принимались на нескольких приемных станциях, отнесенных от Газор-Чашмы на четыре, шесть и десять километров. На каждой в течение этого дня устанавливалось с большой точностью электрическое сопротивление массы горных пород, расположенных между передающей и принимающей станциями. Замысел состоял в том, чтобы измерять это сопротивление изо дня в день год и дольше и попытаться уловить, не меняется ли оно заметно и не связаны ли эти изменения с землетрясениями.

Вся эта система заработала летом 1967 года. И сразу же заинтриговала, показав резкое падение сопротивления горных пород на участке передатчик - приемная станция "Высота".

- Этот день, 30 июня 1967 года, мы приняли за эталон, - сказал мне Олег Михайлович.

Это была наша первая встреча в июле 1973 года; была невероятная жара, и ущелье Руноу, голое и черное в том месте, где расположились лагерем барсуковцы, напоминало своим видом паровозную топку изнутри. Барсуков нарисовал на бумажке угол, поставил черточку и цифру "сто".

- Мы решили считать, что сопротивление горных пород, отмеченное тогда приборами, равно ста процентам, и начали измерения. За два с лишним месяца это так называемое эффективное сопротивление упало на двенадцать процентов!

Из-под карандаша Барсукова от цифры "сто" поползла кривая, спустилась вниз...

- А 7 сентября в районе станции "Высота" произошло землетрясение! И кривая на графике сопротивления тут же поползла вверх. - Барсуков изобразил на графике число: 7 сентября - и нарисовал кривую, идущую вверх.

- Станция "Высота" - это и впрямь высоко, 3400 метров над уровнем моря. Зимой там снег выше головы, торма - снежные лавины, обвалы. Мы и не думали вначале, что оставим ее действовать на зиму. Но после столь обнадеживающего начала оставили. Зимой на снегоступах, невзирая на погоду, ребята из специального отряда регулярно забирались на станцию проконтролировать работу аппаратуры, сменить ленту самописца, провести сеанс наблюдений.

Здесь я прерву Олега Михайловича, чтобы предоставить слово Володе Шелопуту, возглавлявшему тогда команду отчаянных ребят, обеспечивших успех зимних наблюдений.

- Все обошлось. Но порой действительно было тяжело. Холодно, снег! На тропе тормоза за тормозом. Один раз, точно, могло плохо кончиться. С утра туман. А идти надо, ленточка на приборе там, наверху, кончается. Собрались дураки сгоряча, пошли. И вдруг, откуда ни возьмись, таджики на конях. Кричат, ругаются, плетками размахивают. Не пускают, и все. Мы уже и ругались с ними, и просили - ни в какую. Потом благодарили их: они свои горы лучше знают. В тот туман шансов пройти благополучно у нас не было.

Ребята старались не зря.

После Нового года кривая снова поползла вниз. И снова на минимуме, 29 февраля 1968 года, на этот раз между "Высотой" и передающей станцией, произошло землетрясение еще более сильное.

Барсуков продлил карандашную кривую, поставил число, когда было землетрясение, и стрелку.

С тех пор обнаруженная закономерность подтверждалась много раз. Последний раз в апреле 1973 года, когда кривая резко пошла вниз.

- Меня уже спрашивали, - бросив карандаш на складной походный стол, говорит Олег Михайлович, - ну что, какое землетрясение будет? Да, говорю, не ниже десятого класса, осторожность соблюдаю, а сам думаю: ой, долго снижается, ведь весь двенадцатый наберется. Ударило - и точно, двенадцатый. Конечно, трудно пока заранее предвидеть точно и силу и время, но уже чутье какое-то появилось. Уже знаешь: если завтра толчок, то он примерно десятого класса будет, слабый то есть, а если через три недели (кривая-то все вниз и вниз), то весь двенадцатый, тринадцатый. Тут нужны дополнительные исследования, чтобы научиться улавливать приближающийся перелом в ходе кривой и за день точно сказать (а лучше за неделю): ударит тогда-то, столько-то баллов.

Что же, новый прогностический признак? Но признак, полученный вслепую, без знания природы явления, не может удовлетворить настоящего ученого. В чем причина падения сопротивления (или, что то же, повышения электропроводности пород) в зоне подготовки подземного толчка?

Скептики (люди в науке неизбежные и необходимые), заметив, что кривые Барсукова за каждый год в какой-то мере повторяют друг друга, высказывали мысль, что совпадения с землетрясениями - чистая случайность, что все явление в целом отражает сезонные изменения в верхнем слое: таяние снегов, паводки. Это возражение можно было опровергнуть только одним способом: доказать, что сопротивление падает не за счет верхних слоев почвы, действительно подверженных сезонным воздействиям. Глубину проникновения электрического поля в кору проверил аспирант Барсукова Олег Сорокин. Проверил простым и изящным способом. Известно: чем выше частота переменного тока, тем на меньшую глубину в проводник он проникает. На этом принципе, между прочим, основана поверхностная закалка деталей токами высокой частоты. Эксперименты с переменным током, рассчитанным на глубины до 800 метров - полутора километров, не показали никаких связей электропроводности верхних слоев Земли с ходом кривых Барсукова и с землетрясениями. Этот результат сразу и надежно все расставил по местам: барсуковские кривые отражают обстановку в глубоких слоях коры, там, где готовятся и происходят землетрясения.

Напрашивалось еще одно объяснение необычному эффекту. Из лабораторных опытов известно, что проводимость твердых тел заметно зависит от давления: чем сильнее сжат образец, тем меньше его электрическое сопротивление. Не здесь ли зарыта собака?

Это объяснение и приняли барсуковцы на первое время в качестве рабочей гипотезы. Но реальное падение электрического сопротивления перед землетрясениями было гораздо больше того, которое еще можно было бы объяснить сухим сжатием горных пород.

Вода! Именно к ней снова и снова обращаются геофизики, пытающиеся узнать механизм возникновения землетрясений. Кажется странным, что земные недра, которые уже на глубине двух-трех километров представляют собой сплошной каменный массив, сжатый к тому же колоссальным давлением, пропитаны водой и растворами различных солей. Но это так, это геологический факт. Этот геологический факт положили в основу своих работ по прогнозу землетрясений американские сейсмологи. С этой точки зрения именно вода, водные растворы, нагнетаемые под давлением в трещины и разломы земной коры, образуют смазку, благодаря которой эти в сухом состоянии намертво сжатые трещины превращаются в "зеркала скольжения" между мелкими, средними и огромными блоками земной коры. Благодаря этой смазке, говорят, и возможны многочисленные подвижки - толчки на контактах различных геологических структур. С другой стороны, не будь этой постоянной смазки, неуклонное накопление напряжений рано или поздно приводило бы, вероятно, к грандиозным сухим разрушениям земной коры, горообразовательным катастрофам такой силы, рядом с которыми величайшие землетрясения "мокрой" Земли показались бы ничтожными скрипами (*По-видимому, о "смазке" контактов в недрах Земли можно говорить только в образном смысле. Физика этого явления иная, чем при смазке машин и механизмов: оно вызывается возрастанием порового давления жидкости в горных породах, на величину которого уменьшаются необходимые для подвижки напряжения.*).

Не умолкавший в течение тысячелетий спор, начатый некогда еще древнегреческими философами, о первенстве огня и воды в образовании руд, росте гор и сейсмических катастрофах то и дело вспыхивает с новой силой и по сей день, сейчас - в связи с проблемой "смазки".

Американские сейсмологи пустили в оборот словечко "дилатенсия", мгновенно подхваченное многими на Ташкентском симпозиуме по поискам предвестников землетрясений, хотя само явление давно известно экспериментаторам, создающим условия "землетрясения" в сжимаемых под прессом образцах оргстекла, парафина, гранита. Явление это удивительно тем, что входит в противоречие с нашим обыденным здравым смыслом: в какой-то момент сжимаемое твердое вещество не уплотняется, а раз уплотняется, увеличивается в объеме с расширением старых мельчайших пор и трещин и образованием новых. Это расширение, увеличение объема, измерено в опыте, оно достигает 0,1 процента (представьте себе, что на одну десятую процента увеличивается объем миллионов кубических метров горных пород!). При этом вода и ее растворы, конечно, перераспределяются в порах и трещинах, изменяется давление в жидкостях, заполняющих эти поры и трещины. Из глубоких слоев коры по трещинам быстрее поступает радиоактивный радон, предупреждающий об опасности. Самое важное - явление дилатенсии неотвратно и непосредственно предшествует в лабораторных условиях разрушению образца, то есть самому землетрясению! Это ли не основа для прогноза?

На симпозиуме американские ученые рисовали перед нами кривые, вроде бы подтверждающие: да, давление воды в порах сдавливаемых образцов меняется по характерной седлообразной кривой. И это "седло" проявляет себя во всех изучаемых учеными предвестниках землетрясений. Главная их мысль была: дилатенсия - основа, на которой можно построить прогноз сильных землетрясений, дилатенсия - это не случайный, а закономерный спутник сейсмического процесса. Спутник? Но вот поднимается с места один из участников совещания и задает доктору Шольцу (тот докладывает) такой, казалось бы, странный вопрос:

- Доктор Шольц! Может ли вот такая водная дилатенсия быть не спутником, а причиной сильного землетрясения?

Это опять-таки намек на механизм "смазки". Сейчас все больше ученых думает, что землетрясение может начинаться не только от повышения напряжений в неизменных во всем остальном недрах, но и просто от изменения водного режима при постоянных условиях сжатия

## Джинн из бутылки

В апреле 1972 года я в составе бригады журналистов приехал на строительство Нурекской ГЭС. То все вместе, то порознь выступали мы перед строителями, рассказывали о том, могли или не могли прилетать на Землю пришельцы из других миров, о подвигах полярных исследователей, о психологических экспериментах, которые мы ставили когда-то у себя в редакции, об охране природы. На

последнюю тему как раз выступал я, и называлась она "Ответственность за геологическое будущее". То, о чем я рассказал бетонщикам, тогда мало еще обсуждалось даже в среде специалистов. Речь шла об еще одном виде загрязнения окружающей среды. Только загрязнение на этот раз было совсем необычным - загрязнение землетрясениями!

Вот о чем примерно шла речь. В 1967 году на Деканском плато в Индии произошло сильное землетрясение (с магнитудой более 6). Несколько деревень было разрушено, погибли 200 человек. Специалисты, прибывшие на место катастрофы, были обескуражены: таких сильных землетрясений в этом месте никогда не было, и никто их не ожидал. Когда нарисовали линии равной силы разрушений от толчка (изосейсты), они стянулись вокруг недавно заполненного водохранилища на реке Койна. Проведенные позднее работы показали, что разрушения и жертвы были вызваны искусственным землетрясением: толчок спровоцировало водохранилище, где уровень воды достиг к этому времени стометровой отметки!

Землетрясения с жертвами и разрушениями произошли после заполнения грандиозных водохранилищ - Кариба на реке Замбези в Африке и Кремаста в Греции. Помимо этих тяжелых случаев, обративших на плотинные землетрясения внимание общественности, ученые зарегистрировали уже десятки тысяч рукотворных толчков разной силы во Франции, Италии, Алжире, США, Японии, Югославии, Пакистане и других странах.

А между тем все дорогостоящие гидротехнические сооружения всегда возводятся с сейсмологическим обоснованием. Это самый настоящий прогноз, давно, казалось бы, освоенный. Строителям не обязательно знать, когда именно грянет под высотной плотинной сильное землетрясение. Им нужна простая гарантия, что в выбранной для великой стройки точке вообще не будет землетрясения сильнее такого, на какое рассчитана плотина.

И тут в дело вмешивается фактор, ранее неучитываемый. Само водохранилище может вызвать землетрясение! Но может ли это землетрясение по своей силе превзойти верхний предсказанный сейсмологами предел?

...В этом месте, признаюсь, мои слушатели (строители, бетонировавшие один из участков возводимой плотины), не удовлетворившись чисто теоретическим изложением научной проблемы, потребовали от меня четкого ответа на мной же поставленный риторический вопрос. Вопросы были трезвые, деловые, в корень.

Первый: будут ли плотинные землетрясения в районе Нурекской ГЭС после заполнения водохранилища? Второй: будут ли эти землетрясения опасными для самой плотины? Не разрушит ли их детище самое себя, вызвав ужасную катастрофу?

Надо сказать, точного ответа на эти вопросы тогда никто не смог бы дать. Я ответил приблизительно и в том духе, что, насколько мне известно, искусственные толчки почти неизбежно регистрируются около тех плотин, где бывают и обычные землетрясения, ибо человек только выпускает на волю те тектонические напряжения, которые уже накоплены. Значит, скорее всего в Нуреке, где землетрясения бывают до 8-9 баллов (на такой толчок плотина рассчитана и должна его выдержать), искусственные толчки тоже будут. Но поскольку сейсмической энергии не может выделиться больше, чем ее накоплено, то скорее всего и искусственные толчки останутся в рамках, отведенных для естественных землетрясений.

Потом оказалось, что сориентировался я интуитивно правильно. Сейчас принято толковать плотинные землетрясения именно как "провокацию", спущенные своевременно напряжения, которые все равно нашли бы себе позднее выход в толчке, заведомо более разрушительном, чем "провокация".

Именно так греческие сейсмологи отвели обвинения их в том, что они-де не предусмотрели разрушительных последствий строительства плотины в Кремасте. Они заявили, что, если бы не водохранилище, толчок был бы позже, но намного сильнее. Получается, они даже спасли своей "непредусмотрительностью" сотни жизней. Конечно, был в таком повороте логики элемент самого обычного самооправдания. Но в чем-то, возможно, греческие сейсмологи были правы.

Нурекское водохранилище начали заполнять осенью того же 1972 года. Сейсмологи сразу же отметили повышение сейсмической активности по берегам водохранилища и под ним. Когда уровень водохранилища перевалил за стометровый рубеж (а это какой-то критический рубеж - большинство серьезных толчков по берегам водохранилищ происходит после стометровой отметки), по берегам Нурекского водохранилища отмечалась сейсмическая активность, несколько превышающая "доплотинный" уровень! Некоторые из толчков были довольно серьезными (12-й класс по нашей экспедиционной шкале), но, по счастью, на сравнительно большом удалении от водохранилища и ниже предусмотренного сейсмическим прогнозом уровня балльности.

Вызвав неизвестного науке джинна - плотинные землетрясения бутылки технического прогресса, человек, когда прошел первый испуг, впервые оказался перед фактом возможности непосредственного вмешательства в сеймотектонический процесс. Может быть, сильные землетрясения надо не предсказывать, а предотвращать?

## Дирижер землетрясений

*Ближе к морю, где подземные толчки очень часты, индейцы не только не страшатся их, но бывают даже довольны, считая их признаком сырого и плодородного года.*

А. Гумбольдт

И вот перед нами молодой человек с модной бородой, небольшого роста - доктор Дитерих из геологической службы штата Калифорния.

- Передо мной стоит несколько странная задача, - смущенно начинает он, - рассказать вам об опытах по предотвращению землетрясений...

...Начало этой истории опять-таки связано с проблемой охраны природы. В США давно и остро стоит проблема сточных вод. Реки не справляются с возрастающим количеством загрязнений от разных производств. Кому-то пришло в голову закачивать сточные воды в скважины выработанных нефтяных месторождений. И вот с 1962 года в скважину Арсенал, что под Денвером в штате Колорадо, стали поступать первые кубометры стоков. Надо сказать, сейчас специалисты резко возражают против загрязнения грунтовых вод: это НЗ чистой воды для человечества. Но тогда все, казалось, шло хорошо, Да и для сейсмологии, как выяснилось потом, этот опыт сослужил-таки хорошую службу.

Скважина Арсенал глубокая, около 3,7 километра. Закачка шла в кристаллические горные породы, подстилающие в этом месте толщу более рыхлых осадочных пород. И вот в абсолютно тихом для сейсмолога месте начались землетрясения. Кривые, показывающие соответствие (корреляцию) между закачиваемыми миллионами галлонов воды и количеством землетрясений, сейчас известны каждому сейсмологу. Никаких сомнений в том, что землетрясения вызывались воздействием человека, нет. Интересно, что гипоцентры, очаги землетрясений, лежали намного ниже уровня скважины, на десятикилометровой глубине.

Денверские землетрясения стали очень веским аргументом в разгоревшемся было споре сейсмологов по поводу плотинных землетрясений. Дело в том, что многие считали: плотинные землетрясения вызваны просто весом водохранилища, механической нагрузкой. Другие (и, пожалуй, именно они сейчас одерживают верх) считают, что главное в действии водохранилищ - это "смазка" поверхностей скольжения при возрастании давления воды в порах и трещинах земной коры. Денверские землетрясения были явно вызваны не весом воды, а самим фактом смачивания, "смазки" недр.

Доктор Дж. Дитерих рассказал нам о буднях "дирижеров землетрясений". Уже выяснилось, что толчки начинаются только тогда, когда давление воды в скважине превышает то, которое было раньше. Иногда давления не хватало, срочно добавляли насосов, и толчки снова начинались. Убирают насосы - в два дня всякие толчки прекращаются.

Конечно, сейсмологи пока далеки от мысли ликвидировать все сильные землетрясения в Калифорнии. Да и вообще с бухты-барахты эту задачу не решить. Но что, если ограничить силу будущего землетрясения на том или ином участке разлома (а в Калифорнии сильные толчки привязаны к нескольким известным протяженным разломам)?

Калифорнийские сейсмологи уже провели успешные опыты на модели: закачивали воду в блок гранитных пород, сдавливаемый, пересеченный специально оставленной трещиной-разломом. Закачивая и откачивая воду через отверстия вдоль трещины, ученые по-своему регулировали "сейсмичность". Начинаются эксперименты и на "живом", настоящем разломе. Мысль была такая: ограничить защищаемое место с двух сторон скважинами. В самом защищаемом объекте тоже пробурить к разлому несколько скважин. Теперь представьте: откачиваем воду из крайних скважин и тем самым "запираем" разлом с двух сторон. В середине накачиваем воду. Здесь происходит несколько слабых толчков за счет сохранившихся и после запираания разлома напряжений. Теперь запираем центральную часть защищаемого отрезка, откачав оттуда воду, и закачиваем воду по краям. Там тоже происходит несколько толчков, напряжения снимаются и как бы переносятся частично снова на центральный участок. Потом снова запираются края, высвобождаются напряжения в центре и т. д.

Так, попеременно закачивая и откачивая воду то в центр, то в края, закончил доктор Дитерих, мы потихоньку выпускаем "пар из котла". Объект (город, завод) все время под защитой, и вблизи него все время спускаются опасные напряжения - через слабые искусственные толчки. Так что, если и грянет в районе опасное землетрясение, самым своим эпицентром оно должно обойти наш объект.

## С водой или без воды?

Управление землетрясениями! Мы засыпали мистера Дитериха вопросами. Разговор шел в конференц-зале нашей Гармской экспедиции. Здесь продолжались разговоры и контакты, начавшиеся в Ташкенте. Вот это цель! Может быть, прогноз землетрясений вообще не понадобится? Некоторые сейсмологи отчаявшиеся найти эффективные методы прогноза землетрясений, видят в искусственном спускании накапливающихся напряжений единственный выход из положения. Широко известен, например, такой факт. В штате Невада, где до сих пор продолжаются подземные ядерные испытания, очень заметно снизилась естественная сейсмическая активность. Накапливающиеся в коре естественные напряжения реализуются во время взрыва, добавляя к его силе толику энергии, и сразу после него - в сериях слабых толчков, обычно сопровождающих испытания.

Но и на этом пути исследователей ждут немалые сложности. Сразу после мистера Дитериха выступил "наш человек", Геннадий Александрович Соболев. И развернул перед нами другие опыты, другие графики и формулы. И вроде бы получилось, что все те же предвестники землетрясений отлично находят свое объяснение и без воды. А сухое разрушение оказалось ничуть не менее изящной моделью естественного процесса, чем "мокрое"...

Я вспоминаю и сопоставляю: сцена землетрясения в японском фильме - и вот эти кривые на белом экране в затененном зале... Толпы обезумевших людей между рушащимися стенами, крики, сталкивающиеся, вспыхивающие машины, пламя пожаров до облаков, зыбкая земля, готовая сбить с ног, поглотить... И как-то трудно вообразить, что эта художественно поставленная, но отвечающая возможной реальности сцена из "Гибели Японии" с хорошим, как говорят геофизики-экспериментаторы, коэффициентом подобия может быть отображена в элементарном лабораторном эксперименте. Брусок плексигласа, сдавливаемый под прессом, появление, расширение трещин и "крак!" в конце - все это по сути то же землетрясение, только меньшего масштаба...

То же землетрясение? Но нет, и это не бесспорно. В 1910 году, изучив большое Калифорнийское землетрясение 1906 года, американский исследователь Рид предложил свою знаменитую теорию упругой отдачи для объяснения механизма землетрясения. Эта теория и по сей день заслуженно господствует в сейсмологии. У Рида ясно и недвусмысленно было сказано: землетрясение - это упругая отдача горных пород, разрушающихся по достижении предела прочности этих пород.

Но, сказав такое, физик подводит явление под определенные законы, выражаемые более или менее сложными формулами. Пределы прочности всех пород земной коры инженерам хорошо известны. Если подставить в формулы, описывающие геологическое разрушение, землетрясение, эти величины и сопоставить их, например, с размерами очага землетрясения, то есть самой необратимо раздробленной зоны в недрах земли, то... ничего не выйдет. Получается, что либо сила землетрясения должна быть во много раз больше, чем это было на самом деле, либо реальная прочность земных недр... ну, почти никакая.

До сих пор сами сейсмологи не очень разобрались во всем этом. Недра планеты, конечно, можно уподобить сдавливаемому в тисках образцу, но это подобие далеко не идеально. При сейсмическом разрушении дробится не монолит, а масса разных веществ, сплошь пересеченных всякими трещинами, трещинками, разрывами от прошлых землетрясений, жилками слабых пород. А тут еще и вода. Так вот, спор апологетов "сухой" и "мокрой" дилатенсии как раз о том, чем именно земные недра все-таки отличаются от куска плексигласа в тисках. Только ли вода, только ли трещины повинны в этом?

...Уже несколько лет в нашем институте развивается "трещинология" - так несколько шуточно называют это направление. Трещины в горных породах есть всегда, они зарождаются при всяких внутренних напряжениях: остывании, нагреве, от внешних нагрузок. Трещины - это запись всего, что было с породой за всю ее историю. Трещины смыкаются, расходятся при той же дилатенсии (но без всякой воды). Трещины соединяются друг с другом, растут. Этот рост с какого-то момента может стать безудержным и кончиться сдвигом по грандиозной трещине - поверхности разрыва сильного землетрясения. И вот мы смотрим на черную доску, где белый мелок в руках Соболева шаг за шагом как бы отвечает на наши вопросы и как будто все расставляет по местам. Простота и ясность, только что блеснувшие после доклада Дитериха, меркнут, становится понятным, что... надо работать. Впрочем, это и так ясно. И прогноз нужен. Хотя бы для того, чтобы знать, где и когда привести в действие меры предупреждения землетрясений, если они действительно к тому времени будут разработаны.

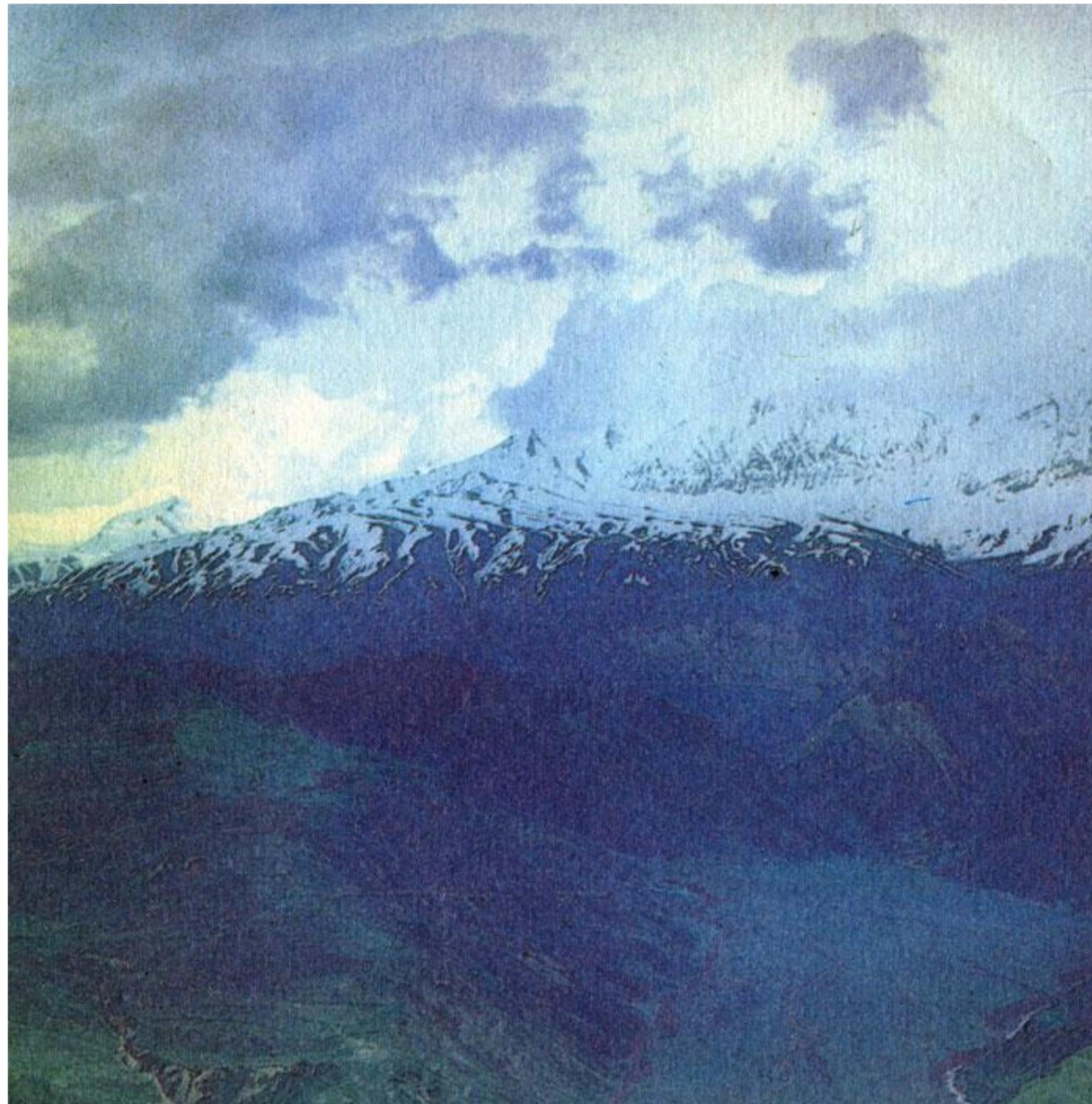
Ну а насчет того, какая дилатенсия действует в природе... Может быть, обе: и "сухая", и "мокрая"?

Бог Сеймос, придуманный Гёте как действующее лицо в "Фаусте", был морским, водяным богом. Нептунист Гёте склонен был винить в землетрясениях именно водную стихию земных недр. Похоже, что, хотя бы отчасти, для неглубоких землетрясений вклад "мокрой" дилатенсии в механизм толчков совсем не ничтожен. "Мокрая" дилатенсия действительно повторяет все те же прогностические закономерности, что выявляются и при сухой модели очага, но она как бы усиливает, подчеркивает их... И я верю: насквозь пропитанный водными рассолами хребет Петра Первого позволит решить на себе не дну загадку сейсмологии, и, возможно, здесь когда-нибудь поставят опыты по предотвращению землетрясений...

## Плазма в горах

Осенью 1973 года в газете "Неделя" был опубликован небольшой очерк о проблеме прогноза землетрясений и о том, как собираются решать эту проблему барсуковцы. Статья, написанная не без подъема, заканчивалась так:

"Угрюмое пустынное ущелье Руноу залито белым памирским солнцем (о том, что Руноу не на всем протяжении угрюмо и пустынно, журналист не знал. - А. Г. ). Сюда идут машины с оборудованием для новой фазы эксперимента. Обливаясь потом, загорелые до черноты рабочие и научные сотрудники спешно бетонируют площадку под новый мощный генератор. Геофизики замахнулись на всю махину хребта Петра Первого...



*Крупных землетрясений мало бывает на южном берегу Сурхоба, в хребте Петра Первого, но множество мелких. Почему? В этом ущелье Руноу прошел первую проверку МГД-генератор, загнавший в недра ток невероятной силы. Измеряя электросопротивление недр, можно уловить моменты подготовки сильных толчков.*

Это будет величественное зрелище. В недра хребта вольется целая электрическая река - несколько миллионов ватт! Импульс такой мощности будет получен от замечательного творения советских ученых, инженеров и рабочих - магнитогидродинамического генератора (МГД). Струя голубой плазмы ударит в унылый каменисто-серый борт ущелья и, отраженная им, на сотни метров взметнется к небу. По пути плазма пройдет между полюсами магнитов, разделится на положительные и отрицательные ионы, даст ток невероятной силы... Впрочем, не будем опережать события, читатель будет своевременно и исчерпывающе оповещен о ходе масштабного эксперимента".

Это было первое упоминание в прессе о действительно масштабном и впечатляющем эксперименте, бывшем тогда уже на финише подготовительных работ. С тех пор читателя много раз оповещали о ходе эксперимента многие органы печати вплоть до "Правды". Так что я опускаю здесь подробности. Все так и было. Осенью 1973 года в Руноу, а осенью 1974 года на старом месте, в Газор-Чашме, электрический импульс невероятной силы от машины, еще недавно казавшийся фантастикой, прошел насквозь десятки километров хребта Петра Первого. Для чего? А вот для чего. Большие, действительно опасные землетрясения готовятся на большой площади. Измеряя падение сопротивления на таких больших расстояниях, мы как бы получаем электрокардиограмму, рассказывающую о самочувствии целого хребта, одного из важнейших в системе Памиро-Тянь-Шаня.

Правда, "струя голубой плазмы" оказалась не такой яркой, что-то вроде небольшой искры...

## Современные оракулы

Когда я приехал в Гарм, там еще живы были воззрения одного давно уволившегося и неизвестно куда уехавшего скептика, уверявшего: сейсмический прогноз в принципе невозможен, Ведь ещё совсем недавно сейсмологи думали, что в последовательности и распределении в пространстве толчков господствует принцип случайности. И в этом смысле объект сейсмологии иной раз можно уподобить объекту изучения физики элементарных частиц. Мы знаем, что некий объем радия уменьшится вдвое, распавшись за такое-то количество лет (статистика!), но мы не знаем, когда именно распадается тот или иной конкретный атом. Идя аналогичным путем в сейсмологии, мы можем установить статистические закономерности, повторяемость землетрясений на той или иной площадке. Но достаточно ли нам такого статистического знания? Мы находимся внутри системы, исследуемой нами. Если бы мы находились, внутри атома радия, нам неинтересен был бы период полураспада этого элемента, а по понятным причинам хотелось бы непременно выяснить, когда распадется именно этот атом. Не статистический, а детерминированный прогноз. Возможен ли он в сейсмологии?

Чтобы понять это, нам придется обратиться к принципам причинности в классической и нынешней науке...

## Постичь исток причин исконных...

*Холисты-плюралисты-бихевиористы-физикалисты заявили, что, как известно из физики, закономерность в природе является только статистической. Так же как невозможно с абсолютной точностью предвидеть путь единичного электрона, так же неизвестно, наверное, как будет вести себя единичная картофелина. Все прежние наблюдения показывают, что миллионы раз человек копал картофель, но не исключено, что один раз из миллиарда случится наоборот, та есть картофель будет копать человека.*

### *С. ЛЕМ. Звездные дневники Ийона Тихого*

Изгнав Мефистофеля натурфилософии, пытавшейся проникнуть в суть вещей с помощью логики, дедукции и чистого умозрения, по существу без эксперимента, наука в философском смысле подпала на целое столетие под влияние механистического детерминизма. Теперь факт, опыт решали все и порой пытались все собой заменить. Вселенная состояла из винтиков и деталей, взаимодействующих, как части машины. Затмения Солнца предсказывали еще египетские жрецы, а сейчас они предсказываются за сотни лет вперед с точностью до долей секунды. Французский физик и астроном Лаплас вслед за гордым архимедовским "дайте мне рычаг, и я переверну мир" провозгласил, что, если знать все состояния, скорости всех атомов мира, можно будет дать абсолютный прогноз - последовательность всех грядущих событий. Это был мысленный эксперимент, а поскольку Лаплас чувствовал риторичность подобного эксперимента (он в те времена не мог даже вообразить подступов к поставленному им условию), он придумал достаточно всемогущего демона, способного справиться с этой работой. *(Демоны были излюбленным приемом в мысленных экспериментах ученых; взять хотя бы еще демона Максвелла, о котором речь впереди).*

Демон Лапласа выдавал начальные условия, и Лаплас (при условии наличия неограниченного времени и, по-видимому, штата вычислителей: ЭВМ еще не было) брался выдавать любой требуемый прогноз. Он вообще был большим оптимистом, Лаплас, он хотел создать универсальную (одну!) формулу, обобщающую сразу все законы!

"Этот вид детерминизма, - писал выдающийся физик, один из основателей квантовой механики, Макс Борн, рассматривался физиками прошлого столетия как единственно разумное истолкование причинности, а применяя его, как они хвастливо заявляли, они избавляют физику от последних остатков метафизики" *(В данном случае - умозрительного, отвлеченно-философского подхода к миру)*. Прошло немало времени, прежде чем это ослепление могуществом опытного знания в сочетании с вычислительными методами не кончилось.

Читатель, вероятно, хорошо знает, что произошло это в момент рождения квантовой механики. Одна из основных формул этого учения выглядела так, что выходило: если мы хотим, точно определить время и место появления элементарной частицы, мы должны необыкновенно расширить временные и пространственные рамки, в которых с гарантией находилась бы эта частица. Казалось бы, местная и

поправимая неувязочка ((так это и воспринял, кстати, А. Эйнштейн, до конца жизни не отказавшийся от мечты об абсолютном знании причинно-следственных связей в физике)). Но с появлением принципа неопределенности Гейзенберга у ученых как будто пелена начала падать с глаз. Они увидели закон неопределенности всюду вокруг себя, и везде - в действии.

В кинетической теории газов, старой и почтенной отрасли физики, например, давным-давно пользовались статистическими методами, сходными со статистическим аппаратом квантовой механики. Просто в основе теории газов лежит оправдательное рассуждение: в принципе результат строго определен последовательностью событий (соударений молекул), только рассмотрение явления надо вести статистически, не индивидуализируя молекулы, поскольку мы "еще не научились" узнавать точное начальное состояние (скорость, место) каждой из них. Но ведь именно такими словами защищали принцип строгой индивидуальной причинности для микрочастиц противники квантовой физики. "Не научились", вот повысим точность измерений, и тогда...

Движение молекул в газе или жидкости часто сравнивают с игрой в бильярд. Хороший бильярдист сильным и точным ударом может заставить шар через два-три отскока от стенки и от других шаров попасть точно в лузу. Прежний, лапласовский детерминизм подразумевал, что при хорошем математическом расчете и идеальном глазомере (и отсутствии трения) можно также попадать в лузу и через двадцать, и через тридцать, и через тысячу отскоков. Но основатели квантовой механики прикинули: не получается! Неопределенность остается и здесь! И дело тут не в несовершенстве измерений и "глазомера", а в принципиальной недостижимости полной, стопроцентной точности в определении угла и отскока скоростей.

"Лучшие измерения, - писал Макс Борн, - дают сегодня 6 или 7 десятичных знаков. Сначала кажется, что это не слишком вредит. Ведь демон ((Лапласа. - А. Г.)) - это лишь отдаленный идеал, и если каждое поколение будет повышать точность измерений, то к этому идеалу можно приблизиться. Так думали всегда. Однако это неверно... Абсолютно точное измерение было бы демонической, но не человеческой работой". Иначе говоря, строгий механический детерминизм оборачивается мистикой! Короче, чем дальше от нас прогнозируемый момент, тем больше прогноз должен становиться вероятностным, статистическим, неопределенным.

Явное родство с принципом неопределенности квантовой механики обнаруживает и такая наука, как генетика, причем в своем главном аспекте - теории наследственности. По сей день некоторые биологи ломают головы: как в такой точной системе, какой является генетический механизм наследственности, могут появляться ошибки? Иногда даже говорят, что это специально запланировано так, чтобы поставлять материал - мутации - для естественного отбора. Конечно, если бы не было ошибок, не было бы эволюции. Недаром говорят, что у самых древних позвоночных на Земле - двоякодышащих рыб невероятно длинная ДНК. С таким запасом дублирующей информации, что никакая ошибка не в состоянии сбить их с круга тупого самовоспроизводства без прогресса. И это только подтверждает тот факт, что ошибки в считывании кода наследственности в этом преимущественно физико-химическом процессе - неизбежная дань всеобщему закону неопределенности. Природа может нейтрализовать действие этого закона, лишь до бесконечности удлинняя нити ДНК или стабилизируя все ошибки посредством естественного отбора нормы, а все остальное уничтожая. Значит, принципу неопределенности мы обязаны как своим высоким положением на лестнице эволюции, так и плохо излечимым пока болезням из-за генетических ошибок.

Надо сказать, баталии, еще не отгремевшие окончательно и в мире новой физики, только начинаются в прикладной физике, задача которой - практический прогноз. Мне не раз доводилось быть свидетелем, а потом и участником яростных споров.

- Что вы мне все проценты, вероятности! - кричит один. Зачем они мне? Вы мне точный, детерминированный прогноз дайте!

- Но ведь невозможно, данные не позволяют...

- А кто виноват? Вон вас здесь сколько! Собрались бы, перепроверили бы все эпицентры лет за десять ( (это, между прочим, тысяч пятнадцать землетрясений! - А. Г.)). Как вы можете работать с таким материалом?

- Ну улучшим на пять процентов, что изменится?

- И хорошо. Нужно, чтобы каждому параметру можно было верить...
- Но ведь все равно нельзя полностью верить... Есть закономерные отскоки, дисперсия. Все равно статистика нужна.
- Статистике не верю! Вы мне факты дайте!

И повторяется все сначала.

Как-то пришлось мне читать статью о долгосрочном месячном метеорологическом прогнозе на февраль 1974 года. Метеорологи, как говорится, оскандалились. Февраль на огромных пространствах выдался намного теплее и нормы, и предсказанного подекадного хода температуры.

Как делается перспективный гидрометеорологический прогноз? Взять и высчитать поведение всех параметров в развитии? Никаких ЭВМ, никакой сети станций, включая спутниковую информацию, не хватит, чтобы учесть все возможные флуктуации.

Метеорологи прибегают к старому испытанному способу. Разыскивают среди прошлых годов такой, что по последовательности "погод" наилучшим образом соответствовал бы времени, предваряющему прогнозируемый месяц. Не вдаваясь в детали, почему да как движется тот или иной циклон, они просто как бы прикладывают уже проверенную жизнью последовательность к действительности и ожидают (опять же с какой-то долей вероятности), что она сбудется. И вот осечка! Да какая! Эффект неопределенности часто мстит тем, кто пытается его обойти...

Другая такая осечка произошла в 1972 году. Знаменитая летняя засуха, привлекая к проблеме перспективного прогноза внимание общественности, в обоих случаях не был предвиден мощный антициклон, неожиданно заполнивший огромные пространства и приостановивший великий западный перенос влаги из северных широт Атлантики. Включилась более редкая меридиональная схема циркуляции с теплыми южными ветрами.

За что же борются прогнозисты? За крохи, доли процента в улучшении прогноза? Но тогда стоит ли игра свеч? Ведь абсолютного прогноза быть не может...

Да, в гидрометеорологии - эта борьба за доли процента! (правда, только спутники дали прибавку точности на пять - десять процентов). В сейсмологии же еще все впереди. Работающего, регулярно публикуемого прогноза у нас все еще нет! Почему? Ответ непрост, и никто, вероятно, не сможет на него исчерпывающе ответить. А потому пока логическая задачка в стихах, которая наверняка покажется читателю давно и хорошо знакомой.

**Условие задачи:**

Не было гвоздя -  
Подкова пропала.  
Подкова пропала -  
Лошадь захромала.  
Лошадь захромала -

Командир убит.  
Конница разбита,  
Армия бежит.  
Враг вступает в город,  
Пленных не щадя...

**Спрашивается:**

1. Почему?

**Ответ:**

...Потому что в кузнице  
Не было гвоздя!

2. Можно ли предсказать конец этой печальной истории исходя из одного факта отсутствия в кузнице гвоздя?

**Ответ:**

*Нельзя! Ибо условие задачи неполно и, хотя все логические переходы в нем правильны, эффект неопределенности из-за неучета массы дополнительных обстоятельств на каждом этапе рассуждений возрастает во много раз.*

Нечто подобное происходит и в геопрогнозе. Задним числом еще можно иногда сказать, что именно послужило главным толчком, сигналом к катастрофе, но экстраполировать раз подмеченную связь на все случаи жизни нельзя.

Могут сказать: здесь нужен не прогноз, а простая предусмотрительность. Непокованная лошадь командира - это, конечно, большой беспорядок. Предусмотрительность - тоже форма прогноза. Можно не строить в сейсмоопасных местах, например. Но предусмотрительность уместна лишь при наличии чувства меры, иначе она и смешна, и даже невыгодна. В конце концов человек в футляре Чехова стремился избавиться от эффекта неопределенности во всякого рода метеорологических предсказаниях и предчувствиях. Он был просто очень предусмотрительным человеком и все могущие ему грозить в жизни опасности постоянно имел в виду. Ох, и тяжело же ему было жить!

Общество не может стать "обществом в футляре" и все время настороженно ждать неприятностей - как бы чего не вышло. И потому нужен все-таки настоящий, достаточно точный прогноз хотя бы экстремальных, катастрофических событий, то есть таких, которые готовятся задолго и на большом пространстве и которые не могут быть полностью скрыты никаким эффектом неопределенности.

Общество в футляре...

Один из самых любимых и читаемых фантастических романов - "Конец Вечности" Азимова. В этом произведении извечное стремление человечества вырваться из потока времени доведено до логического завершения. Создана "Вечность", наднациональная и надвременная каста людей, обладающих возможностью "свободного проезда" в любой век человеческой истории начиная с XXI века. "Вечность" Азимова - это Абсолютный Прогноз. Вычислители "Службы вечности" из самых благих побуждений время от времени вмешиваются в ход истории, что-то там подправляя хирургическим путем, удаляя целые плети причинно-следственных связей, приводящих к нежелательным, по мнению "Вечности", последствиям.

И что же? Оранжевый-причесанный мир, живущий под надзором "Службы вечности", страшен своей искусственностью, бесцельностью. Из человечества вынули главное - любопытство, трепетную устремленность вперед. Жизнь перестала быть ездой в незнакомое. Заговор героев романа - это последнее вмешательство надвременных сил в естественный ход событий. Историю поворачивают в сторону от пути, ведущего к открытию коридора времени, "Вечность" бесследно исчезает, разделив судьбу миллионов людей, стертых "Вечностью" во имя "высших интересов". Нормальная история - с морями горя и слез, но и с полной ответственностью человека за будущее - начинается с открытия атомной энергии.

Нынешний прогнозист, похоже, вот-вот окажется перед этическими и социальными проблемами, возникшими под пером фантаста. Все более ясный и верный прогноз неизбежно расширяет щель "отсутствия неожиданности" между нами и будущим. В какой-то мере достаточно полное знание о ненаступившем - это убийство будущего, замена надежды рассчитанным результатом. Можно ли представить себе жизнь без новостей, без неожиданностей?

Как же быть? Остается надеяться на снисходительность природы, поставившей между причинами и следствиями принцип неопределенности. Знание о будущем никогда не будет полным. "Футляр", к счастью, недостижим. И неполнота эта, возможно, будет всегда достаточно велика, чтобы сохранить для нас свежесть завтрашнего утра. Тогда и предвидение катастроф может быть в принципе лишь точно рассчитанным риском и увлекательной борьбой с процессом вызревания беды.

## Ничто обо всем или все ни о чем?

Философия детерминизма. Причин и следствий. Сейчас она, несомненно, переживает снова захватывающе интересные времена. На смену демону Лапласа вылез джинн неопределенности из бутылки квантовой механики. Другой джинн, который имеет самое прямое отношение к причинно-следственным связям между наукой и природой, - принцип дополнительности.

Принцип дополнительности первоначально понадобился для того, чтобы ясно сформулировать весьма трудно проникающую в умы идею дуализма в мире элементарных частиц. Две модели - волновая и корпускулярная - света или электронов не исключают, а дополняют друг друга.

Позднее принцип дополнительности стал еще и отрицанием пропасти между субъектом и объектом исследования и эксперимента. Чем дотошнее и навязчивее будет ученый измерять параметры электрона, тем больше шансов, что своим вмешательством, приборами он неузнаваемо исказит "истинное" его местоположение и скорость. А оказав более "мягкое" вмешательство, он и измерит хуже. Если представить себе "угол познаваемости" в виде прямого угла на этом листе бумаги и отчертить внутри его угол, к примеру, в 30 градусов, соответствующий полноте нашего знания о предмете, то оставшиеся 60 градусов (дополнительный угол к 30) будут характеризовать соответствие изученного предмета тому же предмету до изучения. Ясно, что чем больше один угол, тем меньше другой, и в принципе мы можем (при отношении углов 0:90) не знать ничего о предмете объективно существующем и стопроцентно равном самому себе или (при 90:0) все о предмете, который уже перестал быть самим собой в результате нашего вмешательства... Ясно, что нам придется довольствоваться какой-то половинчатостью. И наше знание предмета всегда будет неполным, статистическим в отличие от классического идеала исследования - стопроцентного изучения и полностью адекватного знания.

И дело тут не только в эфемерности объекта исследования и грубости наших приборов. Корень проблемы лежит намного глубже, он в самой философской неполноценности традиционного представления об активном субъекте и пассивном объекте исследования.

Однажды неожиданно для себя я услышал о принципе дополнительности весной 1971 года на академической базе отдыха "Мозженка" под Москвой, где тогда проходила "школа" для всех желающих заниматься проблемами происхождения жизни. Один из выступавших, цитолог, то есть специалист, изучающий живую клетку, произнес это слово, характеризуя взаимоотношение экспериментатора и клетки. Чем активнее экспериментатор изучает клетку, тем больше вероятность того, что он получает знание не о клетке, а о ее трупце (а это совсем не одно и то же для нынешнего цитолога). И чем аккуратнее он с ней обращается, тем меньше может узнать об истинных процессах, происходящих в ней. Потом я узнал, что этот подход к проблемам биологии давно сформулировали физики школы Нильса Бора.

По мере совершенствования методов исследования все большее число наук, отраслей промышленности и других аспектов человеческой деятельности оказывается в таких отношениях "субъект - объект" (где объект - те или иные области природы), которые подпадают под власть принципа дополнительности. Простейший пример. Все чаще геологи заявляют: "Похоже, к тому времени, когда мы достигнем стопроцентного знания земных недр, это знание станет бесполезным, ибо все доступные источники минеральных богатств будут к тому времени исчерпаны. Мы будем знать все о том, что в хозяйственном смысле станет "ничем"".

Сами основатели квантовой механики неоднократно указывали: принцип дополнительности проливает новый, неожиданный свет на самые разные отрасли человеческой деятельности, позволяет отвечать даже на вечные, "проклятые" вопросы, относящиеся, казалось бы, к сфере чистой социальной психологии.

Один из таких вечных вопросов - детерминизм и свобода воли. "Тварь я или право имею?" (*Раскольников у Достоевского*) Определял Наполеон хоть чуть-чуть ход истории или был чванливым и слепым орудием в её руках (*по Л. Толстому*)?

## Решать или не решать?

Макс Борн: "Все наше сознательное мышление основывается на предположении, что каждый человек может свободно решать. Но каким образом это совместимо с законами природы, со всеобщей причинностью? В соответствии с ними то, что я делаю, это просто замыкающее звено в цепи причин и следствий, за которые меня нельзя заставить нести ответственность. Когда детерминизм (*механистический*. - А. Г.) пошатнулся, считали, что имеется выход: если в отдельном случае господствует случайность, то воля, рассматриваемая как род духовной сущности, должна играть решающую роль. Однако это не выдерживает никакой критики; демон воли должен был бы тогда всегда быть настороже, как бы не нарушить статистические законы".

Итак, еще один демон. Демон воли. В этой книге нечистой силы накапливается уже многовато. Мефистофель чистого умозрения, демон Лапласа, демон Максвелла, джинны неопределенности и дополнительности. И вот - демон воли. Самостоятелен ли он? Или находится в услужении у джинна дополнительности? И раз уж мы разбираемся в причинно-следственных связях, случайно или закономерно такое нагромождение мифологических фигур в данной теме? Наверное, не случайно, ибо в интуитивном представлении народа-мифотворца как детерминированный ход событий (судьба, рок), так и все отклонения от него, чудеса всегда были одинаково непонятны и прежде всего подлежали поэтическому мифологическому осмыслению. А физики только подхватили эту традицию, верно угадав ее истинный смысл.

Итак, вернемся к примеру, с которого началась эта книга. Вы вышли рано утром на работу, приняв твердое решение. Сейчас вы скажете своему малокомпетентному начальнику все, что о нем думаете. При всех. Последствия могут быть весьма серьезными... или никакими. И для вас, и для начальника. И вот, чем ближе вы подходите к работе, тем больше чувствуете, как слабеет ваша решимость и вечный проклятый вопрос начинает шевелиться в мозгу: "А стоит ли? А что изменится? Что я смогу? А если смогу, какое это будет иметь значение для Мировой справедливости? А если промолчать..." И вы проигрываете и этот вариант, убеждаясь, что он содержит немало заманчивого: и с интересной, неплохо оплачиваемой работы, точно уже, не надо будет уходить (а между прочим, у вас дети). Да и начальник ваш... его и так уберут - разберутся там, "наверху". Правда, до тех пор он еще немало хороших дел испортит... Как же быть?

*(Несколько оговорок по ходу дела. Первая. Сама модель такого мысленного эксперимента придумана не мной, а заимствована из одного научно-популярного фильма. Вторая. Эффекты неопределенности и дополненности в жизни не являются, конечно, прямым проявлением одноименных физических принципов. Но они в общих чертах позволяют иллюстрировать "по аналогии" эти достаточно абстрактные и трудные вещи на простых и близких всем примерах...)*

Да, может показаться, что любой наш поступок бессмыслен, ибо обусловлен рядом причин, а потому несвободен. И последствия его быстро затухнут в цепочках причин - следствий из-за принципа неопределенности, а потому его значение в крупном масштабе окажется ничтожным. Спрашивается, есть ли выход из этого заколдованного круга?

Перед такой проблемой оказывались многие. Лучше всего об этом рассказали не ученые, а писатели.

Раскольников (*крайний случай*) решил проявить свободу воли, "Наполеоном стать", совершив алогичный поступок, который ему лично пользы не приносил, - убив бесполезную и даже вредную старушонку. Он не учел эффекта дополненности, гениально прочувствованного писателем задолго до появления одноименного (хотя и не тождественного, строго говоря) принципа квантовой механики. Дело не в том, что смешна и бессмысленна попытка стать Наполеоном, казнив старушонку процентщицу. Раскольников хотел стать личностью, "Наполеоном" только внутри себя и славы не искал. Дело в том, что, выскочив как будто из сонного течения жизни таким способом, он ровно настолько же увяз в тине, устилающей самое дно этой жизни. Он казнил частицу своего "я", и боль от этой ампутации привела его на грань безумия. Он не предусмотрел, студент XIX века, обученный по канонам механистического детерминизма... А неученая Сонечка прямо сердцем, без философской школы сразу поняла суть трагедии: "Это что же ты над собой-то сделал!"

Другой литературный герой, Дориан Грей, предусмотрел: зная, что все совершенное личностью остается в этой личности и может отравить любой успех, он отделил свое дополнение от себя в виде "портрета Дориана Грея". Но законов жизни не обошел и должен был в конце концов казнить свое дополнение, а тем самым и себя.

И наконец, сам Наполеон, герой, которым хотел стать Раскольников. Толстой как будто привел к абсурду не новую идею о ходе истории, где герои только пешки, подставные фигуры. Наполеон у него - слабый, посредственный человек. Он не только не в состоянии принимать блестящие решения, как а том гласит молва, он даже не в силах просто уследить за тем, что делается само, без его прямого участия. Кутузов же у Толстого тем и велик, что позволяет событиям развиваться, "как они того хотят", всеми силами отталкивая тех, кто хочет вмешаться. Да и сам Наполеон, разве не сказал он в минуту озарения: "Мой сын не мог бы заменить меня. Я сам не смог бы заменить себя. Я - порождение обстоятельств".

Да, один человек не может изменить ход истории, но он может замедлить или ускорить его. Случайно... А порой и намеренно, если он понял его путем интуиции, озарения, как Цезарь или Наполеон, или с помощью глубокого анализа, как Маркс и Ленин.

Человек обязан решать и исполнять свой долг до конца...

Мысль о сходстве, аналогии эффектов неопределенности и дополненности в традиционно-философской проблеме свободы и несвободы воли с чисто научными явлениями возникла у самих создателей квантовой механики, И не случайно. Эти физики, на себе испытавшие, что значит недостаточно учесть эффекты неопределенности и дополненности в реальной жизни (создав великое -

атомное пламя, они стали очевидцами того, как это величие неизменно, попадая в руки военщины), многое сделали для того, чтобы пробудить в людях бдительность и заботливость к своей маленькой планете. Они вышли - по доброй, свободной воле- из лабораторий на международные конференции, не имеющие никакого отношения к физике. Они боролись за мир, и теперь можно сказать" что не напрасно. Очень много думали они и над правами и обязанностями человеческой личности. Мне кажется не случайным, что любимым писателем Эйнштейна был Ф. М. Достоевский. И отражение духовного родства этих великих людей проглядывает в следующих строках А. Эйнштейна: "Ощущение того, как надо поступать и как не надо, растет и умирает подобно дереву, но никакое удобрение не может в этом сыграть существенной роли. Что должен делать каждый человек - так это давать пример чистоты и иметь мужество серьезно сохранять этические убеждения в обществе циников. С давних пор я стремлюсь поступать таким образом - с переменным успехом".

## Когда земля крикнула

*Я еще помню времена, когда лучшей наградой  
для ребенка было обещание воскресной поездки  
на Марс, а теперь капризный мальчишка не  
станет завтракать, если отец не устроит  
специально для него вспышки сверхновой!*

*С. ЛЕМ. Звездные дневники Ийона Тихого*

Проблема свободы выбора из индивидуальной проблемы совести и даже из проблемы социальной все больше стремится вырасти в нечто глобальное. По существу эта проблема стоит сейчас перед человечеством как целым. Если раньше течение истории статистически складывалось из "броуновского движения" отдельных людей, царей, государств, то теперь мы оказались перед настоящей необходимостью волевой, осознанной, целеустремленной деятельности человечества как целого - на случай и на авось полагаться больше нельзя. И в проблеме выбора "решать или не решать?" выбора больше нет: решать надо. И едва ли не более всего это относится к проблеме взаимоотношений человека с окружающей его средой. Но правильное решение возможно лишь при достаточно полном знании последствий нашего выбора. То есть при хорошем прогнозе.

*"Раньше мы могли сказать: история, мол, рассудит. Но когда приговоренным историей окажется человечество, текст приговора окажется никому не нужным. Значит, без прогноза не обойтись" -*  
Это слова моего друга геолога С. Мейена.

Демографы, социологи, экономисты, экологи, географы и многие другие ученые все чаще прикидывают (с вариантами для научных решений) пути развития человечества на ближайшее десятилетие, четверть века, столетие. Родается прогностика- всеобъемлющая наука о прогнозе. Она даже имеет уже свою историю, которая показывает, что блестящие научно-технические достижения прогнозируются лучше, чем последующие осложнения.

Человек как будто овладел миром. Он вырвал себя из статистической эволюции проб и ошибок; лекарства и хирургия свели почти на нет фактор естественного отбора, без которого еще ни один вид в истории жизни на Земле не мог поддерживать свое существование достаточно долго. Принцип неопределенности, с железной необходимостью вмешивающийся в законы наследственности, как в любую ниточку причин-следствий, должен привести к возрастающему от поколения к поколению числу ошибок в наследственном фонде человечества. Ошибки остались, "редактора" убрали. И как неотвратимое возмездие - появившаяся, согласно принципу дополнительности, проблема геномной инженерии. Накапливающиеся в хромосомах ошибки, кажется, есть возможность в какой-то мере устранить целенаправленно и сознательно и без варварского "редактирования", осуществлявшегося природой, которая вычеркивает ошибки вместе с существом - носителем этих ошибок. Но и сама геномная инженерия несет в себе многие опасности... Как часто, спасая одно, человек своими руками создавал новую опасность! Недавно виднейшие американские биохимики и молекулярные биологи, работающие в области геномной инженерии, объявили о добровольном моратории (*временном запрете*) на исследования в этой области и призвали к тому же ученых других стран. Геномная инженерия, заманчивая панацея от наследственных болезней, обещающая создавать искусственные организмы с любыми наперед заданными свойствами, таит в себе страшную опасность, рядом с которой меркнут все опасности, грозившие миру. Достаточно представить себе хотя бы случайно вышедший из-под контроля микроорганизм, к которому нет иммунитета ни у одного летающего, плавающего или прямоходящего жителя Земли... Не говоря уж опять-таки о людях корыстных, способных на все ради достижения каких-то собственных целей.

Любое большое новшество в наше время способно вызвать цепную реакцию "дополнительностей". В спешке спасая одно, мы нечаянно создаем новые опасности.

Вот почему прогноз становится настоящей задачей всех наук, а не только наук, специально занятых изучением стихийных бедствий.

Читатель мог бы вместе со мной продолжить ряд этих джиннов дополнительности, вылезших из бутылки нашей цивилизации. Оскудение, эрозия почв, засорение рек, озер и морей, загрязнение воздуха и даже... искусственные землетрясения - об этом джинне я говорил выше.

Об охране среды написано уже немало книг, и я не буду специально на этом останавливаться. Здесь важно отметить вот что. Спихнулись как будто не поздно. Уже почти удалось справиться с проблемой атомного заражения океана и воздуха. И новые международные соглашения об охране среды (в одном из таких соглашений фигурирует и сотрудничество в области прогноза землетрясений, которому в этой книге уделено немалое место), конечно, многое изменили к лучшему.

И все-таки многое упущено. И в значительной мере из-за застойной механистической уверенности: прогресс всемогущ, как-нибудь само все образуется. И никто не сможет доказать, что уничтожение рыб Великих Американских озер или, по счастью, слабое, но необычайно широкое отравление живого мира пресловутым ДДТ нельзя было предупредить вовремя, предвидеть даже при учете эффекта неопределенности.

И сейчас, начиная опять сознавать истину, понятную некоторым мыслителям минувших веков, о том, что все в мире связано со всем и что за все мы в ответе, мы можем и должны пристально вглядываться в будущее, непрестанно улучшая методы геопргноза. Какие еще джинны вылезут из бутылки причинно-следственных связей?

Конечно, мы обязаны сохранять заповедники-эталоны естественности в создаваемом нами искусственном мире, ибо пока не можем предсказать, что послужит лекарством человечеству через сто лет. Заповедники, уголки абсолютно дикой природы, - необходимые с точки зрения эффекта дополнительности противовесы урбанизации.

Мы обязаны сохранять леса. Ведь это они, а не водоросли океанов дают, как выяснилось недавно, львиную долю кислорода в природном круговороте  $CO_2 - O_2$ . Все это и многое другое мы должны делать, и это уже осознано и частично делается.

Но главное: мы обязаны быть настороже при появлении на свет каждого нового чуда нашей цивилизации. При нынешних темпах совершенствования всех сторон технологии, быта каждое новшество внедряется все быстрее. Нужна постоянно действующая служба прогноза, рассчитывающая все возможные отрицательные последствия даже самого на первый взгляд полезного будущего нововведения.

## Скажи мне, кудесник...

Когда что-то делается на твоих глазах и отчасти твоими руками, и это что-то еще в самом начале, хочется заглянуть вперед и узнать: а что будет? Мне хочется узнать: что ждет барсуковские понижения сопротивления и другие прогностические признаки, исследуемые порой с разочарованиями и большими затратами труда, в будущем? Что там правда, а что нет? Что останется для будущего эффективного прогноза, что сгинет без следа? Хочется прогноза о прогнозе.

Разочарования... Они порой таковы, что вызывают мысли о бессмысленности, тщете всех усилий, направленных к решению проблемы. И опасения. А вдруг от прогноза будет больше вреда, чем пользы?

Судьбы прогноза в молодой науке легче понять, проследив некоторые повороты проблемы прогноза в более почтенных науках: в метеорологии и климатологии; в географии, где существуют проблема прогноза и предупреждения оползней, экологических и ландшафтных катастроф; в геологии, где существует проблема прогноза полезных ископаемых; в истории...

Что же такое прогноз? Чем отличается гадалка от настоящего ученого, строящего, исчисляющего еще не совершившиеся события? Если читатель заявит мне, что гадалка просто все врет, я позволю себе с ним не согласиться. Он либо не обращался к гадалке, либо имел дело с человеком, притворяющимся, что он умеет гадать. "Все врет" - не объясняет того, что многие люди, особенно за границей, раз и два попытавшиеся узнать о своем будущем, снова и снова идут к знакомым опытным гадалщикам, которые, конечно же, наживаются на их доверчивости, но делают это порой мастерски.

Тембр голоса, покрасневшие глаза, вспыхивающая в лице, надежда при некоторых поворотах разговора, исчезновение интереса - все это для среднего психолога не бог весть какой ребус. Он и сам человек, и много таких видел, а перечень жизненных ситуаций не бесконечен.

Мне рассказывали, как одна женщина просто из любопытства пошла к бабке-гадалке, уж очень много о ней слышала. Пришла. Та раскинула карты, посмотрела.

- Муж, - говорит, - пить не перестанет, бросай его. Не бросишь - несчастной останешься.

- Но он у меня не пьет, - сказала женщина.

- Значит, изменяет!

- И не изменяет.

- Так чего ж ты пришла, такая-сякая, делать тебе нечего? Уходи!

Когда все хорошо, меньше интересуются будущим, а живут настоящим. Сам факт, что человек пришел к гадалке, - сильнейший факт, козырь в руки "прорицателя".

В древнем античном мире предсказания оракула были важнейшей частью политики и общественной жизни. И оракулы часто оказывались в курсе дел и давали порой неглупые советы, явно имея обширную информацию об испрашивающем прорицания и о его деле. Оракул, питающий прорицание информацией, не просто пустой прихлебатель, это уже прогнозист! Это профессиональный советчик, опытный в своем деле, умеющий собирать и перерабатывать информацию, только обставлено все соответственно: треножник, дым. Туманность же формулировок - не более чем обычная осторожность прогнозиста, не желающего сесть в галошу: "переменная облачность, возможны осадки", желающего сохранить лицо и авторитет и после неудачи своего пророчества.

У Достоевского в "Братьях Карамазовых":

*"- Скажи ты мне, Алексей, что сон сей значит?.. Земной-то поклон твоему братцу Дмитрию Федоровичу. Да еще как лбом-то стукнулся!*

*- Это ты про отца Зосиму?.. Не знаю, Миша, что значит.*

*- ...Фокус был проделан нарочно. Вот теперь и заговорят все святоши в городе и по губернии разнесут: "Что, дескать, сон сей означает?" По-моему, старик действительно прозорлив: уголовщину пронюхал. Смердит у вас... В вашей семейке она будет, эта уголовщина. Вот отец Зосима и стукнулся лбом на всякий будущий случай. Потом что случится: "Ах, ведь это старец святой предрек, напроорочествовал", - хотя какое бы в том пророчество, что он лбом стукнулся? Нет, это, дескать, эмблема была, аллегория, и черт знает что!"*

Да, не так-то просто порой провести четкую границу между древним вещуном, предсказывающим попутный ветер мореходу, и нынешним синоптиком. Оба выдают прогноз, питая его информацией, опытом и интуицией. Только уровень всего этого у них разный.

Мне рассказывали, как до сих пор утверждается окончательный прогноз в Гидрометеоцентре и сейсмический экспериментальный текущий прогноз на Камчатке, в Институте вулканологии. Уже после формул, графиков, вычислительных машин окончательный результат... голосуют!

Дело тут не только в том, что один метеорологический или сейсмологический "оракул" больше верит одним данным и расчетам (как правило, тем, к каким сам имеет отношение), а другой - другим, а полной "сходимости" нет. Дело в том, что голосование - это в сущности научный, статистический метод выявить прогноз неосознанный, смутно-интуитивный, какой не оформишь порой четкими доказательствами. Это момент, когда самый неуверенный отбрасывает сомнения и должен своим голосом внести свою лепту в коллективный прогноз, превращая свой мозг в своего рода ячейку сверхмозга.

Иногда высказывается мнение, что метод, "голосования прогноза" надо развивать и совершенствовать. Например, сделать голосование тайным, чтобы никакие соображения престижа (вчера говорил одно, сегодня - другое, как же?) или служебной субординации не влияли на чистый результат, чтобы прогноз шел непосредственно от интуиции, или, как иногда говорят, от подсознания. Порой утверждают, что и тайного голосования тут недостаточно, что коллективный вердикт надо извлекать из мозгов отдельных специалистов-прорицателей каким-то особым путем, гипнотизируя их, например. Ведь не секрет, что многие наши природные способности, интуитивное мышление приглушены повседневной рутинной, самосознанием, нередко оформленным неправильно в силу воспитания ("Я не умею рисовать! Я не способен к языкам!"). А под гипнозом очень многие оказываются способными прекрасно рисовать и языки выучивают в неделю.

И кто знает, может быть, это должно быть особым профессиональным качеством нынешнего прогнозиста-оракула - способность раскованно, убирая волевым усилием разного рода перегородки, установленные в наших мозгах самим ходом жизни (например, боязнь предсказать неприятное себе и окружающим, катастрофу), выносить решение, находящееся в наименьшем противоречии с имеющимися фактами, прецедентами, опытом и интуицией. И еще - быть бесстрашным и неутомимым в отстаивании своего прогноза перед лицом явного и неявного давления окружающих: ну предскажи чего получше!

## Еще о прогнозе в стихах и в прозе

Мы ждем  
Земли трясенья.  
Это - наша.  
Работа!  
Может, оно  
В воскресенье,  
Может,  
В субботу.  
Падают вниз  
Кривые.  
Мир ничего  
Не знает.  
Веки подъемлют  
Вии,  
Разлом зияет.  
Земля потечет

*Из экспедиционного фольклора*

Водицей,  
Горы заходят  
Волнами,  
Камни взлетят  
Птицами  
Над кишлаками  
Сонными.  
Вии веки  
Подъемлют,

Взгляд их -  
Черная Яма!  
В трепет -  
Заполнивших  
    землю,  
Тех, упрямых.  
Мы его ждали  
Долго -  
Мрачное  
Чудо праха.  
Но с нетерпеньем  
Долга,  
А не в гипнозе  
Страха.  
Полнится числ  
Значенье,  
Путы плетут  
Кривые.  
Страшен взгляд  
Изученья  
Мертвому глазу  
Вия.

## Провал, взрыв, сдвиг

- Вы будете заниматься механизмами землетрясений, - зал мне по телефону в Москве шеф. - Оформляйте командировку и выезжайте. Прошу вас, не задерживайтесь.

...Возможно, читатель будет удивлен, поняв, что основой сейсмологической науки по сей день является сейсмограмма, почти неотличимая от тех, которыми пользовался еще до первой мировой войны отец русской сейсмологии Б. Б. Голицын. Но это так. Сейсмографы системы Голицына (прекрасная вещь!) по сей день на вооружении науки.

Говорят, в этой неровной синусоидальной кривой, нарисованной перописцем, а чаще "зайцем" (световым зайчиком) на фотобумаге, - вся информация и о самом источнике сейсмического сигнала, и о среде на пути этого сигнала. Нужно только научиться "читать" эти письма...

Думается, это утверждение столь же верно (и столь же неверно), как и мнение "доквантовых" физиков о принципиальной определенности координат микрочастицы или о независимом от наблюдателя объекте наблюдения. Мне не хотелось бы брать на себя слишком много, заявляя, что принципы неопределенности и дополнительности легко перенести на сейсмологическую почву. Но - читатель убедится - процесс практической "камеральной" работы с материалами наблюдений очень часто сталкивает сейсмолога с проблемами, весьма похожими на трудности физика, пытающегося подойти к микромиру с позиций буквального детерминизма.

Да, в сейсмограмме землетрясения, особенно если это сейсмограмма с хорошей разверткой (такие получают, например, при записи сигналов на магнитную ленту), наверняка скрыты все нужные данные об очаге землетрясения и о среде по пути сейсмической волны. Вот только разделить эти две составляющие... Мне приходилось слышать такое, крайне, скептическое мнение: ни в чем нельзя быть уверенным, если, например, данные о среде у нас только сейсмологические, если мы не изучили ее еще каким-нибудь методом. Своеобразные взаимоотношения дополнительности! Уравнение с двумя неизвестными, требующее для своего точного решения еще одного уравнения.

Что же там есть, на сейсмограмме?

Самые простые и ясные непосвященному сигналы (они же и самые интересные, больше всего давшие науке) - это моменты прихода, первые вступления продольной волны (это волна сжатия - разрежения, во всем подобная обычной звуковой волне) и волны поперечной. Расстояние на сейсмограмме между этими первыми вступлениями - это разность во времени прихода продольной и поперечной волн, очень важный параметр, характеризующий, во-первых, расстояние до очага землетрясения и, во-вторых, отношение скоростей продольной и поперечной сейсмических волн, по которому можно определять опасное сгущение энергии на пути сейсмического "луча", предвещающее сильное землетрясение...

Размах колебаний на сейсмограмме - амплитуда... Учтя расстояние до очага, по максимальной амплитуде мы определим энергию, магнитуду землетрясения. А разные отклонения от среднего характеризуют свойства среды. Длинный хвост записи, похожий на хвост метеора, - тоже весьма интересный объект изучения. Это - запись волн, долго плутовавших, отражавшихся от разных слоев, преломляющихся. Длина хвоста тоже говорит о свойствах среды. Полной неожиданностью для сейсмологов было необычайно долгое сейсмическое эхо на Луне. Там хвост записи удара от отделившейся ступени раке ты растянулся на целый час. Как сейчас предполагают ученые столь долгое почти без затухания блуждание сейсмически! волн в недрах ночного светила, возможно, связано с полным отсутствием воды в лунной коре. И это (если это так) - сильнейший довод в пользу "водного" варианта гипотезы дилатенсии, сулящей нам эффективный прогноз землетрясений.

Впрочем, одно перечисление всего, что можно увидеть на сейсмограмме, заняло бы полкниги. Нам досталось самое первое, самое "простое", самое начало сейсмограммы - вступление продольной волны.

...Еще только начиналась эта наука. И первые сейсмологи-станционники при определении эпицентров землетрясений столкнулись со странным явлением. Сейсмографы в те времена не измеряли вертикальных колебаний почвы, не имели "вертикальной компоненты", а только две горизонтальные - широтную и меридиональную (в этих направлениях у них качался под действием подземных толчков массивные маятники). Именно с помощью этих двух компонент определялось направление от станции на землетрясение. И нередко начинающие станционники ошибались на 180 градусов. Почему?

*"Бывают... случаи, когда фронт первой волны представляем собой волну разрежения, вызывая как бы всасывающее действие и тем самым смещая элемент поверхности Земли в сторону к эпицентру".* Так писал более 60 лет назад основоположник научной сейсмологии, академик Голицын. Вот это противоположное здравому смыслу движение к землетрясению, как к всасывающей воронке (а не от него), и порождало странные результаты измерений с точностью "до наоборот".

Голицын подозревал, что двоякое поведение первой приходящей к прибору волны связано с тем, как реально движется горная порода в очаге землетрясения - от наблюдателя или к нему. И советовал сейсмометристам выходить из положения с помощью вертикального сейсмографа (маятник которой способен качаться только строго вертикально). *"Так как продольные волны идут всегда снизу, то, если вертикальный сейсмограф укажет, что первое смещение почвы было кверху, то тем самым определится, что первая пришедшая волна была волною сжатия и наоборот"*, - писал дальше Голицын. Теперь, когда положительные и отрицательные вступления продольной волны из очага землетрясения перестали быть просто источником ошибок, а стали важнейшей составной частью сейсмологических наблюдений, первое вступление на Z-компоненте (зенитном сейсмографе) обязательно проставляется в международном бюллетене, где регулярно печатаются сведения обо всех сильных землетрясениях мира. В этом бюллетене хорошо видно, что от одного землетрясения на разные станции волна приходит то в виде положительного, то в виде отрицательного вступления - факт, во времена Голицына еще неизвестный.

О чем говорит этот факт? Представим себе, что мы ровно ничего не знаем о том, почему и отчего происходят землетрясения ... Но мы знаем, что на разные станции первое вступление сейсмической волны может прийти как в виде положительного (от очага), так и в виде отрицательного (к очагу) вступления. Можем ли мы на этой основе (см. рис. 2) построить достаточно уверенную модель происходящего там, в черных глубинах?

Гёте, говоря о Лиссабонском землетрясении, упомянул и о своих воззрениях на природу очага землетрясения: *"Со всех сторон земли поступали все более подробные сведения о влиянии подземного взрыва"*.

Взрывом считал первопричину землетрясений английский ученый Мале, которого называют иногда первым сейсмологом. Допустим, первотолчок землетрясения - действительно взрыв. От взрыва тоже идут во все стороны сейсмические волны. Но где бы мы ни поставили наши сейсмоприемники, они должны качнуться от источника волны, все первые вступления будут положительными. Так, кстати, можно отличить на записях взрыв от естественного землетрясения (правда, бывают случаи, когда вулканический или искусственный взрыв "маскируется" под настоящее землетрясение, и это очень интересные случаи, но об этом немного дальше). Значит, взрыв как модель землетрясения не годится.

В свое время (в 1857 году) упомянутый уже Мале, исследуя плейстосейстовую область (область наибольших разрушений) Неаполитанского землетрясения, стал жертвой своих неверных теоретических представлений о физике очага землетрясения. Он был на правильном пути, пытаясь установить направление на очаг, глубину "фокуса" землетрясения по расположению трещин, смещению сдвинутых и опрокинутых предметов. Но Мале считал источником волн вулканический взрыв. А раз взрыв, значит, лобовой удар, а волны, распространяющиеся от очага, только продольные. А ведь наибольшие разрушения бывают как раз от поперечных колебаний, значит, все вычисления Мале были проведены впустую, с точностью "до наоборот"!

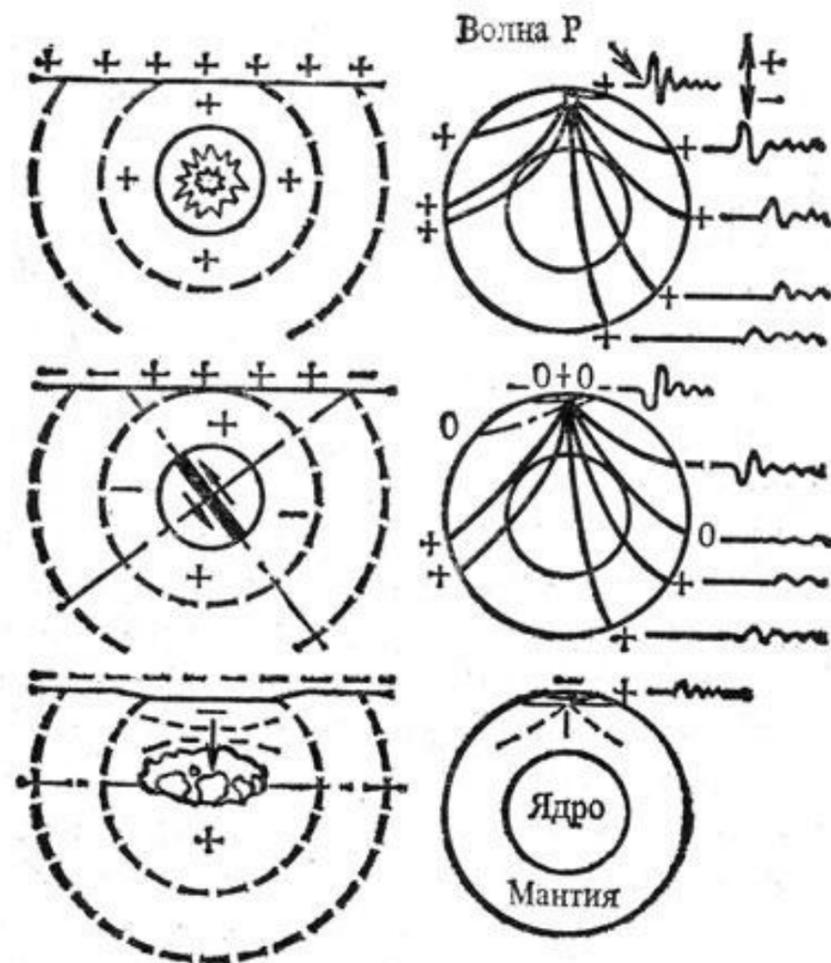


Рис. 2. Что дает сейсмологу определение механизмов землетрясений? Прежде всего - возможность отличить настоящие тектонические землетрясения от нетектонических, например взрывов, искусственных, или вулканических (верхний рисунок), или подземных обвалов (внизу). Настоящие землетрясения на сети станций всегда образуют четыре чередующиеся области с первым движением горных пород от очага (+) или к очагу (-). Это первая информация о землетрясении, запечатленная в самом начале сейсмограммы. Средний рисунок - это тектоническое землетрясение. Движение в очаге идет по типу надвига (по одной из возможных плоскостей разрыва). Видно, что в том случае, если бы "сработала" вторая плоскость, этого по механизмам никак нельзя было бы уловить, но геологический смысл движения в данном случае не изменился бы, землетрясение осталось бы надвиговым

Когда-то думали, что землетрясения вызываются обвалами в подземных пустотах. Вслед за знаменитым геологом XIX века Ч. Ляйелем проницательный русский геолог Д. Соколов в 1842 году писал: "Ни подъема, ни обрушения какой-либо толщи нельзя допустить без полости под нею". Представим себе это явление (в принципе возможное и отмеченное в районах развитого карста, где много подземных пещер, пустот). Камни, грунт, оторвавшиеся от свода, с силой ударяют в дно пещеры. Ясно, что удар в этом случае направлен от земной поверхности, и все расположенные там сеймоприемники покажут отрицательное вступление (только к очень удаленным могут подойти волны, направившиеся вниз от дна пещеры), но таких сплошь отрицательных вступлений сейсмологи от настоящих землетрясений не получают.

Иное дело - модель сдвига...

Еще великий австрийский геолог Э. Зюсс в конце прошлого века обратил внимание, что землетрясения в Австрии как бы нанизаны на некие линии, причем линии эти были явно связаны со строением Альп. Правда, до него связь землетрясений со всякого рода разломами и сдвигами в земной коре (их называют дислокациями) замечали и Ляйель, и Соколов, и другие геологи. Но все эти предшественники, отмечая связь дислокаций с землетрясениями, подчеркивали, что считают дислокации следствиями независимо происходящих первотолчков (взрывов или обрушений). Зюсс впервые отождествил дислокации с очагами землетрясений. Он раз и навсегда разделил землетрясения на вулканические и тектонические, а тектонические в свою очередь попытался подразделить на сдвиговые землетрясения, вызванные горизонтальными напряжениями земной коры, и сбросовые (землетрясения с вертикальным взаимным перемещением "крыльев" - берегов трещины-дислокации).

В 1906 году в молодой науке сейсмологии произошло два больших события. Русский физик академик Голицын изобрел электромагнитный сейсмограф, неизмеримо повысивший точность регистрации землетрясений. А американский исследователь доктор Рид вооружил наконец науку настоящей теорией тектонического землетрясения. Эта теория, развитая и видоизмененная, лежит в основе всей сейсмологии по сей день. Калифорнийские землетрясения и сейчас высоко "ценятся" за необычайную чистоту и понятность происходящих движений. Сильные толчки привязаны здесь к уникальному для континентальной коры сдвиговому разлому Сан-Андреас. Сдвиговое движение по этому разлому, как медленное, без толчков (такое тектоническое движение носит название крипа), так и быстрое, с разрушением во время землетрясений, можно считать классическим, бесспорным. Во время землетрясения 1906 года крылья разлома сместили изгороди дороги на 7-8 метров!

"Кора во многих местах Земли, - писал Рид в своей знаменитой, сейчас ставшей хрестоматийной статье, - медленно перемещается, и разности перемещений в соседних областях создают упругие деформации, большие, чем порода может выдержать, затем возникает разрыв, и деформированные породы испытывают отдачу под действием их собственных упругих напряжений, пока эта деформация в значительной мере не будет снята... Эти деформации не возникают внезапно, но постепенно накапливаются благодаря медленному перемещению соседних областей".

До Рида (впрочем, этот взгляд и сейчас встречается среди сейсмологов) ученые представляли себе очаг землетрясения, источник сейсмических волн, в виде точки. По Риду, очаг - это прежде всего плоскость, более или менее, в зависимости от масштаба землетрясения, обширная площадка, по которой скользят друг относительно друга соседствующие блоки коры. Основные положения модели Рида не оспариваются по сей день. Поправки же и дополнения к ней основаны на все растущем осознании того факта, что геологическая среда, геологическое пространство-время во многом отличаются от условий лабораторных разрушений (Рид прямо применил к землетрясениям основы теории упругости, разработанной для совершенно других масштабов и материалов.)

Если взять кусок парафина и сжимать его в тисках, то можно заметить, что, сжимаясь в направлении действия сдавливаемых челюстей тисков, образец как бы расширяется в перпендикулярном направлении. Так, решил Рид, все идет и в сжимаемом кубе горных пород: всегда есть ось наибольшего сжатия и перпендикулярная ей ось наименьшего сжатия (или, проще, растяжения). Плоскость же разрыва пойдет по диагонали куба (под 45 градусов к осям напряжения) - либо по одной, либо по другой, либо по обеим (*В том случае, если помимо одноосного сжатия в тисках образец находится в состоянии достаточно высокого всестороннего давления, как это всегда бывает в недрах Земли. Без этого условия трещина может пойти иным образом*). Расположение в пространстве этих осей и плоскостей, если их установить, и есть механизм землетрясения.

Можно мысленно окружить очаг землетрясения шаровой поверхностью, сферой. Энергия из очага пойдет во все стороны неравномерно. Самый большой импульс движения от очага пойдет в двух противоположных направлениях вдоль оси растяжения. (*В недрах Земли, в условиях всестороннего сжатия, строго говоря, не может быть оси растяжения, а может быть только ось наименьшего сжатия. Но для*

*простоты о ней часто говорят как об оси растяжения)* Самый большой импульс смещения к очагу - вдоль оси сжатия. Если нанести на сферу все положительные вступления первой волны в виде плюсов и все отрицательные в виде минусов, то ось сжатия окажется в центре области минусов, ось растяжения - в центре области плюсов, а границы между ними совпадут с пересечением сферой двух возможных плоскостей разрыва.

Примерно так представил себе сдвиговую модель очага землетрясения японский ученый Накано в 1923 году. Примерно таким видят сейчас практически механизм землетрясений сейсмологи.

Только невозможно, да и нет нужды окружать очаг сферой из сейсмоприемников. Зная законы преломления волн, можно такую сферу построить на чертеже. Сейсмический луч от очага до каждой станции проткнет эту сферу в той или иной точке. На чертеже сфера изображается плоскостью - кружком, на который проектируют и очаг землетрясения, вернее, ту точку очага, откуда начинается и откуда приходит самая первая волна-сигнал (центр кружка), и станции - точки с положительными и отрицательными вступлениями. Нужно только, чтобы станций было больше да и расположены они были на разных расстояниях от эпицентра землетрясения, более или менее равномерно вокруг него. Значит, нужно либо равномерно размещать сеть станций вокруг сейсмичных районов (так устроена наша гармская сеть станций), либо хорошо наладить международную сеть, международное сотрудничество, обмен сейсмологической информацией. И то и другое в наше время более или менее сделано.

Землетрясение - это горообразование в действии, это воплощенное время сеймотектонического процесса, это пульсация секундной стрелки на часах тысячелетий. А если это так, то установленный механизм землетрясения, а точнее, механизмы тысяч землетрясений, рассмотренные в комплексе, во времени и пространстве, - это построчная расшифровка истинного смысла и содержания до сих пор таинственного и спорного явления, имя которому - геологический процесс. При обращении к каталогам механизмов землетрясений для разных районов мира охватывает острое чувство присутствия при обычно скрытом своей медлительностью процессе, чувство близости открытия. Чувство это, может быть, преувеличено. Механизмы раскрывают не все и кое в чем, как видит читатель, двусмысленно.

И все же трудно представить себе картину мира, из которой кто-то вычеркнул бы то, что дала науке расшифровка механизмов, то есть движущих сил, землетрясений. Поэтому имена тех, кто разрабатывал методику этих расшифровок, навсегда останутся в истории науки. Это японцы Накано и Хонда, американцы Байерли и Ходжсон, наши Кейлис-Борок и Введенская. Нельзя не поклониться этим людям за минуты острого чувства озарения, которое охватывает, когда из кажущегося сумбура цифр начинает вырисовываться картина, которую так и хочется назвать истиной. Но не нужно слишком поспешно следовать этому желанию...

## Умная, снисходительная природа

В самом общем виде работа ученого состоит в переводе на язык науки с предметного языка природы некоей новеллы, именуемой либо как "явление", либо как "закономерность". Перевод этот не совсем точен, грубоват (с точки зрения абсолютной истины). Он в каком-то смысле является популяризацией природы в разных ее проявлениях. Популяризацией не для всех, а для узкого круга "своих", владеющих тем же языком. Популяризатор науки работает на следующем уровне, переводит с языка науки на язык обычный, литературный, но законы этой работы те же или очень близкие. И ошибки в этих родах деятельности похожие. Это ошибки перевода. Неадекватности, неуклюжести. Но есть и другое. И ученый в своих усилиях познать и объяснить себе и коллеге природу "один к одному", и популяризатор в своих вторичных усилиях познать и объяснить читателю то, что делается в науке, сталкиваются с эффектами неопределенности и дополнительности. О том, как это ограничивает возможности науки, я уже рассказывал. Популяризатор находится в еще худших условиях. Для него эти эффекты существуют "в квадрате". Чем ближе к оригиналу его изложение, тем суровее действие эффекта дополнительности: популяризация перестает быть популяризацией и становится наукой. На этом основании некоторые мои знакомые ученые считают, что популяризация вообще не нужна (если она точна, это не популяризация, если она неточна, она "лжет"). Но, несмотря на очевидность "неполной, адекватности" популярного изложения, оно не просто допустимо, оно и необходимо. Без литературного освоения достижения науки не смогут проникнуть в мировоззрение не только человечества в целом, но и даже в мировоззрение самих исследователей. Подбадрывающим примером здесь мне служит позиция основателей новой физики, сложнейшей из наук: *"Реальные эксперименты невозможно было бы описать, не применяя при этом разговорного языка и понятий наивного реализма"* (Нильс Бор).

Итак, сейсмология "на пальцах"... После долгих перетасовок мы установили, что все механизмы землетрясений Гармского района хорошо делятся на семь главных типов. Каково же было наше удивление, когда спустя несколько месяцев мы случайно набрали на одну старую работу выдающегося сейсмолога Бота, где были почти те же семь типов. Зря старались? Может быть, и не зря. Неизвестно, с тем же ли рвением мы продолжали бы нашу работу, если бы сразу узнали, что начали с известного. Самое подкупающее в нашей типологии - так мы ее назвали - было то, что каждый тип легко связывается с определенным, конкретным геологическим движением - сбросом, надвигом, вертикальным взбросом и т. д. Все эти классические понятия науки о горообразовании вместе нашей типизацией можно увидеть на рис. 3.

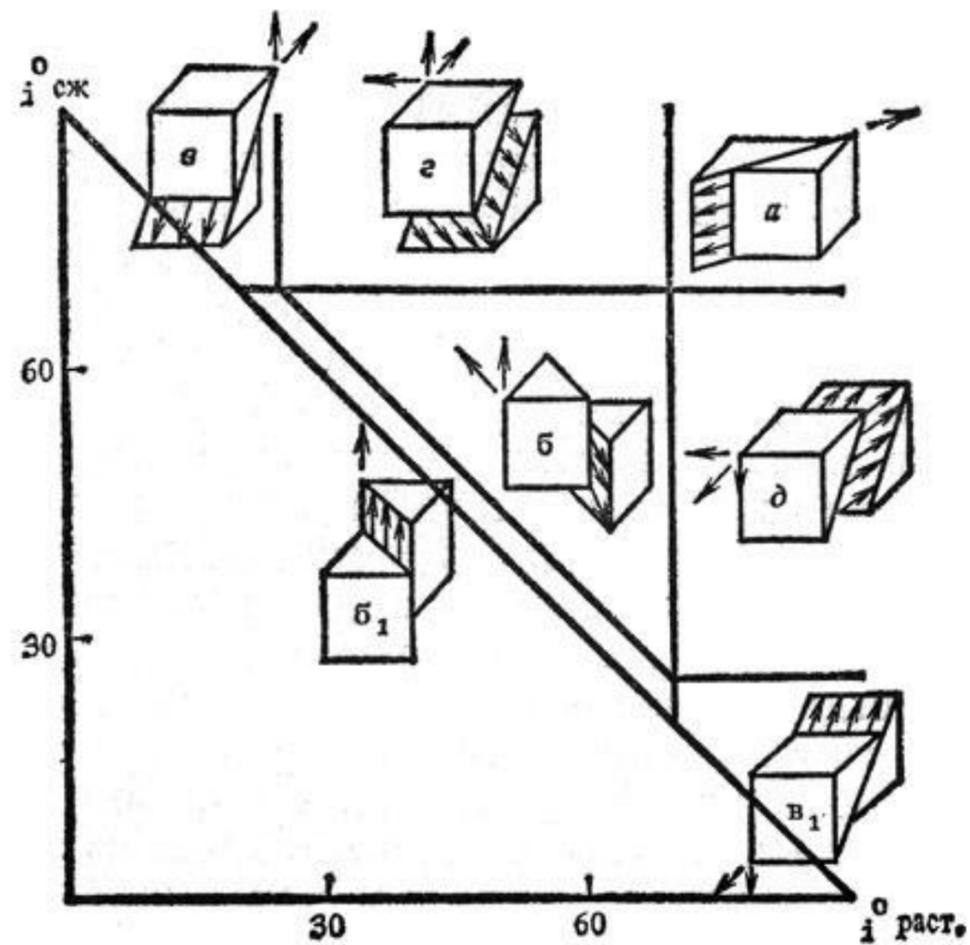


Рис. 3. Механизмы землетрясений можно по геологическому смыслу происходящего движения разделить на семь типов

На рисунке-графике отложены углы наклона (от вертикали) оси сжатия и оси растяжения. По сочетанию этих двух осей выделяются следующие типы (разделены границами):

- а - горизонтальный сдвиг. Оси сжатия и растяжения горизонтальны, плоскости разрыва (обе, вторая не показана) вертикальны, движение по такой плоскости чисто горизонтальное;
- б - вертикальный сбросо(взбросо)сдвиг. Все оси под острыми углами к вертикали. Плоскости разрыва: одна вертикальная (с движением вверх и "вбок"), другая наклонная (косой сдвиг); она маловероятна и здесь не показана;
- б<sub>1</sub> - вертикальный взброс (сброс). Вторая горизонтальная плоскость разрыва (шарьяж) маловероятна в статистике коровых землетрясений и здесь также не показана;
- в - надвиг (обе плоскости);
- в<sub>1</sub> - пологий сброс, движение, обратное надвигу, что-то вроде "тектонического оползня";
- г - сдвигонадвиг (обе плоскости), самое "сложное" по своей геометрии движение наряду с типом д;
- д - сдвиго-сброс, движение, обратное сдвигона-двигу. Стрелками на плоскостях показано направление движения по плоскости разрыва, стрелки на углах "кубиков" - "составляющие" движения в нашей обычной системе координат.

Ну а результат, спросите вы. Результат наметился сразу, как только каталог рассортировался на типы (для этого и понадобилось пусть условное, но четкое разграничение типов) и был подсчитан процент - содержание каждого типа отдельно для слабых и для сильных землетрясений.

Результат давно доложен коллегам и опубликован в научной печати, естественно, не вызвав сенсации, а лишь умеренный интерес и отчасти критику. Результат был необыкновенен только для нас (и для наших друзей) и только одним: он был первым! Он сообщал нам то, о чем мы прежде знали только понаслышке и чему в глубине души, может быть, не верили: в природе нет хаоса, все в ней устроено "разумно", и эта разумность, когда она внезапно выглядывает краешком из машинально чертимого тобой графика, буквально ошеломляет.

Впрочем, спешу пояснить. На рис. 4 показаны наборы типов (в процентах) для слабых и для все более сильных землетрясений. Видно, что самые многочисленные среди слабых тресков и скрипов типы тушуются и исчезают по мере роста энергии взятых для анализа землетрясений. Можно сделать следующий шаг - поделить все землетрясения на "слабый" и "сильный" (на рисунке "сильный" отмечен штриховкой) "надтипы".

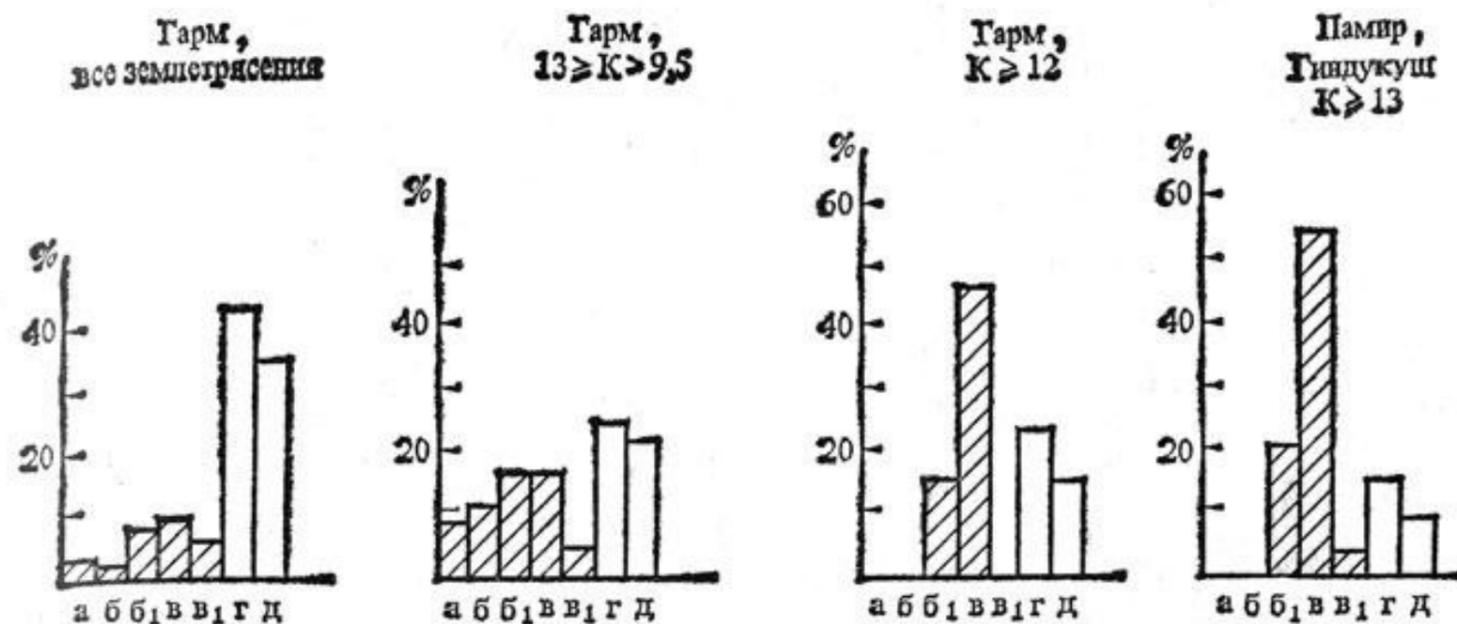
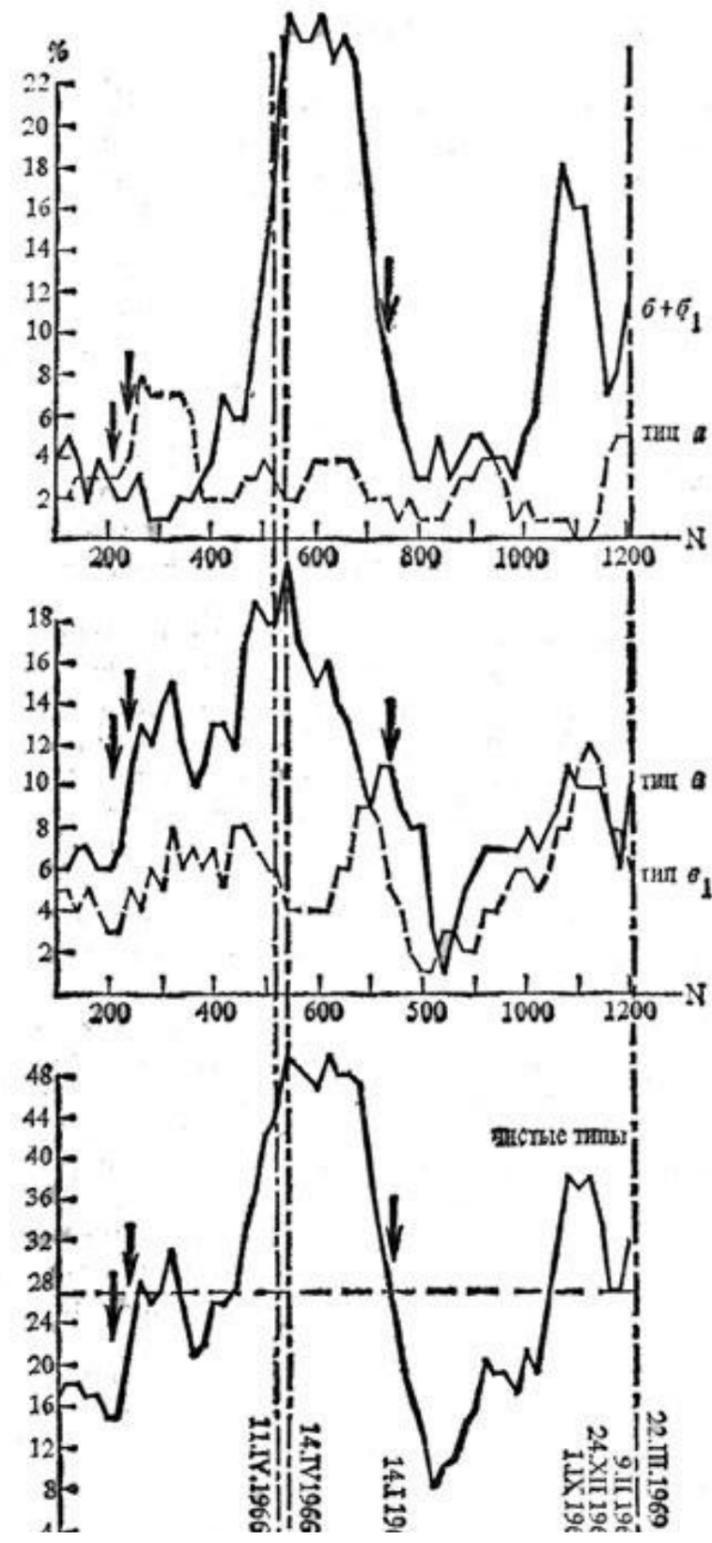


Рис. 4. Разделение механизмов землетрясений на типы не просто удобно. Сразу появляется возможность статистических сопоставлений. Процент числа землетрясений того или иного типа за большой срок - это средняя вероятность появления именно этого типа в этом районе, величина столь же строго определенная, как и наклон угла графика повторяемости. Всякие отклонения от установленной средней вероятности таят в себе возможность обнаружения новых явлений. На этом рисунке каждая следующая диаграмма показывает, как меняются вероятностные соотношения толчков разных типов с ростом энергии землетрясений. Видно, что по мере роста энергии падает значение типов со "сложной геометрией" очагов (г и д), растет значение прочих, более простых типов, особенно надвига, который можно считать главным типом движения для всей обширной горной страны. Эти диаграммы дали основание говорить о "сильном" и "слабом" типе землетрясений и перейти к попытке использовать это разделение для прогноза самых сильных сейсмических катастроф

Возникло подозрение, что все слабые землетрясения делятся на две большие группы. Фоновые, более или менее хаотические и аккомпанирующие всей действующей современной геологической жизни в недрах нашего района, то есть шум. И особые, во всем похожие на сильные, кроме своей энергии. Возникло подозрение, что эти особые землетрясения и есть тот долгожданный полезный сигнал, который может предупреждать о начале критической эпохи подготовки сильного толчка.

Подозрение оформилось в уверенность как бы совершенно неожиданно, однажды, когда в Гарме уже темнело, уже звенели цикады и горы фиолетово светились в закатном майском небе. От дома, где жилье, до рабочего кабинета не больше сотни шагов, и ночью многие комнаты камерального корпуса освещены. В кабинетах едят, чертят мелом на доске, считают на портативных вычислителях, спорят.

Мы в ту ночь считали содержание "сильных типов" слабых землетрясений в каждой сотне последовательно идущих одна за другой карточек Гармского каталога. Обычные статистические приемы - сглаживание, усреднение, и все это - на временной шкале, где единицей времени служат не секунды, не минуты и не сутки, а сами сейсмические события примерно за пять лет (конец 1963 - начало 1969 года). И вот наконец последняя цифра высчитана, последний кусок кривой проведен. Удача! За это время доля землетрясений "сильного типа", в среднем равная 27 процентам (очень устойчивая на больших пространствах и за большой срок цифра), только два раза поднималась выше среднего - почти до 50 процентов. И оба раза это повышение кривой заканчивалось сильным толчком (рис. 5).



*Рис. 5. Все типы проверяются на "прогностическую ценность". В каждой сотне последовательно идущих друг за другом на протяжении пяти лет слабых землетрясений оказалось далеко не равное число "сильных", простых типов механизмов. Лучше всего сильнейшие землетрясения (отмечены штрихпунктиром) прогнозировав лись типами б<sub>1</sub> (вместе с б) и главным для района типом в. Стрелами отмечены средние по силе землетрясения. Они этим методом не прогнозируются*

Между рождением "слабых землетрясений сильного типа" и этим последним подсчетом, в результате которого появился новый прогностический признак, прошел почти год... И когда кривая была закончена, появилось недоумение: почему же так долго? Ведь сделано было самое простое. Как же мы раньше не догадались выстроить все землетрясения одно за одним и посчитать?

Мешала предвзятость, распространенная уверенность в том, что прогностические признаки нужно ловить на крошечном пятячке вокруг эпицентра готовящегося землетрясения. Но именно на этом пятячке землетрясений не бывает или бывает очень мало. А строить прогноз "по трем точкам" ... Можно, конечно, но верить такому прогнозу все-таки нельзя.

Получилось так, что природа намного умнее своих исследователей. Если бы прогностические признаки действительно появлялись на крошечном пятячке вокруг будущего очага, то поймать и выделить такой пятячок было бы практически невозможно, Природа оказалась и умной, и снисходительной: как раз с землетрясений 13-14-го класса (которые и прогнозировались нашими признаками) область подготовки землетрясений уже почти равна по площади целому Гармскому району. И сотни следующих друг за другом толчков дали очень четкое и полное предупреждение. Такому предупреждению можно доверять - ведь ясно, что процент, исчисленный из сотни случаев, намного точнее процента, исчисленного из пяти - десяти случаев. Статистический метод прогноза лучше раскрывал детерминированность, причинность процесса, чем прямой, в лоб детерминистский штурм.

При таком обороте событий материала для прогноза (раньше его вечно не хватало) оказалось достаточно, чтобы проследить, как распределяется по району грозное нарастание параметра "сильного типа". Честно говоря, мы боялись, что при таком разложении результата он рассыплется, окажется вдруг, что это так, случайно набрались высокие проценты в канун толчков. Но все вышло. Весь юг района (там, где произошли оба землетрясения) своими четырьмя широтными поясами согласно и синхронно подтвердил: да, сильный толчок готовился на обширной площади, причем, похоже, что импульс, нарастание опасности шли именно с юга, оттуда, откуда на Гармский район надвигается Индийская плита. Север района Тянь-Шань - оказался связанным с южными сейсмическими событиями намного слабее.

Что происходит в недрах? Почему в период приближения критической точки начинают смещаться акценты во взаимном расположении осей и плоскостей разрыва слабых землетрясений? Меняется геометрия сейсмического пространства - возникают разрешенные и запрещенные направления для движений... Движения геометрически становятся проще... Если уж сдвиг, так сдвиг, а надвиг, так надвиг, а не сдвигонадвиг, не сбрососдвиг...

Но какое же движение в районе главное? Это хорошо видно, если снова взглянуть на рис. 4. Это движение типа "в", надвиг. По этому типу идут самые сильные землетрясения всего Памиро-Тянь-Шаня. Горизонтальное сжатие с напозанием одного блока на другой. Впрочем, это уже другой масштаб исследования и другой, стало быть, разговор...

## Музыка недр

Прогноз... Научное пророчество... Капитан "Бигля" Роберт Фицрой проявил ограниченность, не приняв идей своего знаменитого пассажира Чарлза Дарвина, но он искупил это непонимание тем, что сам совершил своего рода научный подвиг. Уже адмиралом, он организовал в прошлом веке первую в мире службу прогноза погоды и тем обрек себя на форменные мучения. Его прогнозы оправдывались, конечно, намного хуже, чем современные, и если мы и сейчас подтруниваем над синоптиками, когда вместо обещанной переменной облачности без осадков на весь день устанавливается нудный дождь, то тогда было еще хуже. Многие видели в Фицрое шарлатана, нечто вроде цыганки-гадалки, и знаменитый английский юмор довел моряка-энтузиаста до самоубийства. И все же синоптики видят будущее. Самый обычный комнатный барометр, если уж очень упорно начнет "падать", является неподдельным пророком бури...

Что-то вроде барометра земных недр есть и в распоряжении сейсмологов. И есть давно...

Дилатенсия и вся свита связанных с ней явлений, возможно, не смогут рассказать обо всех тонкостях сейсмической погоды на завтра, но ведь это и не требуется. Требуется именно недвусмысленное и точное предсказание "сейсмической бури", катастрофы.

В 1911 году, за пять лет до своей смерти, академик Голицын писал:

*"Скорость распространения продольных и поперечных волн, оказывается, для того же самого места не является величиной постоянной. Она изменяется с течением времени, в зависимости от состояния натяжения внутренних слоев Земли. С увеличением натяжения скорости эти убывают".*

В своем научном завещании Голицын уделил особое внимание работе венгерского сейсмолога Е. Ковеслигети, подметившего, как в зоне подготовки будущей катастрофы меняется скорость проходящих сейсмических волн от обычных, слабых землетрясений. Голицын назвал этот путь разработки прогноза "особенно интересным и важным".

Итак, сейсмические волны от землетрясений и взрывов бывают двух родов в зависимости от направления вызванных ими колебаний частиц почвы: продольными (Р) и поперечными (S). Продольные волны бегут в  $\sqrt{3}$  раза быстрее поперечных. Именно поэтому почти все очевидцы сильных землетрясений рассказывают о двух сотрясениях, причем второе бывает сильнее первого. Это - своеобразная "милость" природы. Первый толчок, как бы он ни был смертоносен, все же лишь предупреждает о следующем, еще более смертоносном. Правда, заблаговременность этого предупреждения часто недостаточна, чтобы можно было принять действенные меры спасения.

Сейчас, вооруженный знанием о двух основных видах сейсмического излучения, опытный сейсмолог даже без приборов может прикинуть, далеко ли от него произошел толчок. После первого удара (это - вступление продольной волны) через какое-то время происходит второй, еще более сильный (поперечные волны приходят позже). Если между толчками проходит, скажем, 10 секунд, сейсмолог мысленно умножает это число на 9. Полученное число 90 - это число километров от наблюдателя до гипоцентра землетрясения. Зная же это расстояние и оценив балльность происходящего землетрясения по ощущению и разрушениям, можно оценить и примерную энергию в очаге землетрясения.

Естественно, еще точнее все эти вычисления получаются при анализе сейсмограмм, где первые вступления продольной и поперечной волн обычно неплохо выделяет даже не очень подготовленный специалист. Но отношение скоростей  $V_p/V_s$  постоянно и равно  $\sqrt{3}$  только в первом приближении. Оно меняется от породы к породе, с глубиной. Меняется оно и во времени, о чем и писал Голицын. Но оказывается, в самом этом явлении еще много спорного, и практически прогноз по  $V_p/V_s$  все как-то не наладится. Ко времени нашего приезда в Гарм в 1973 году и на симпозиуме прогнозистов летом 1974 года не всем было ясно даже, что стоит за прогностическим "седлом" изменения скоростей, что физически меняется? Очаг или среда? А если среда, то продольные или поперечные волны меняют свою скорость, сигнализируя об опасном сгущении тектонической энергии?

...В 1974 году инженер Вермишева построила кривую отношения скорости продольной волны к скорости поперечной по тысяче с лишним слабых землетрясений, происшедших в районе с мая 1973 года по ноябрь 1974 года. Тогда-то она и увидела, что могла бы предсказать землетрясение 13 сентября 1973 года не только во сне. Перед этим днем и еще перед отдаленным Алайским землетрясением 10 августа 1974 года кривая демонстрировала глубокие и резкие падения. К сожалению, кривая была построена не до, а после событий - наш прогноз все еще, увы! "крепко задним умом"... Не все сотрудники всерьез заинтересовались той кривой. Многие скептически пожимали плечами. Не верили расчетам? Нет, самому параметру!

Дело здесь в том, что у сейсмологов нет ясной точки начала отсчета. Чтобы определить отношения скоростей, надо построить особый график - график Вадати. Значение параметра на этом графике зависит от того, какой момент времени считать за время самого землетрясения. Но сам этот момент определяется... из того же графика Вадати. Получается, что сейсмолог как бы решает уравнение с двумя неизвестными, пользуясь всего одним уравнением.

Конечно, точность можно еще повышать, и в немалой степени, но неабсолютность, статистичность результата всегда останется. Когда мы под давлением коллег тщательно проверили свои результаты, все сошлось. Два землетрясения 12-го и 13-го класса в 1973 году на юге Гармского района и сильнейшее Алайское землетрясение за 200 километров от гармского полигона действительно могли бы быть предсказаны по отношениям скоростей волн от слабых тресков, непрерывно сигнализирующих нам о чем-то из недр Гармского района.

Что же все-таки стоит за явлением изменения  $V_p/V_s$ ? Кое-что мы знали об этом из литературы, но знали мы и о спорах до сих пор сопутствующих исследованию этого эффекта на практике.

Во времена Голицына еще не было хорошо разработанной модели очага землетрясения. Голицын говорил - натяжение слоев... Это значит, недра Земли перед разрывом-толчком натягиваются как гитарная струна, готовая лопнуть. В такой струне действительно падает скорость бегущих звуковых волн.

Но ведь недра Земли разрушаются не от растягивающих усилий, а от сжимающих. Значит, все должно быть наоборот, скорость проходящих волн должна возрастать! Мы уже знаем, как объясняет этот парадокс теория дилатенции. Но приложение лабораторного эффекта дилатенции к сейсмологии - дела новое, непривычное. Некоторые сейсмологи все еще упорно уверяют, что ни скорости продольных и поперечных волн, ни соотношение этих скоростей в действительности перед землетрясением не меняются, это кажущееся явление, квазиэффект! Они считают, что отношение скоростей почти не зависит от среды, а только от самого очага слабого землетрясения.

Перед сильным толчком появляются среди слабых землетрясений очень похожие на будущий толчок по расположению! осей сжатия и растяжения (и это действительно так - об этом! читатель уже знает). К этим-то новым очагам и привязывали] "кажущиеся" пониженные прогностические отношения скоростей некоторые наши коллеги.

Почему кажущиеся? Да потому, объясняли специалисты, что при разной ориентации очага землетрясения сейсмические волны, испускаемые им, по-разному взаимодействуют со средой, поляризуются. И тогда мы видим (на сейсмограммах), как перед толчком яснее проявляется самое первое вступление поперечной сейсмической волны (на сейсмограмме эта вступление нужно выискивать на фоне уже всюю выписываемой продольной волны, и ошибки возможны). Уменьшается инструментально измеренное время между приходом продольной и поперечной волн, отсюда и квазиэффект прогностического "седла" - предвещающего сильный толчок прогностического понижения, отношения скоростей слабых землетрясений.

Самым драматичным (для нас) было то, что и мы поначалу очень поверили в оригинальную "гипотезу очага" и с этой верой начали нашу работу над отношением скоростей. И простой статистический подсчет поначалу дал как будто слабое подтверждение этой гипотезы, но, как потом оказалось, на уровне ошибки. (Ох уж этот уровень ошибки! Как трудно привыкнуть все время помнить о нем и как легко творить новые результаты, начисто о нем забыв!) Пришлось взяться за дело уже как следует. По странному совпадению, удача ждала нас именно с тем землетрясением, которое было "предсказано" дважды - в том "пророческом" сне, о котором шла речь выше, и "задним числом", на графике.

Повезло нам уже в том, что на спуске прогностического понижения параметра  $V_p/V_s$  произошло в хребте Петра Первого солидное землетрясение 11-го класса, после которого ударило из одной точки и с одной глубины около 80 повторных толчков - афтершоков. Даровой стабильный источник сейсмических сигналов, маяк, включившийся на целые сутки 28 августа 1973 года! Эти 80 толчков и обрисовали то самое таинственное "седло" понижения параметра, пристально изучаемого сейчас сейсмологами всего мира. Нам удалось подобрать две станции нашего сейсмического полигона, лежащие точно на одном луче от афтершокового маяка. Чтобы избавиться от эффекта неопределенности, связанного с неточностью определения времени и места землетрясений, мы брали "чистую разность" в приходе волн на эти две станции, лежащие на одной прямой. Естественно, все, что происходило со всеми разностными величинами в течение 80 вспышек сейсмического маяка, рассказывало о состоянии земных недр между этими двумя станциями.

На миллиметровку легли кривые. Первая - скорость продольной волны между двумя станциями для всех вспышек "маяка" одна за другой. Вторая - скорость поперечной волны. Сразу стало видно, что обе кривые спускаются и поднимаются одновременно с хорошей, как говорят, "корреляцией", но продольная волна изменялась намного энергичнее, чем поперечная. Вот почему отношение этих двух скоростей (третья кривая) менялось по тому же закону, что и первые две. И это означало, что процесс изменения для всех этих величин един в своей основе. Когда "рыхлее" становится земная кора между станциями (фаза дилатенсии), тогда медленнее бегут обе волны. Когда же ближе к толчку снова сжимаются недра, закрывая трещины и поры, быстрее бегут волны. Но продольная ускоряется еще быстрее, чем поперечная. Эффект реален, никакой не "квази"!

Самое удивительное и странное было то, что весьма заметное падение скоростей (скорость продольной волны упала, а затем снова выросла на 20 процентов!) произошло за сутки! За эти сутки прогностическая кривая достигла минимума и полезла вверх. Но, может быть, ничего удивительного? Нам уже приходилось наблюдать, что время сейсмического процесса нередко сильно отличается от нашей обычной временной шкалы. И часто целесообразным оказывается измерять время, оставшееся до прогнозируемого толчка, не количеством месяцев или дней, а числом сейсмических событий. Именно при таком подходе наклон кривых становится упорядоченным настолько, что его часто можно считать уже величиной постоянной, и тогда разнообразие в сроках, лежащих между прогностическим признаком и сильным толчком, сводится на нет. Прогноз сроков землетрясения при таком понимании времени станет более точным.

Как здесь было не вспомнить гегелевское: "Время не есть как бы ящик, в котором все помещено, как в потоке, увлекающем с собою в своем течении и поглощающем все попадающее в него... Процесс самих действительных вещей составляет... время". Впрочем, было об этом и у Лукреция Кара:

Также и времени нет самого по себе, но предметы сами ведут к ощущенью того, что в веках совершилось, что происходит теперь и что воспоследует позже. И неизбежно признать, что никем ощущаться не может Время само по себе вне движения тел и покоя.

## Землетрясения и электричество

*В момент самого сильного грозового разряда в 4 часа 12 минут произошли два подземных толчка.*

А. Гумбольдт

На Ташкентском симпозиуме "предсказателей" немало говорилось еще об этом предвестнике землетрясений. Вот бежит игла звукоснимателя по канавке пластинки. Неровности дна дорожки через иглу заставляют колебаться кристалл пьезоэлектрика, в котором возбуждаются электрические токи. Но ведь земная кора битком набита пьезоэлектриками, например кварцем. Колебания, сдавливание,

растягивание - все эти де формации помимо всего прочего возбуждают массу токов, блуждающих в недрах Земли. Перед землетрясением добавочная порция токов сразу же вызывает местные вариации геомагнитного поля в районе готовящегося толчка. Эти вариации перед землетрясениями отметили и наши (алма-атинские) геофизики, и американцы.

Многие ученые считают, что мы сильно недооцениваем роль электрических токов и статических электрических полей в общем балансе процессов земных недр. Устойчивые токи, даже слабые, могут участвовать в процессе образования месторождений полезных ископаемых, производя самый настоящий электролиз растворенных в подземных растворах солей. Не так ли возникли некоторые месторождения особо богатых руд? Заряженные пласты горных пород, разделенные диэлектриком, представляют собой самые настоящие природные конденсаторы, способные долгие годы хранить и накапливать электричество. Естественно представить себе, что между пластинами такого конденсатора время от времени бывают "пробои" - молнии в недрах Земли. Не эти ли молнии принимают участие в процессе землетрясения, добавляя свою энергию к общему, по-видимому, довольно сложному процессу?

Во всяком случае чудовищная величина электрических сил, сопутствующих сейсмическому процессу, - факт бесспорный, яркое электрическое сияние, предупреждающее порой по ночам о близящейся катастрофе и долгие годы почитаемое за легенду, теперь уже наконец многократно отмечено учеными и сфотографировано (даже на цветную пленку).

Вот что происходило в Ташкенте накануне памятного всем землетрясения 25 апреля 1966 года.

"В 5 часов 22 минуты утра, когда солнце еще пряталось где-то за горизонтом, из-под земли с шипением вырвался и взвился над крышами ташкентских домов гигантский огненный факел. Довольно четко очерченный по краям и размытый в верхней части, он округло расширился и напоминал по форме пламя колоссальной свечи. Оторвавшись от Земли, таинственное предзнаменование растворилось в полыхающем розоватом свете зарниц. Яркая вспышка подобно вражеской ракете осветила силуэты домов, которые через несколько мгновений подземным силам предстояло разрушить.

В эту же ночь наблюдалось и другое, не менее примечательное явление. За несколько часов до утренней катастрофы в некоторых домах, расположенных в эпицентре предстоящего землетрясения, люминофор ламп дневного света начал самопроизвольно светиться... Некоторые утверждали, что видели свечение внутренней поверхности стен квартиры, искрение близко расположенных, но не соприкасавшихся друг с другом электрических проводов..."

Эта длинная цитата - из книги ташкентского сейсмолога В. И. Уломова. Там же рассказывается и о странных неполадках, которые начались в 500-метровой скважине, набитой сейсмометрической аппаратурой, вскоре после главного толчка. Хорошо изолированный кабель, ведущий к проводам, был пробит зарядом величиной около 5-10 тысяч вольт. На поверхности земли с жил кабеля с шипением текли электрические заряды.

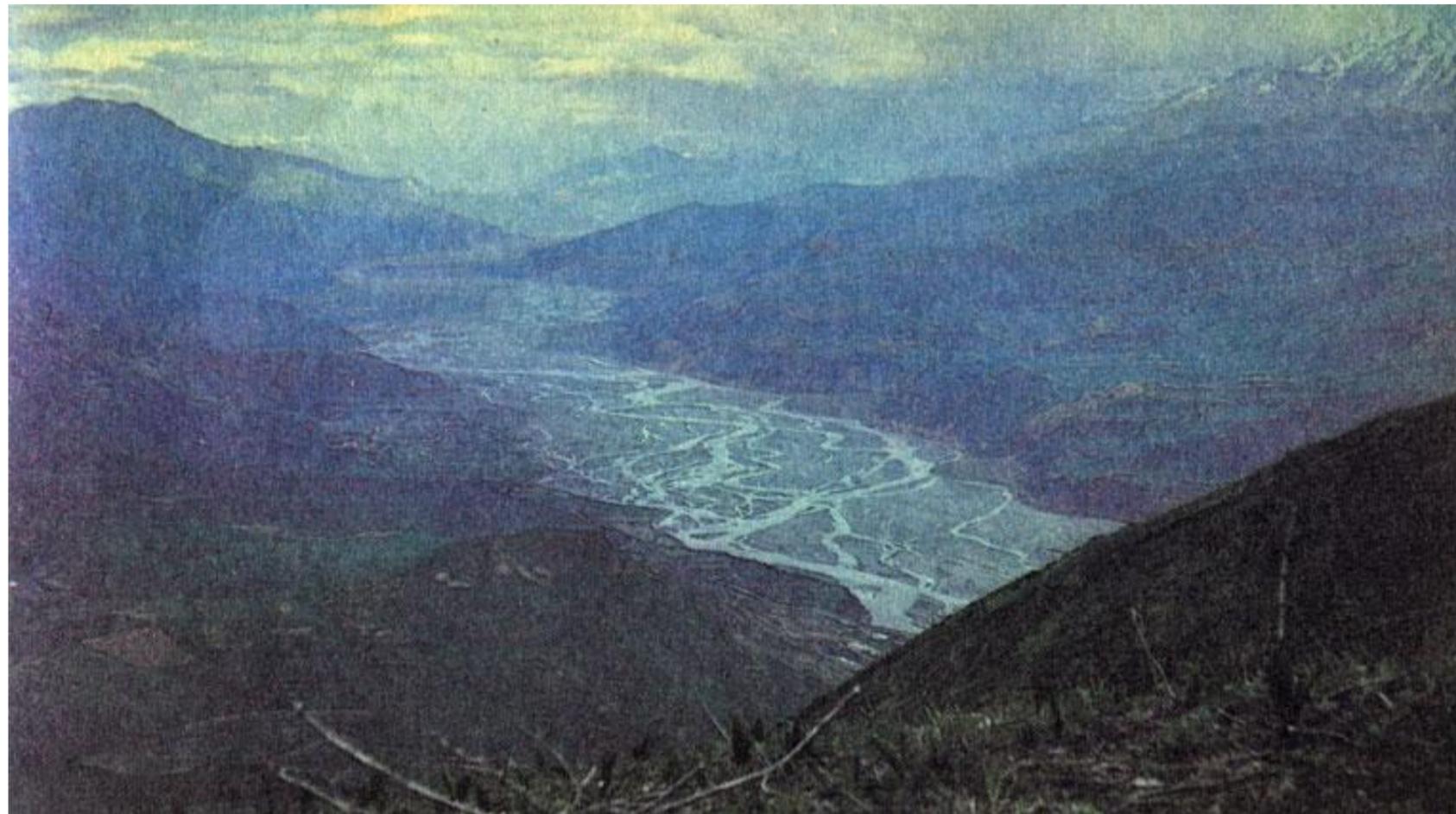
В Японии, где землетрясения особенно часты и где были сделаны все известные фотографии "предупреждающего" свечения, было установлено, что предупреждающие "вспышки" очень часто вовсе не вспышки, а довольно длительное сияние, зарождающееся, разгорающееся и гаснущее за 10-20-40 секунд. Одна серия фотографий, сделанных через каждые две секунды, образовала целый фильм. Японцы давно знают о прогностическом значении этого сияния и по мере сил "слушают" его. Сияние - это очень краткосрочный, за десятки секунд и минуты, но зато уже почти верный прогноз!

...Когда напрягаются недра перед толчком, порой на глазах у людей происходят географические изменения, обычно скрытые своей медлительностью. Например, река начинает необычно быстро подмывать один из берегов, сигнализируя тем самым об интенсивном поперечном наклоне своего ложа. Иногда берег на глазах вырастает чуть ли не на метры. Но видимые изменения - редкость. Приборы - наклонометры и деформографы - с большой точностью измеряют все невидимые глазу изменения в ходе обычных современных тектонических движений. И почти всегда необычные отклонения предвещают сейсмическую бурю. Деформации измеряют с помощью длинной кварцевой трубы, малейшее нажатие на которую возбуждает в ней пьезоэлектричество. В заброшенных шахтах устанавливают лазеры. Луч - игла лазера - на расстоянии до полутора километров при малейшем изменении наклона чертит уверенный, крупный зигзаг.

Конечно, недостаточно просто видеть необычный зигзаг и смутно чувствовать, что это неспроста. Плох ученый, который довольствуется внешними признаками явления, не докапываясь до его физической сути. Так он никогда не уйдет далеко даже с самыми блестящими приборами. Настоящего прогноза не будет.

Что такое землетрясение? Как оно связано с горообразованием? Какие силы главные, какие второстепенные? Двигаются ли материки, наконец? Обращаясь ко всем этим вопросам для решения своих собственных задач, сейсмолог волей-неволей втягивается в споры и проблемы века.

...На космическом снимке странно и остро любопытно видеть знакомые места. Два небольших снимка - стереопара - совмещаешь (при известном опыте можно и без стереоскопа), и вот перед тобой в серебристом пространстве повисает шнурок великой долины Сурхоба-Кызылсу. Неудержимо притягивается взгляд к сложному узлу у Хаита, где к великому Сурхобскому разлому косо подходит река Ясман, а ты уже знаешь, что это не просто река, а Комароу-Ясманская зона нарушений, самая опасная, обложенная многочисленными (нашими и американскими) станциями: сотрудничество в действии. А с севера еще прямое ущелье речки Туратол - голубые воды, и, может быть, здесь закладывается - на новую беду Хаиту - еще одна молодая меридиональная разрывная структура?



*Долина Сурхоба-Кызылсу тянется почти на широте далеко на восток. Там, вдали, Хаит - эпицентр катастрофического землетрясения 1949 года. Дальше -*

*Киргизия, Алайская долина. На всем ее протяжении вдоль южного (на снимке правого) берега тянется нитка великого разлома-надвига. Правая часть снимка - это по существу север Памира, древней Гондваны, левая - самый юг Тянь-Шаня, древней Евразии. Великий контакт. Недаром недра Гармского района - сейсмичнейшие в СССР.*

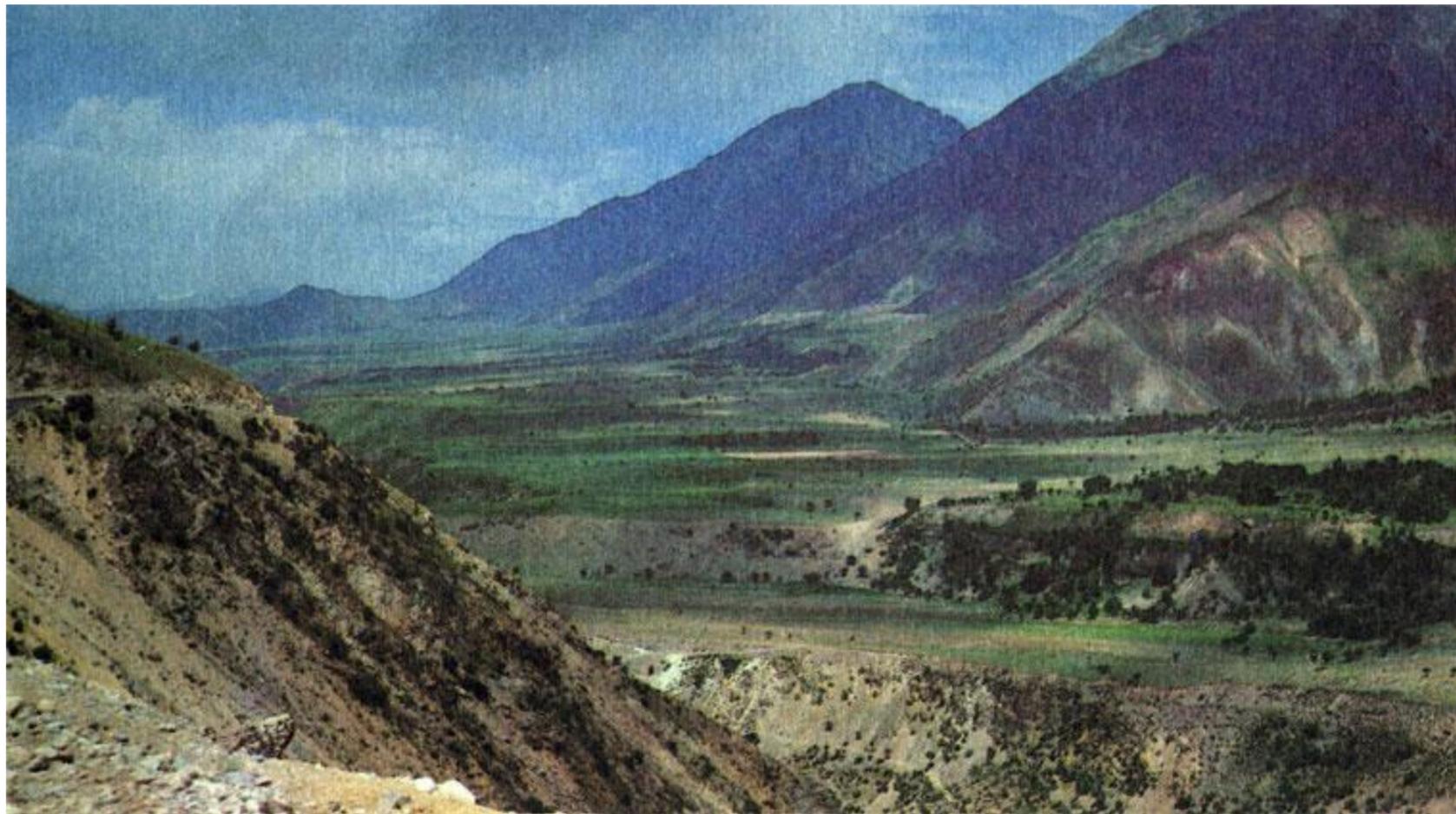
До рези в глазах вглядываешься в ту точку, где должно быть пятнышко обвала от Хаитской катастрофы. Не видно, а до чего же могуче выступает и страшно выглядит эта свежая рана на теле горы вблизи, когда самолет, делая виражи, совершает облет - круг почета. И странное чувство исследователя катастроф: хочется, чтоб их не было, и нужно, чтоб были...

Иначе - как изучать?

## Сейсмогеография

### Снова хребет петра

Каратегин. Так называлось бекство по долине Сурхоба - Вахша в старые времена. И сейчас местные жители называют себя каратегинцами. Среди горных таджиков много голубоглазых, русых - и, конечно, есть легенда, выводящая этих красивых людей от воинов великого Искандера - Александра Македонского. Но истина, как всегда, далека от этой романтической легенды, и мне, популяризатору естественных наук, она более симпатична, чем легенда. Голубоглазость и русоволосость - проявление рецессивных генов, то есть генов, с большой вероятностью подавляемых доминантными генами черноглазости и темноволосости. Генетики проследили, что голубоглазость и русоволосость, как это и бывает с рецессивными признаками, часто проявлялась в маленьких изолированных группах людей - у горцев, северных племен. Правда, раньше, по-видимому, действовал еще и естественный отбор: голубоглазые, светлые люди почему-то несколько лучше переносят холод северных и горных стран.



*Весенняя зелень буйствует на берегах Вахша. Сейчас в этих в момент съемки еще безлюдных, диких местах кипит еще одна великая стройка, возводится собрат Нурека-Рогунская ГЭС. Место для таких дорогостоящих сооружений выбирается исходя из многих соображений, в том числе с учетом геологического строения и сейсмической опасности.*

История Каратегина кровава и поучительна, но нас, живущих, кто временно, а кто долгие годы, на берегу мутного и стремительного Сурхоба, в Гармской обсерватории, больше интересует другая история Каратегина, история других масштабов, по сравнению с которыми человеческая жизнь - миг. История землетрясений, геологических движений. Ибо долина Каратегина не просто долина, а очень важная геологическая граница, что бросается в глаза всякому, даже негеологу, при взгляде на тектоническую карту Евразии. Здесь, на правом берегу, поднимаются хребты Тянь-Шаня, и это геологически еще Азия, и напротив, на южном берегу, я каждое утро вижу с крыльца моей веранды позолоченные солнцем белые вершины хребта Петра Первого, самого северного из хребтов? "Крыши мира" и самого северного "мыса" приплывшего от Южного полюса осколка Гондваны - Индийского субконтинента.



*Май в окрестностях Гармской обсерватории. Случайно встреченный шестой 'Б' из школы кишлака Шуль проводит пионерский сбор на воздухе.*

"В Петре" особенно много слабых и средних землетрясений (до 13-14-го класса). Одно из средних "предсказала" во сне Люся Вермишева. Сильных, типа Гармского 1941 года и Хаитского - 1949 года, пока не отмечалось. И не будет, так считают многие сейсмологи...

## О могуществе статистики

Один мой знакомый, проходя как-то вечером по Каменному мосту в Москве, машинально подсчитал число машин, едущих ему навстречу. Допустим, их было двадцать пять, пока он шел через мост. На другой день в это же время он снова шел через мост и опять подсчитал машины. Их было двадцать пять. Знакомый ходил тогда ежевечерне в Ленинскую библиотеку и мог повторять свой опыт много раз. И редко число машин отличалось от постоянной величины.

- Доходило до анекдота, - рассказывал он. - Я уже схожу с моста. Двадцать четыре есть, и вдруг какая-то заминка: нет машин, и все тут. Уж занес ногу, сейчас с тротуара сойду - и вот она, голубушка, торопится, как на пожар, в статистику уложиться, лихо выскочила на мост в последний момент.

Волшебство статистики? Человек шел через мост всегда в одно и то же время. Мост можно считать трубой, которая пропускает поток машин (как поток молекул жидкости), у машин есть средняя скорость, обусловленная правилами ГАИ и режимом светофоров. Сейчас, когда я пишу эти строки, канун Нового, 1975 года. Я могу "предсказать", что в этом году на Земле произойдет одно землетрясение опустошительное, с магнитудой 8 (сильнее 8,9 землетрясений, по-видимому, вообще не бывает), 15 - с магнитудой 7 и 120 - с магнитудой 6. И вряд ли сильно ошибусь - статистика!

Статистика всемогуща в мире больших "выборок" - множества случаев, событий. Молекулы воздуха, жидкости, хотя и мечутся хаотично по зигзагам броуновского движения, но в совокупности, мириадами, точно укладываются в законы газо- и гидродинамики, которые в этом смысле оказываются статистическими законами. Период полураспада радиоактивного элемента можно использовать как эталон времени, необычайно точный, но и это - статистический период. Отдельный атом всегда распадается "неожиданно".

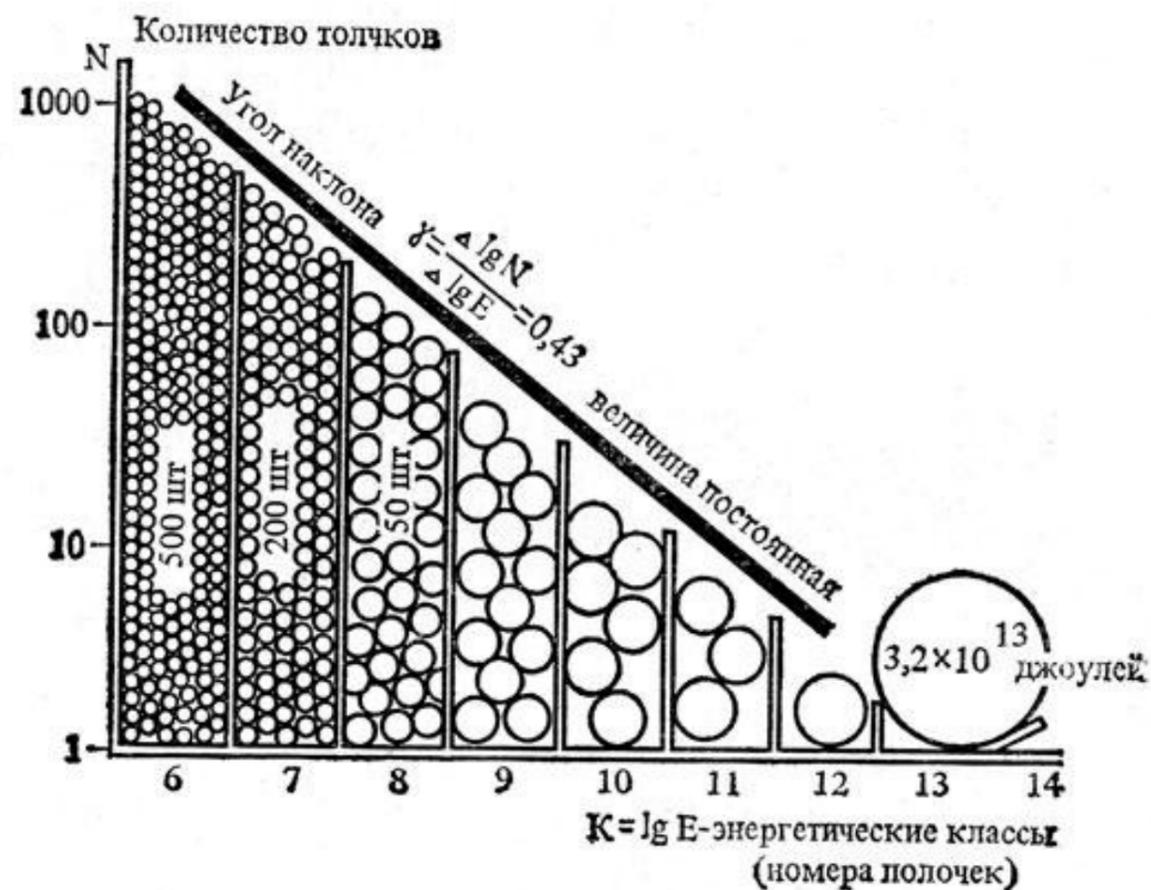
Статистика дает серьезную осечку, когда речь идет о редких событиях, и особенно - о редчайших. Один мой знакомый любит приводить такой пример. Допустим, у нас есть ящик, в котором, ну... несколько тысяч шаров. Среди них - три черных, остальные белые. Каждый день мы можем подойти к ящику и вынуть из него не больше трех шаров. Сколько их в ящике лежит на самом деле, мы не знаем.

И вот каждый день мы вынимаем три шара - каждый раз они белые, и мы умозаключаем, что в таком-то эксперименте при таких-то условиях опыта на выходе должен получаться определенный результат. И вдруг ваш лаборант, да еще в ваше отсутствие при помощи описанной вами методики, запускает в ящик руку и получает... три шара, из которых один черный! Сенсация?! Но вы человек осторожный, знающий о великом законе науки - законе воспроизводимости результата. И вы не можете допустить опубликования результатов опыта, в который могла закрасться ошибка. Еще и еще раз вы придирчиво спрашиваете лаборанта, при каких условиях получился у него такой странный результат. Оказалось, например, он превысил температуру в ходе эксперимента или еще что-то. Вы все переиначиваете, с нетерпением ожидая повторения нового результата. Но он прежний: три белых шара в день! Проходят годы, вы уже ушли из лаборатории, вы на пенсии, в случай с черным шаром не верит уже никто, даже лаборант, который его получил...

А ведь он был!

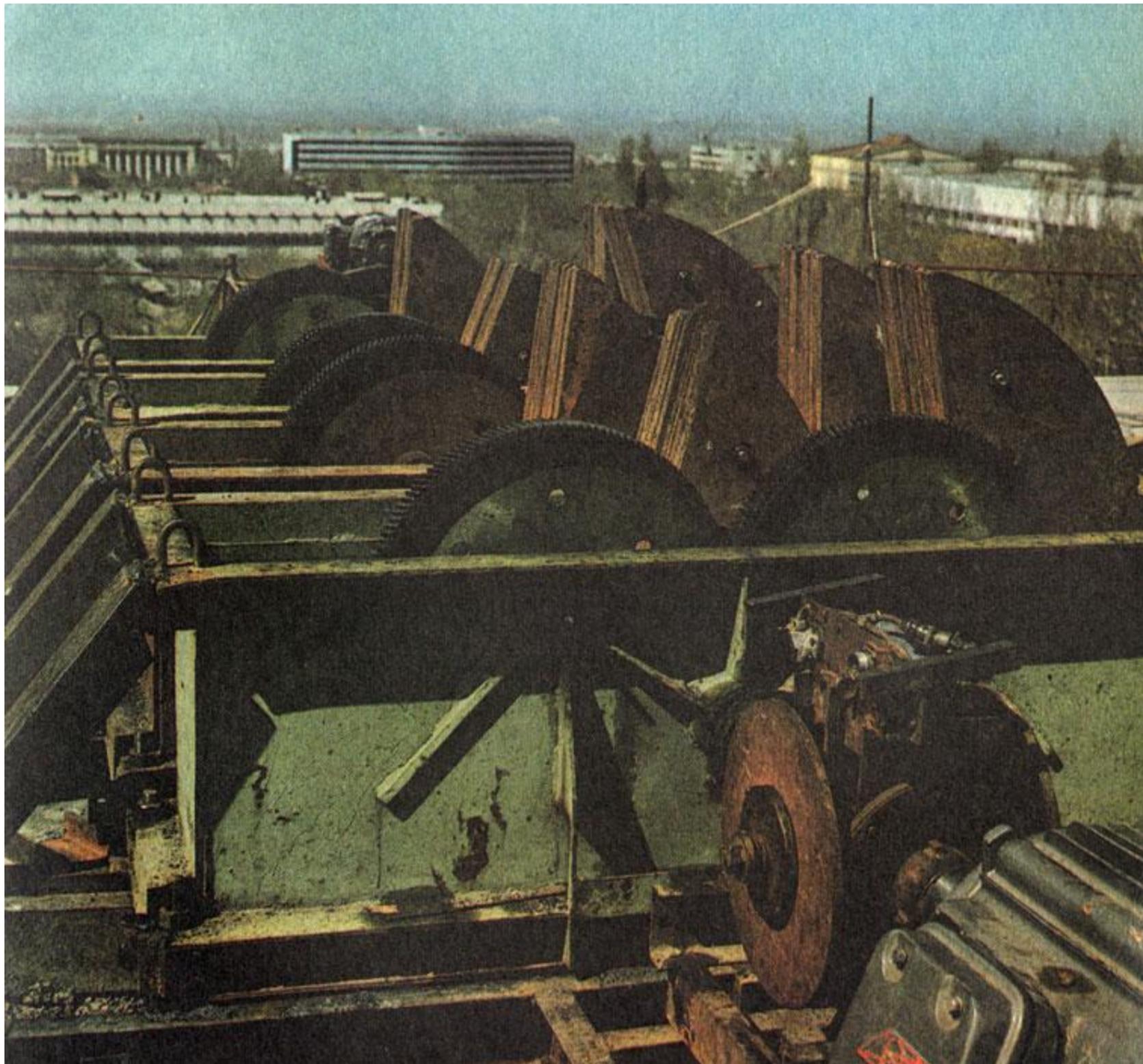
В положении человека с ящиком оказываются многие ученые, изучающие природу. Кто знает, сколько невоспроизводимых в масштабах человеческой жизни результатов списано на неточность опыта и наблюдений!

Сейсмолог имеет дело с таким ящиком постоянно. Этот ящик - недра планеты, а черные редкие (в масштабах нашей Жизни) шары - сильнейшие катастрофические землетрясения. Для каждого района-ящика существует проблема черного шара - вероятности самого сильного возможного здесь землетрясения. На помощь сейсмологу опять-таки приходит чисто статистический прием. Он строит "график повторяемости" - падения частоты сейсмических событий с ростом энергии землетрясений. Если он построит график в логарифмическом масштабе (есть специально размеченная миллиметровка), график окажется прямой линией, под определенным углом наклона к осям (рис. 6). Можно мысленно продолжить прямую в верхние, не охваченные статистикой интервалы энергии и попытаться таким образом судить, насколько возможны в районе сильные редкие толчки.



Класс  $K$  отложен по горизонтали, это показатель степени - логарифм в выражении  $10^{>k}$  джоулей энергии, выделенной очагом землетрясения. По закону повторяемости высыпали в Ташкенте афтершоки (повторные толчки) землетрясения 1966 года (крайний шар справа). Это позволило, зная заранее наклон графика повторяемости для данного района, предсказывать число еще не состоявшихся афтершоков той или иной силы

Казалось бы, просто способ описания. Но закону повторяемости подчиняются серии афтершоков - вторичных толчков, следующих за главным землетрясением. Когда в Ташкенте несколько дней спустя после толчка 1966 года произошел сильный афтершок, ученые, точно измерив его энергию и зная энергию главного толчка, получили как бы заданный угол графика повторяемости всей будущей серии афтершоков и в любой момент могли точно сказать, сколько опасных и ощутимых толчков предстоит еще пережить горожанам. Именно на этом простом статистическом законе был построен прогноз в те дни. Ученые выступали по телевидению, радио, в печати и ненавязчиво предупреждали о возможном толчке в ближайшее время. Эти прогнозы оправдались и породили у многих ташкентцев убеждение, что прогноз землетрясений - дело вообще уже решенное. Но это было не так.



*Здание в Алма-Ате испытывается на сейсмостойкость с помощью вибратора. Вибратор, источник когерентного, 'монохроматического' сейсмического излучения, может произвести в 'сейсмовидении' - методах просвечивания земных недр сейсмическими волнами - настоящую революцию, подобную той, которую произвело в оптике появление квантовых генераторов - лазеров. Объемные голографические цветные изображения спрятанных в глубине месторождений нефти, вулканических очагов, зон готовящейся сейсмической катастрофы... Все это похоже на сказку, но может стать реальностью с помощью вот таких пока неказистых и маломощных машин. Фото В. Брежя.*

Графики, отражая какие-то еще плохо познанные закономерности, имеют в разных районах разный наклон. В районе Алма-Аты довольно регулярны сильные землетрясения. А слабых не очень много. И график приобретает вид высокого треугольника с маленьким основанием там, где слабые землетрясения.

А вот в хребте Петра Первого все иначе. График-треугольник имеет необычайно широкое основание - слабейшие землетрясения происходят десятками в день, но вверх треугольник под тупым углом быстро сходит на нет. Сильные землетрясения здесь редки, видимо, намного реже, чем в Алма-Ате. Но насколько реже? Некоторые ученые приводят дополнительные соображения. Они говорят, что "Петр" необычайно разбит трещинами-разломами на мелкие кусочки. Он уже не может основательно "кракнуть"...

## Палеосейсмо...

И вот мы лезем вчетвером по узкой щели в скалах, вдоль быстрой речушки. Валерий Кучай, душанбинский геолог, коллега, богатырь, душа человек, размашисто шагает, словно по ровному полю. Впрочем, горы для него и есть "поле" вот уже много лет. Он, не переводя дыхания, объясняет и показывает, показывает и объясняет. Худенький, в ярчайшей красной куртке Роберт Вессон, американец (у нас в Гарме - по научному обмену, очень дотошный, трудолюбивый парень) буквально бежит за ним вприпрыжку, не уставая задавать вопросы. Я уже не в первый раз лезу этим маршрутом и мог бы, как мне кажется, не отстать от них, но предпочитаю отстать, составляя компанию Ольге Соболевой, душанбинскому сейсмологу, специалисту в области механизмов землетрясений (и моей теперешней области).

Время от времени Валерий с Робертом останавливаются. Кучай пытается раскрыть нам глаза - в окружающем пейзаже он видит что-то такое, чего мы не видим.

Мы поднимаемся еще немного. И уже стоим в плоском углублении. Ручей здесь уходит в сторону под прямым углом, и вообще здесь и мы, негеологи, видим в пейзаже что-то странное. Кучай торопится объяснить, показать: весь склон крутой горы как бы перерублен поперек, и нижняя его часть, как ступенька, отодвинута довольно далеко от верхней. Не только отодвинута, но и взброшена вверх - от этого здесь образовалась необычная долина: долина поперек склона!

Если проследить взглядом простираение этой необычной долины, то можно увидеть вещи, которые не лезут ни в какие ворота для знатока физической географии. Прямо на продолжении щели - гора с верхушкой необычной формы. Гора будто раскололась пополам, и ее вершина провалилась, как клин в разошедшийся торец полена! Вот это удар! Читатель помнит, вероятно, такой была вершина горы, нависшей над Хаитом, до 10 июля 1949 года. Еще один древний "хаит"! Примерно 5 тысяч лет назад, по подсчетам Кучая, случилось здесь сильнейшее землетрясение. Если пройти еще немного по дну щели, по ровным травянистым площадкам (это явно бывшие заиленные днища давно высохших и вытекших озер), можно увидеть, что движение здесь шло не только в сторону от склона и не только

вверх, но и вбок. Все прерванные уступом саи (овраги и долинки) как ни в чем не бывало начинаются снова со сдвигом на десятки метров в сторону. И сквозь весь уют тихой долины (оазис горизонтальных плоскостей среди сплошного нагромождения крутых склонов) проступают черты давнего и жестокого насилия, совершенного здесь над обычным эрозионным, как говорят географы, рельефом.

Это он, златоволосый  
Зодчий острова Делоса.

*( Так писал про выдуманного им бога Сейсмуса, "ответственного" за горообразование и землетрясения, великий натуралист и поэт Гёте. )*

Если Кучай прав в своих подозрениях и эта грандиозная трещина возникла не постепенно, а разом, одним ударом, то удар этот был чудовищно сильным - 11-12 баллов, магнитуда - за 8. Это во много раз сильнее Хаитского землетрясения. Вот тебе и мирный Петр, который трещит да трещит изо дня в день так буднично, что уже и не верится, что он на такое способен.

И вот мы стоим молча, и тихо в горах, слышно, как ветерок сухой травинкой шевелит. И внизу в мареве, которое так мешает здесь фотографировать, великая долина. А в голове шевелится мысль: "Вдруг вот сейчас как... трахнет!"

Но сейсмологам не везет с грандиозными землетрясениями. Они происходят обычно в их отсутствие.

Итак, великое землетрясение в Петре было, и сравнительно недавно. Но может быть, это редкий, какой-то уникальный случай?

...Мы летим на "этажерке" - АН-2. Геологам пришлось выкинуть из самолета часть экспедиционных вещей, и только тогда летчики разрешили взять еще одного, сверхпланового человека - меня. Летим над долиной Каратегина, пролетаем Хаит. Отсюда на восток живет все больше киргизов. Потом пролетаем границу Киргизской ССР. И оказываемся над неожиданным в этом мире вертикалей и крутизны простором: Алайская долина!

Парит легко и высоко на юге величайшая вершина СССР - пик Коммунизма. На пике Пограничников почти свежие срывы снега - массовое сползание лавин после солидного августовского Алайского землетрясения. Магнитуда 7,2! Но срывы - это все, что нам удастся разглядеть из последствий недавнего землетрясения. Зато на всем пути вдоль внешней зоны Памиро-Куньлуня, куда Петр входит лишь как один небольшой фрагмент, Кучай показывал мне с воздуха десятки проваленных вершин, сейсмических рвов на склонах. Десятки, может быть, сотни Хаитов! Весь Памирский борт великой долины буквально избит колоссальнейшими землетрясениями. И вся эта "сейсмогеография" сформировалась за геологически ничтожный срок. По-видимому, основная масса этих палеосейсмо-дислокаций (так называют геологи следы древних землетрясений) накопилась после последнего большого оледенения, то есть за 10-15 тысяч лет. Получается, что один раз в 500-1000 лет катастрофические - типа Хаитского и сильнее Алайского - землетрясения вполне возможны.

Это, конечно, большой срок - 500 лет. Но где гарантия, что этот срок не вышел для хребта Петра Первого? Исторических сведений такой давности по этим местам у науки нет. Да и коротка память человеческая на неприятные воспоминания. Так геологи и сейсмологи оказываются в позиции того самого человека с черным ящиком. Правда, наше положение лучше: нам известно, что в ящике есть черные шары, но мы по-прежнему не знаем, когда этот черный шар выкатится на белый свет...

Я смотрю на Соленый хребет. Снежные стены, острые скалы неприступны и грозны. Говорят, древние пешеходные тропы, пересекавшие хребет Петра Первого в нескольких местах, сейчас обвалились, и обновить их некому. Я знаю, что преодолеть хребет можно за двадцать минут на вертолете, можно за полдня объехать на машине вокруг, по Хорогской дороге... И все же ощущение грозной неприступности, непреодолимости хребта остается. Возникает упрямое желание - пройти, преодолеть. Вот только перевал найти...

Проблема прогноза висится перед нами, как этот хребет. Можно обойти - строить прочнее, не селиться там, где опасно. Но хочется пройти, нащупав слабые места, перевалы в Долину Несовершившегося. Перевалы Судьбы...

## Когда спящий пробуждается

*Со времен детства в нашем сознании складываются представления об определенных контрастах: вода кажется нам подвижной стихией, земля - неизменной косной массой... Когда мы ощущаем толчок, когда земля начинает шататься на своем древнем фундаменте, который мы считали таким прочным, одного мгновения бывает достаточно, чтобы разрушить длительные иллюзии. Это напоминает пробуждение от сна, но пробуждение мучительное.*

### А. Гумбольдт

На огромных пространствах Евразии (без Западной Европы и Камчатско-Курильской окраины) сейчас находится в числе действующих только один вулкан Демавенд на севере Ирана. А ведь совсем недавно это было еще не так. Арарат извергался на памяти человеческой. Об огненных пиршествах восточносибирских вулканов сохранились предания местного населения - и геологические исследования подтверждают: лава изливалась, перекрывала очень молодые отложения, современные по своему характеру. Китайские летописи упоминают о действующих вулканах на севере страны. Типичный современный вулкан, только почему-то примолкший, - Эльбрус.

А что такое одна-две тысячи лет на геологической шкале? Неуловимый миг, краткая передышка... Множество признаков говорит о том, что и выделение сейсмической энергии подвержено длинным пульсациям, периодичности. Но уловить такие пульсации можно только двумя способами - из людских летописей и преданий и изучая палеосейсмодислокации.

Корейские средневековые хроники сообщают об опустошительных землетрясениях, много раз разорявших долины Страны утренней свежести. Последние 200 лет полуостров практически не сейсмичен.

Когда газеты сообщают, что введена в строй высотная плотина, скажем, Нурекской ГЭС, что возникло новое море в горах и получены киловатт-часы электроэнергии, то есть в этом и доля труда моих коллег-сейсмологов. Именно они изучили сейсмограммы окрестных землетрясений за максимально возможный срок, собрали отрывочные свидетельства местных преданий, рассказы путешественников и древние рукописи, провели сложные расчеты и дали "добро" на строительство дорогостоящего сооружения. Их заключения о сейсмической опасности для планируемых ГЭС - это самые настоящие и вполне достоверные прогнозы. Достоверные - для тех или иных временных масштабов, для обозримого срока сейсмического режима. Без учета длиннопериодных пульсаций.

Недавно несколько сейсмологов обследовали палеосейсмодислокации Большого Кавказа, где строятся ГЭС и плотины и где современный уровень сейсмичности как будто гарантирует от сверхсильных катаклизмов, таких, каких не выдержит никакой бетон. Выступление этих специалистов в печати носит явно предостерегающий характер. Кавказ "дремлет, будто спит", и это относится не только к его вулканам, но и к сейсмичности.

16 июля 1963 года сильное землетрясение потрясло Большой Кавказский хребет, по счастью, в очень пустынном месте. Исследователи, которые прошли по эпицентральной зоне почти сразу после события, дали ему "высокую оценку": 9 баллов!

В то же время инженерные оценки сейсмичности для Кавказа позволяют другую максимальную силу подземных толчков - 8 баллов. Кто же прав?

Вот он, черный шар сейсмологов! Из-за того, что раньше 9-балльных землетрясений как будто не было, некоторые специалисты решили не видеть опасной мощи Чхалтинского землетрясения 1963 года. А первую оценку счесть ошибочной, списать на особые геологические условия, мощные обвалы, преобразившие склоны на площади 80 квадратных километров.

На поиски палеосейсмодислокации вышла группа сейсмологов из Иркутского института земной коры во главе с членом-корреспондентом Академии наук СССР В. П. Солоненко. В непролазных колючих зарослях, а также в дебрях пылящихся в архивах старых геологических отчетов искали они то, что и на открытом месте не разглядит глаз неспециалиста: трещины, рвы, уступы, вызванные именно землетрясениями (не оползнями, не ледниками! - а попробуй, отличи).

И вот на карте проявляются эти шрамы, порой пугающе близко к известным курортам, городам, порой далеко от них. Разрывы от озера Рица до озера Амткел... Мощный разлом на водоразделе Ингури и Хумпрери. Почти в 4 километра длиной, этот разлом - типичная трещина, вызванная мощным землетрясением. До сих пор она не заросла. Раздробленные скалы продолжают и теперь сыпаться в "засасывающие" воронки, в невидимую глазу бездну сейсмической трещины.

Эта и другие такие структуры показали, что несколько сот лет назад здесь шла целая серия мощных толчков, почти равных по энергии Хаитскому землетрясению. Магнитуда - 7,5. Интенсивность - 10 баллов.

Наибольший всплеск сейсмической (и вулканической) активности для всего Средиземноморья (включая Черное море и Кавказ) сейсмологи связывают по времени с эпохой заката античности (I век до нашей эры - V век нашей эры). Случайно ли такое совпадение, неясно. В 63 году до нашей эры чудовищные сотрясения не только разрушили города Боспорского государства (Пантикапей - Керчь, Георгипию - Анапу, Фанагорию - Тамань), но и изуродовали поля, подорвав древнее земледелие. Археологи при раскопках по берегам Черного моря часто встречаются с необъяснимыми разрушениями в раскапываемых зданиях, склепах - разрушениями, вызванными явно не человеческими руками.

Как полагают сейсмологи, некоторые исторические данные указывают и на еще более разрушительные землетрясения на берегах Черного моря, под стать чудовищным южноамериканским катастрофам. Как установлено теперь, огромные куски Черноморского побережья опустились в море за последние 2000 лет. На дне моря - остатки древнегреческого города Диоскурии (у побережья Сухуми), явно опущен в воду берег между Лазаревским и Геленджиком. Но ведь именно такие обширные опускания характерны для недавних катастроф в Чили, для знаменитого затопления водами Карибского моря "города грешников" Порт-Ройяла, что на Ямайке служил пристанищем пиратов.

Итог работы иркутских сейсмогеологов на Кавказе - огромной протяженности изолиния, очерчивающая площадь, где возможны землетрясения силой 9-10 баллов. Специалисты убеждены, что на Кавказе нужно искать не места максимальной силы землетрясений - таких мест слишком много, а, наоборот, оазисы, где в силу особых природных условий не может быть землетрясений сильнее 8 баллов.

...Сейсмоинженерные отчеты, давшие такой удобный, но, видимо, неверный "потолок" для силы кавказских землетрясений- 8 баллов, часто опирались, как на доказательство, на сохранность древних храмов и зданий в долинах Кавказа. Но более внимательное исследование этого вопроса установило: строители Грузии с VII века нашей эры при сооружении самых ценных (и сохранившихся) храмов применяли самые настоящие антисейсмические пояса! Кирпичная кладка стягивалась железным каркасом! Ну, а если любимое народом здание все же разрушалось, его обязательно восстанавливали в прежнем виде. В разгар спора с "оптимистами" Солоненко и его группа летели над верховьями Ингури, перебитыми древними разрывами так, что живого места не оставалось. И вдруг посреди хаоса глыб и нагромождений увидели в глубоком ущелье р. Ингури на высоком скальном пике много веков простоявшую и прекрасно сохранившуюся замшелую церковь. Но когда они спустились на землю, все стало на свое место. На поясе арки церкви сохранилась надпись на древнегрузинском языке (XVI в.): *"Церковь сию святых Ивлиты и Квирика, которая подверглась разрушению сильным землетрясением, восстановил я, Георгий, сын Антония, чтобы не предалось забвению мое имя. Вспоминайте нас, и бог вас помилует"*.

## Психология научной революции

### Куда оно движется?

*...Возникает вопрос: куда лучше приткнуться  
Мадагаскар - к Танзании или Мозамбику?  
По-настоящему Мадагаскар совмещается лишь  
с Каспийским морем, из которого он, наверное,  
прыгнул, как лягушка, на свое современное место.  
Представляете, что будет, если он вздумает  
переместиться обратно в Азию?*

Из доклада Р. Дитца "Континентальный дрейф: новая религия или потрясающий розыгрыш?" на Флоридском симпозиуме в изложении А. А. СУХАНОВА

Механизмы землетрясений - это не только новая возможность сейсмического прогноза. Механизмы - это стрелки, дорожные указатели движущихся блоков земной коры: куда что движется, давит. Значит, можно быстро и без особых помех решить наконец проклятые вопросы - как оно все на деле движется при горообразовании, формировании континентов и океанов. Вертикально ли, как недавно еще думало подавляющее большинство геологов и геофизиков мира и как сейчас еще многие думают? Или горизонтально, с движением континентов, с огромными полями океанической земной коры, ныряющей в недра планеты по краям океанов и исчезающей там навсегда? Неужели не это заинтересовало нас в первую очередь, как только мы получили доступ к такому мощному орудию исследования, как механизмы землетрясений?

Ну, во-первых, действительно, главным и для нашей экспедиции, и для нас был и остается сейсмический прогноз. А во-вторых, в науках о Земле все раз и навсегда бесспорно решается редко, хотя лично я и убежден, что механизмы землетрясений дали самое блестящее подтверждение концепций новой глобальной тектоники, двигающей вполне свободно как континентами, так и океанами. И наконец, в-третьих, достижение хорошего сейсмического прогноза и знание движущих сил современного тектонического процесса - две вещи неразрывные. Так же как нельзя предсказывать погоду или ледовую обстановку, не зная господствующей системы ветров в атмосфере и течений в океане. Но здесь все не просто...

Чтобы читателю было ясно, что все не просто, скажу сразу: тот же каталог механизмов Гармских землетрясений, что положили перед нами летом 1973 года, за два года до этого послужил для некоторых весьма уважаемых специалистов основанием для классических фиксисто-вертикалистских реконструкций геологических движений в районе Памиро-Тянь-Шаня. А те же механизмы, что использовались американцами при построении сенсационных реконструкций взаимного движения, наплывания, погружения плит в океанах, одному виднейшему советскому геофизику помогли... отвергнуть все эти построения.

И потому повременим с мобилизмом и фиксизмом, поговорим о психологической подоплеке нашего отношения к тому, что мы называем новаторством и консерватизмом в науке.

## Азарт новаторства

Автор не может не признаться, что своими давними мобилистскими симпатиями, нашедшими если не яркое, то достаточно упрямое выражение в 1967-1973 годах на страницах журнала "Знание - сила", он заложил заметную трещину в своих родственных отношениях, ибо происходит он из геологической и добропорядочной фиксистой семьи. Весь круг знакомых и друзей, многие из которых ездили со мной малолетним в военные и послевоенные годы по экспедициям (обычная судьба "геологических детей"), - это сплошная "фиксистская среда", ничуть не поколебленная последними событиями в науках о Земле.

Наши споры носили всякий характер, порой весьма резкий. Иногда мне казалось, что мои оппоненты хитрят не только со мной, но и с собой. Не раз я ловил их на нежелании слушать доводы противника. Будто держатся они за что-то в себе, глубоко спрятанное, как за главную нить жизни, и все действительно грозящее оторвать их от этой нити они вынуждены обходить, отбрасывать без обсуждения.

Новаторство и консерватизм... На всех уровнях научного исследования, от конкретного прогноза рудного месторождения или отдельного события в геологических процессах до планетарных теорий и гипотез, противостояние "передовых" (а по отзывам оппонентов, "беспочвенных" и даже "бреховых") и "консервативных" (по мнению "передовиков", "догматических" и "отсталых") идей всегда было, есть и будет. Это противостояние необходимо. Только в борьбе с умным оппонентом новое может очиститься от шелухи субъективизма и излишнего азарта, а старое найдет себе место в новой системе взглядов, отбросив действительно устаревшее. Это бесспорно, но до чего много копий ломается и бесценных творческих сил тратится порой на полемику, где стороны как бы не слышат друг друга и ни в какую не хотят стыковать точки зрения.

Науковеды говорят, что всякий научный процесс они берутся представить в виде кривой на графике, где по вертикали отложена результативность, а по горизонтали - вложенные средства, силы, время. Кривая всегда будет иметь вид гиперболы с резким подъемом в начале, когда разработка свежей идеи дает поразительно много результатов при малых затратах, с умеренным подъемом на втором этапе исследования, когда в дело вовлечены уже массы исследователей и учреждений. Третий этап - вырождение темы, бесконечные капиталовложения при ничтожном результате (близгоризонтальная часть

кривой). Тут-то и, нужна новая идея, революция, позволяющая снова вывести кривую на первый этап крутого подъема при умеренных затратах. Конечно же, это должна быть настоящая идея, а не смешная пародия на нее.

## Семь раз проверь...

Занялось теплое голубое гармское сентябрьское утро, и в кабинете проснулось красное, с выгоревшими бровями, под смешной вязаной шапочкой с помпончиком, лицо. А затем и могучий торс на длинных журавлиных ногах.

Валерий Кучай звал на облет Алайской долины, где недавно случилось (к счастью, в безлюдных местах) сильнейшее ( $M = 7,2$ ) землетрясение. Об этом полете, о землетрясении и обо всех волнениях, связанных с ним, я уже рассказывал. Здесь же важно то, что, когда через 15 минут мы вынеслись на грузовике прямо на летное поле, первым, кого я увидел" был Павел Васильевич Флоренский, преподаватель Нефтяного института, давний знакомый, который был одним из участников знаменитого научного розыгрыша...

Дело было лет восемь назад. Мобилизм еще был "сомнительной гипотезой", но уже мелькали в редакциях и научных семинарах люди, поднявшие знамя этого учения не столько во имя истины, сколько для того, чтобы заранее прочно привязать свои имена (иной раз без всякого на то основания) к перспективному направлению.

Одним из них был некто N, который во что бы то ни стало решил стать родоначальником теории расширения Земли (неплохо разработанной задолго до него рядом наших и зарубежных ученых). Впрочем, может быть, я отчасти и несправедлив к N, какая-то польза от его деятельности и была, но она, эта польза, тонула в его анекдотической нескритичности ко всему, что могло быть на пользу его точке зрения.

На одном семинаре к нему как бы невзначай подошел человек, задал пару вопросов, терпеливо выслушал многословные изъяснения и, уже отходя, как бы между прочим, бросил:

- Да, кстати, читали сегодня в "Комсомолке" заметку? Явно на вашу мельницу воду льет. В Австралии нашли стрекозу, как бы разорванную напополам. Она была там чем-то интересна и фигурировала в иллюстрациях к известным палеонтологическим работам. Один палеонтолог на юго-востоке Индии, представьте, тоже нашел половинку стрекозы. Совершенно случайно сопоставил, оказалось - две половинки одной. Представляете: континенты разошлись точно по этой несчастной стрекозе, захороненной уже, конечно, к этому времени в осадках.

N очень обрадовался. Он любил такие простые, доходчивые и неопровержимые доказательства. Не исключено, что он все же хотел найти где-нибудь номер "Комсомолки". Но акция была подготовлена мастерски. Еще двое людей, независимо друг от друга, как о совершенно общеизвестном и само собой разумеющемся, упомянули о "феномене стрекозы", и N не стал проверять. Как раз ему дали слово, он вышел на трибуну и с видом мудрого всезнающего змия, со сдержанной насмешкой над ретроgrадами выпалил величайшую новость. Услышав странный шум, он протер очки. На стульях никого не было - все давились от хохота под ними.

Предупредив этой новеллой о том, что мы отлично отдавали себе отчет и в опасностях, поджидающих энтузиастов нового, и в негативных сторонах всякого ниспровержения и новаторства, я приступлю к рассказу о том, как мы проверяли (для себя) правоту и неправоту двух школ, противостоящих друг Другу в столкновении тектоники Памира. Да и не только Памира.

## Получаем результаты

Если вы подойдете к коллеге, имеющему в науке достижения, и в разговоре случайно назовете его ученым, он смутится. У меня даже были случаи - герои просили выбросить это слово из репортажей. Я много думал, чего больше в этом странном явлении - скромности, какого-то суеверия или это срабатывает тезис об эпохе коллективности в научном трудовом процессе.

Действительно, во всякой хорошей работе, идее - душа коллектива, сонма коллег, иной раз раскинутых далеко в пространстве и во времени. С другой стороны, тезисом коллективности порой пытаются прикрыть отсутствие собственной инициативы, а порой и безыдейность, текучку, мертвящую любую научную работу. Еще одно такое слово, которое старательно обходят многие ученые, - творчество. А может быть, надо бы почаще вспоминать эти значительные слова - ученый, творчество. Они вдохновляют, зовут вперед...

Тем не менее, став одним из сейсмологов, я мгновенно усвоил "рыбий лексикон" научного работника и на работе высоких слов не произношу. Не творим, а получаем результаты...

## Феникс из пепла

Полигон - слово когда-то чисто военное. Оно означало место, где испытывается новое оружие. Гармский геофизический полигон - это место, где проходят проверку новые идеи, приборы. Главным новшеством в мире геолого-геофизических идей последнего времени можно смело назвать новейшую глобальную тектонику плит.

Даже среди специалистов еще не все разобрались, что это за зверь - "плейттектоникс" - и чем он отличается от старого, вегенеровского мобилизма, от коего, несомненно, произошел. Альфред Вегенер пришел к геологии из вечно бурлящего, движущегося мира родной своей науки гидрометеорологии. Ему не нужно было рвать мучительно с геологической традицией, которая допускала многие чудесные явления и движения в каменной массе планеты - кроме больших горизонтальных перемещений. Даже беглое ознакомление с перечнем неразгаданных загадок в истории Земли (например, оледенение в экваториальных странах в конце каменноугольного периода) наталкивало его на мысли об ограниченности геологических постулатов, действовавших тогда. Он предположил, что материки могли дрейфовать в ходе геологической истории по воле законов, сходных с законами глобальной циркуляции атмосферных масс и океанических течений. Главным козырем Вегенера было удивительное сходство очертаний противоположных берегов Атлантического океана и Красного моря: разошедшиеся берега древних трещин! Физической основой представлений Вегенера была старая теория об огненно-жидком тяжелом подкоровом субстрате Земли, который мог переносить на себе легкие гранитные льдины-континенты по законам гидродинамики. Движущаяся география...

Нынешний мобилизм - пример диалектического развития идеи через "отрицание отрицания". Огненно-жидкого субстрата не оказалось под корой. Это был сильнейший аргумент в руках антимиблистов, позволивший им на десятилетия сдать учение о дрейфе в музей истории науки. Зато под корой и верхней частью мантии (в совокупности именуемыми нынче литосферой) на глубинах 90-120 километров обнаружили находящийся в "странном" состоянии слой, достаточно твердый, чтобы проводить сейсмические волны как твердое тело и в то же время пластичный (от огромного давления и частичного, на несколько процентов, проплавления). Пластичный настолько, что, по вычислениям, в этом слое - астеносфере - возможны медленные плавные течения со скоростями до нескольких метров в год, равно как и более медленные горизонтальные перемещения плавающих на астеносфере литосферных плит-льдин.

Сильным доводом против теории Вегенера был тот геологический факт, что контакт континентов и океана в большинстве случаев обходился без больших напряжений, разрывов, землетрясений (а это было бы, если бы континенты плыли, как ледорезы, в "ледовом поле" океанической коры).

В новом мобилизме движутся не континенты, а литосферные плиты, неважно, есть на них нашлапки-континенты или их нет. И наконец, главная заслуга нового мобилизма: он превратил случайное блуждание континентов в стройную глобальную систему взаимосвязанных процессов. В мировой системе рифтов подходящее снизу горячее расплавленное (только под рифтами!) вещество мантии, застывая, раздвигает берега. Этот процесс "задает тон" мировому движению; раздвижение океанического дна, "спрединг", - это отправная точка, а точнее, линии действующих на поверхности планеты тектонических сил.

Но все океаны не могут расширяться одновременно за счет появления на свет новой коры. Где-то излишки непрерывно стремящейся к увеличению земной поверхности должны поглощаться. И мировой системе рифтов диалектически противостоит мировая система зон "субдукции", пододвигания морского дна вдоль островных дуг и береговых горных систем типа Кордильер. Главным признаком, безошибочно отмечающим зоны поворота в недра земного механизма лент-транспортеров, движущихся от срединных океанических хребтов, можно считать глубоководные желоба, мрачные щели планеты. Завернувшие вниз ленты литосферы до глубин 700 километров сохраняют обособленность, движутся в пластичных до этой глубины недрах, усваиваются мантией, отмечая свой последний путь глубочайшими землетрясениями.

Гармский район - очень подходящее место для геодинамического полигона. Обилие землетрясений подсказывает, что здесь происходит нечто очень важное. Гармский район невелик - всего полтора квадратных градуса, точка на карте мира, но многое в геологическом строении района подсказывает: не простая точка, а кардинальная. И, хорошо разобравшись в процессах, идущих здесь сейчас, мы сможем понять и то, что происходит не только здесь и не только сейчас. 30 миллионов лет назад, по теории мобилизма, здесь к южной оконечности Азии подошла, следуя на ленте-транспортере ныне не существующего океана Тетис, континентальная глыба Индии. Она закрыла океан и принялась громоздить как торосы на кромке столкнувшихся льдин величайшие горы - Гималаи, Каракорум, Памир, Гиндукуш, Куньлунь, Тянь-Шань. Гармская обсерватория расположена на самом стыке этого столкновения...

## Мобилизм в гармском районе

Как все модные учения, мобилизм нередко утрируется не в меру горячими поклонниками так, что начинает походить на автошарж. Некоторым специалистам начинает казаться, что теперь "все дозволено", и они не прочь подвигать теми или иными территориями или пластом по пласту даже в рамках небольших цельных по своей истории районов. Такая "раскованность", такое новаторство таят в себе ловушку. "Все дозволено" - это то же самое, что "законов нет". Но отсутствие законов, "правил игры" в природе в корне подрывает саму возможность теоретического познания мира, возможность прогноза и целостности подхода к планете как развивающейся единой системе.

Поэтому заголовок этой главы "Мобилизм в Гармском районе" не означает, что автор намеревается двигать частями этого района по своему или своих героев усмотрению. В то же время было ясно, что происходящее в недрах Гармского района не может не иметь отношение к главным спорам в геонауках. Мобилизм, не мобилизм?.. А если осторожнее - какие движения, горизонтальные или вертикальные, играют первую скрипку в тектоническом концерте района?

И вот перебираем, рассчитываем, прикидываем, спорим до хрипоты день за днем и каждый раз до двух-трех ночи. При этом стараемся хранить объективность с особым тщанием, предпринимая меры предосторожности против возможной произвольной подтасовки, увы, нередкой гостью даже в трудах, пестрящих будто бы бесстрастными числами и формулами.

Первая прикидка. 1300 карточек-землетрясений в нашем распоряжении. Для каждого известны время, координаты, направление оси сжатия, оси растяжения. Впрочем, координаты и время пока не нужны: мы проведем "тайное голосование" - эти оси сами покажут главные направления действующих в районе сил. Все оси сжатия наносятся в виде одинаковых безликих точек на простой график, где по горизонтали отложен азимут оси, а по вертикали - угол ее наклона к горизонту. Потом то же самое - с осями растяжения. И вот 1300 точек на двух графиках - как голоса при вскрытии урны для голосования. Подавляющее большинство землетрясений имеет либо горизонтальную ось сжатия, либо горизонтальную ось растяжения (первых больше). А по странам света... Тут результат такой: Гармский район в целом сжат по горизонтали по направлению с юго-юго-востока на северо-северо-запад. А горизонтальные оси растяжения показывают, как реагирует на это сжатие район в целом: он растягивается в перпендикулярном, близширотном направлении. Результат явно мобилистский: с юго-юго-востока по всем мобилистским построениям пришла и давит Индия.

Вторая прикидка, а вернее, уже подсчет. Мы знали, что в геологической литературе о Памиро-Тянь-Шане господствует представление о "клавишном", блоковом строении земной коры. Геологи пишут о "тарелке" Гармского района, разбитой вертикальными трещинами-разломами на клавиши-блоки. Весь облик и геологическая история последнего, четвертичного, периода, по их мнению, определяется контрастным движением этих блоков, вертикальным взаимным перемещением относительно друг друга. На такое "клавишное" представление о районах типа нашего не смели порой покушаться даже мобилисты (в конце концов огромные плиты, двигаясь горизонтально, могут и "поиграть" внутри отдельными клавишами-блоками). Говоря по чести, и мы тогда не очень-то ожидали, что "клавишная" тектоника как-то пострадает в результате наших статистических манипуляций. Против клавиш было только одно серьезное, хотя и туманное, соображение: именно они чуть было не завели в тупик проблему сейсмического прогноза.

Клавиши по идее вполне самостоятельны в своих взаимных движениях. Это значило, что все предвещающие сильное землетрясение изменения-предвестники должны были группироваться в близком соседстве с тем контактом между блоками-клавишами, где произошла заминка с накоплением опасных напряжений. Выше я рассказывал, как сама жизнь, сама природа разбила гипотезу локальных предвестников, и это со стороны природы оказалось и умно, и снисходительно по отношению к исследователю: ведь поймать такой локальный, затерянный где-то в недрах Гармского полигона предвестник очень трудно, практически невозможно. Сейчас уже ясно: чем сильнее землетрясение, тем большую площадь подготовки оно имеет, тем легче его предвидеть. Огромные площади и длинные сроки подготовки сильнейших толчков, а значит, и сама возможность прогноза, гораздо лучше согласуются с горизонтальным направлением распространения опасных напряжений. Именно в этом случае раздробленность коры, пестрота ее строения не препятствие, а лишь незначительная подробность в медлительно-целестремленном процессе подготовки катастрофы.

Когда-то, в 80-х годах прошлого века, великий геолог Э. Зюсс рассортировал тектонические движения в растущих молодых Альпах на два основных типа - вызванное горизонтальным сжатием сдвиговое движение, взаимное скольжение по горизонтали двух бортов тектонической трещины и вертикальное, клавишное перемещение блоков. Отождествив впервые в истории с тектоническими движениями движения, происходящие во время землетрясений, Зюсс тем самым ввел первую типизацию механизмов землетрясений, хотя о том, что эти механизмы будут когда-нибудь определяться после каждого землетрясения по записям сейсмографов, тогда никто и помыслить не мог...

Такой сейсмогеологический подход к задаче определения механизма землетрясения был в то время единственно возможным. Много дает он исследователю и теперь - и все же он ограничен, в нем коренится существенная неопределенность, непреодолимая без обращения к сейсмограммам и повинная, по-видимому, в долгой эпохе неприятия, непризнания большинством геологов горизонтальных движений и напряжений в геотектонике.

Дело в том, что откровенно горизонтальный тип тектонического нарушения - сдвиг (в механизме очага такого землетрясения горизонтальны и ось растяжения, и ось сжатия, и направление подвижки) редок, и к тому же нелегко распознать на поверхности дислокацию, борта которой остаются на одном уровне. Все остальные типы виднее, ибо во всех один борт так или иначе поднимается, а другой опускается - всегда есть ступенька, хорошо заметная и издали и хорошо сохраняющаяся. Но этих остальных типов шесть, и между собой их различить по той же причине (уступ и уступ, поди разбери, как именно он возник) очень трудно. Ниже читатель прочтет, с каким трудом удавалось в прошлом некоторым проницательным геологам доказывать существование больших надвигов в Гармском районе (сейчас это бесспорная истина).

Надвиг, сдвигонадвиг, сброс по наклонной поверхности, сдвиго сброс по той же поверхности - все эти типы дислокаций-механизмов вызваны горизонтальными силами сжатия или растяжения, и все они большей частью смешивались в кучу да еще их путали с действительно вертикальным сбросом - вторым типом Зюсса.

Это поднялось, это опустилось, мы видим. Значит, перед нами вертикальное взаимное перемещение блоков. И нечего тут вдаваться во всякие тонкости со стрелочками напряжений. Так сказал совсем недавно на большом геологическом совещании известный геолог-фиксист. Сказал сгоряча, в пылу спора, но статьи примерно с такой же аргументацией появляются в печати по сей день, правда, все реже. Была такая публикация и по нашему Гармскому району.

А что, если взять классические, зюссовские "горизонтальный" и "вертикальный" типы механизмов? Их немного, но они тоже есть среди наших 1300 карточек-землетрясений: горизонтальный сдвиг (у нас это тип "а") и вертикальные сброс и сбрососдвиг (типы "б<sub>1</sub>" и "б"). И посмотреть, к каким структурам на поверхности тяготеют эти землетрясения... Горконтализм и вертикализм - перед судом бесстрашной статистики. Мало того, типы "б<sub>1</sub>" и "б" сами несут в себе многозначительную и драматическую двойственность. Если у всех прочих типов землетрясений обе плоскости, по которым возможно движение, примерно одинаковы и равноправны, то в типе "б<sub>1</sub>" одна из возможных плоскостей вертикальна, а другая горизонтальна! В этом, втором случае верхний пласт движется по нижнему. Примерно такая же мучительная альтернатива существует и для типа "б".

Надо сказать, что крайние мобилисты, конечно, охотнее признают вторую, "горизонтальную" из этих возможностей. В типах "б" и "б<sub>1</sub>" они могут увидеть воплощение знаменитых шарьяжей - покровных надвигов слоя на слой, материка на материк. В экспедиции мы много толковали об этом. При всей нашей симпатии к мобилизму трудно поверить в то, чтобы такие "намазывания сыра на хлеб" могли происходить в больших масштабах. Всякие взаимные перемещения масс горных пород - процесс мучительный и медленный, и если уж приходится выбирать между двумя плоскостями разрыва и взаимного перемещения, природа почти всегда предпочтет тот путь, который короче. А в данном случае короче оказывается неизменно все-таки путь вверх, к свободной дневной поверхности. Поэтому в нашей "типологии" типы "б<sub>1</sub>" и "б" названы вертикальным сбросом и сбрососдвигом. Шарьяжа и косо сдвига нет. С этим не все согласятся, но, бесспорно, все будут согласны с тем, что, выбрав "вертикальный" вариант, мы с Кучаем (с этого этапа работа шла совместно) заведомо "отдали ферзя" фиксизму еще до начала игры.

Выступив, таким образом, против своих симпатий, мы с тем большим доверием можем отнестись к сильнейшему козырю против фиксизма-вертикализма, который мы получили в результате. Дело в том, что почти нигде в мире типы "б" и "б<sub>1</sub>" не играют заметной роли в наборе характерных для того или иного района движений. Только тип "б<sub>1</sub>" оказывается неожиданно ведущим в глубоких землетрясениях по периметру Тихого океана. О том, почему там это так, я расскажу позднее. Здесь же еще и еще раз важно подчеркнуть: единственные действительно "вертикальные" типы геологического движения в очагах землетрясений - лишь незначительная добавка к могучей всемирной симфонии горизонтализма и мобилизма. Надвиги там, где сжатие, пологие сбросы - где растяжение, - вот заводилы всемирного сейсмотектонического процесса.



Рис. 7. Сейсмичные зоны (заштрихованы) и механизмы землетрясений мира.\*

(Сейсмичные зоны делят мир на спокойные в тектоническом отношении плиты. Типы движений в очагах землетрясений зависят от характера взаимодействий на границах плит. Кроме знакомых читателю гистограмм на карте есть и кружки, каждый из которых сейсмологу без слов расскажет о том, как распределены напряжения и плоскости разрыва в наиболее типичных землетрясениях того или иного района. Читателю же этой книги они просто послужат условными значками, смысл которых разъяснен ниже.

I. Сильные аляскинские землетрясения часто идут по типам растяжения, в данном случае сбрососдвиг, тип д.

II. В сейсмичных поясах вокруг Тихого океана преобладают глубокие землетрясения типа б1 - вертикальный сброс. Но при пересчете механизмов землетрясений на систему координат, «привязанную» к погружающейся плите, оказывается, что по восточному берегу тип б1 чаще переходит в типы в1 и д - сбросы. Погруженные плиты там растягиваются по падению. На западе тип б1 переходит в тип в, что означает сжатие по падению.

III. Разлом Сан-Андреас - самый активный и грандиозный из трансформных разломов и единственный выходящий на сушу. Там, в Калифорнии, американские сейсмологи ждут сильнейших катастроф, которые с почти стопроцентной вероятностью будут идти по типу горизонтального сдвига.

IV. В штатах Невада и Юта сильные землетрясения редки. Слабые идут по типу сброса. Знакомый читателю по главе «Хаитский завал» мистер Кук. подозревает, что здесь зарождается разрывная структура типа Байкала. А может быть, в рифтовом характере западноамериканской сейсмичности повинна «молчаливо» (без глубоких землетрясений) висящая под Невадой древняя погруженная океаническая плита?

V. На южных берегах Карибского моря - широкий спектр движений от сдвига и сдвигонадвиг до сбрососдвига (уже под дном моря).

VI. Рифтовая срединно-океаническая структура независимо от того, в Арктике или Атлантике (VI а) она исследуется, дает устойчивый образ, набор движений в землетрясениях. Сбросов, господствующих в континентальных рифтах, мало. В основном сдвиги, которые, по-видимому, происходят по трансформным разломам, оперяющим основную структуру.

VII. Землетрясения у португальского побережья особенно интересны (Лиссабонское землетрясение 1755 года колебало всю Европу). Здесь происходят разные землетрясения. Значок проставлен для самых сильных землетрясений типа сдвигонадвиг (г).

VIII. Средиземноморье - сохранившаяся западная окраина древнего океана Тетис. Здесь есть на малом пространстве все: и островные дуги с глубокими землетрясениями, и альпийское горообразование. Все-таки больше всего здесь неглубоких «рифтовых» землетрясений типа сбрососдвига (например, землетрясение 1965 года в Скопье).

IX. В Турции наиболее опасны сдвиговые землетрясения по Анатолийскому разлому.

X. Южная Африка: сейсмичность слабая, землетрясения типа горизонтального сдвига.

XI. Рифты Грегори: в этих разрывных структурах и землетрясения соответствующие, сбросовые.

XII. Красное море - будущий океан. Несмотря на младенческое состояние, его срединная структура обнаруживает себя теми же землетрясениями, что и срединные хребты настоящих океанов, - сдвигами.

XIII. Кавказ. Больше всего надвига, но много и вертикально-взбросового типа б1.

XIV. Иран: набор типов землетрясений, типичный для горных стран Азии. Преобладают горизонтальное сжатие, надвиги.

XV. Сулейманский разлом в Пакистане - это западный из «рельсов», по которым движется по-прежнему стремящаяся на север Индия. Здесь преобладают соответствующие землетрясения «бокового трения» - горизонтального сдвига.

XVI. Памир, Гиндукуш - еще большее преобладание надвигов.

XVII. В горных цепях по среднеазиатской нашей границе с Китаем сильные землетрясения - почти всегда надвиги.

XVIII. Предгорья Гималаев со стороны Индии - снова сдвигонадвиги.

XIX. На востоке Гималаев нередки землетрясения, идущие по типу вертикального сброса (взброса). Но такой кружок, разделенный пополам, может в принципе означать и шарьяж, горизонтальное движение пласта по пласту; некоторые геологи и сейсмологи предпочитают такое толкование этого типа землетрясений.

XX. В целом Гималаи и Тибет демонстрируют типичный для горных стран набор типов механизмов с преобладанием сдвигонадвиги (кружок, зачерченный посередине).

XXI. Байкальские землетрясения: с почти стопроцентной вероятностью это сбросы или сбрососдвиги, типичные для рифтов (кружок, белый в середине, а по краям черный, - это и есть сбросовые типы). Южнее Байкала, в Монголии, сильные землетрясения (например, знаменитое Гоби-Алтайское) идут по типам «сжатия» - надвигам и сдвигонадвигам (XXI а). Но на пол пути между этими столь разными районами лежит Тункинский район, где картина пестрая, смешанная (XXI б).

XXII. Продолжение Байкальской зоны в Восточную Сибирь - вертикальный взброс (сброс).

XXIII. Там, где близ устья Лены кончается срединно-океанический хребет Ломоносова, естественно ожидать землетрясений со сдвиговым движением по трансформному разлому (о том, что так оно и есть, свидетельствует этот секторный значок).

XXIV. Все японские землетрясения показывают как будто безусловное господство горизонтального сдвига. Но оказывается, что почти все сдвиги происходят в коре. В погруженных плитах Японии и окрестностей на первое место выходит тип б1. Он превращается при пересчете в собственное пространство погруженной плиты - в надвиг. То же самое можно сказать и о других сейсмичных поясах вокруг Тихого океана (II).

XXV. Запутанный лабиринт маленьких островных дуг, океанских желобов уцелевшей окраины древнего океана Тетис. Здесь картина сложная, преобладают типичные для желобов механизмы землетрясений типа сброса (тип д).

Как писали выдающиеся сейсмологи США Б. Айзекс, Дж. Оливер, Л. Сайкс, "никакими доводами против новой глобальной тектоники сейсмология, по-видимому, не располагает". Это, конечно, не значит, что сейсмология в отдельных пунктах не может быть примирителем между некоторыми взглядами горизонталистов и вертикалистов. По-видимому, Гарм можно представить себе крошечной моделью всей тектоносферы мира в целом. Во всяком случае, что касается типов механизмов землетрясений, Гарм удивительно похож на земной шар в целом по взаимному соотношению этих типов. Например, в Гармском районе, как и во всем мире, много сжатия, меньше растяжения, а землетрясений типов "б" и "б1" очень мало, они разбросаны по району редкими включениями.

Возможно такое последнее слово в защиту прежних представлений вертикальной "клавишной" тектоники блоков. Ну хорошо, район сжат, основные "задающие тон" движения в районе - надвиговые и пологосбросовые. Землетрясения этих типов покрывают целые районы сплошными полями. Но ведь ясно же, что одни участки в районе все равно поднимаются (в условиях сжатия это происходит неизбежно), другие - опускаются. Вот тут-то и сыграют роль немногочисленные, но важные типы "б" и "б<sub>1</sub>"; они прочертят своими вертикальными плоскостями границы между резко контрастными поднятиями и опусканиями, сыграют хотя бы роль пограничных столбов.

И вот мы с Валерием Кучаем, проевшим зубы на среднеазиатской геологии и математической статистике, сидим и считаем: каких типов и сколько располагается на территориях откартированных им "горстов" (поднятий за последние примерно 100 тысяч лет) и "грабенов" (опусканий за это же время). И "загадали": если статистически весомо лягут типы "б" и "б<sub>1</sub>" на границы между этими структурами, то "блоковая" клавишная тектоника - этот вертикализм в малом районе - спасена даже в условиях мобилизма в целом. Если же и на этом мелком уровне торжествует мобилизм, то на границы попадут другие важные, хотя и тоже немногочисленные в районе типы механизмов землетрясений - сдвиги ("а"). Результат был получен без особых мучений (очень уж симпатичную и простую методику разработал для таких подсчетов Кучай).

Мы ясно увидели, что близ границ "поднятий" и "опусканий" с наибольшей определенностью располагаются землетрясения типа горизонтального сдвига (а не типов вертикального движения!). Таково "торжество мобилизма" даже на уровне такого крошечного пятка, как Гармский район.

В том поразившем меня высказывании фиксизма ("это поднялось, это опустилось - значит, движение вертикальное"), как в капле воды, отразилась беда традиционных геологических, а вернее, даже географических методов оценки происходящих в земной коре движений. Геолог, географ с наибольшей ясностью отмечают вертикальную составляющую всех движений - по накоплению осадков в низинах, по степени эрозии, по вертикальному перепаду на разломах. Очень пологий надвиг, сдвиг с небольшой вертикальной составляющей - все эти движения он рискует записать в чисто вертикальные. Чисто же горизонтальные смещения уверенно определяются очень редко - лишь если они молодые, ярко выраженные. Похоже, фиксизм основан на "артефактах", то есть на наблюдениях, истолкованных неправильно вследствие несовершенства, приблизительности самого метода наблюдения. Может быть, нам с Кучаем удалось доказать это статистически в масштабе Гармского района.

Возможно, читатель усмотрит противоречие между новеллой о чрезмерном новаторстве, помещенной выше, и этой апологией мобилизма в масштабе крошечного района. Но это не просчет, а расчет. Крайности нередко смыкаются в науках о Земле, и новейший мобилизм вынужден, как ни странно, порой обращаться к некоторым идеям фиксизма. Как вскоре убедится читатель, при объяснении главного феномена Памиро-Гиндукушского узла оглядка на здоровый консерватизм окажется, может быть, как ни странно, новаторством большим, чем самый крайний "дрейфизм".

## Рифт или рамп? рифт!

Прошлое поучительно всегда, а особенно во времена научных революций. Все новое - это хорошо забытое старое; так много правды в этом банальном утверждении, несмотря на то что настоящее новое - все-таки всегда новое! До нынешней единой глобальной тектоники плит существовала только одна глобальная тектоника - теория контракции, и было это давно, в прошлом веке - начале нынешнего. Все остальное время можно назвать переходным периодом, когда рождались, и умирали, и возрождались интересные, полезные, влившиеся в золотой фонд наук о Земле гипотезы и теории, ни одна из которых не могла тем не менее претендовать на то, чтобы объяснить все - от горообразования до конфигурации континентов и океанов.

Теория контракции. Контракция - сжатие остывающей Земли с образованием морщин - хребтов и впадин, как на коже высыхающей компотной груши. Физики выяснили, что Земля вовсе не остывает, скорее разогревается от тепла радиоактивного распада, и геологи испуганно отвернулись от теории, которая некогда всех объединяла. А между тем, теория контракции, несмотря на многие недостатки, давала видение целого и объясняла давно подмеченные геологами на суше следы могучих сил горизонтального сжатия. Недаром такой патриарх геологии, как знаменитый Штилле, работавший в геологии

чуть не целый век, до 50-х годов нашего столетия, не споря ни с кем и ни на чем не настаивая, продолжал неколебимо исповедовать теорию контракции, а говорят, не было на Земле геолога с лучшим знанием своего предмета. Крупнейший геолог академик Владимир Афанасьевич Обручев пытался хотя бы частично возродить эту теорию - слишком пустым оставалось место, покинутое ею.

Но и во времена ее безраздельного господства случались трудные для контракции времена. В 1896 году выдающийся геолог Дж. Грегори обследовал Великие Африканские разрывы. Опытным глазом он сразу определил, что эта необычная провальная структура с ее цепочками вулканов образована горизонтальными растяжениями. Растяжения - на сжимающейся Земле! Как писал, "Ньютон геологии" Э. Зюсс, мы оказались перед невероятным выводом, что "в одном и том же месте в одно и то же время должны были проявляться и сжатие и растяжение". Проблема эта усугубилась позже, когда признаки растяжения увидели и в других структурах - таких, как Байкал, Рейнский грабен.

Сам Грегори вышел из положения весьма остроумным способом. Он не стал отвергать теорию контракции. *(Если б он тогда знал, что сухопутные грабены лишь ничтожная часть всех этих структур растяжения, имя которым океаны!)* Он предположил, что Земля может сжиматься неравномерно, на ней при этом образуются местные вздутия, пузыри. Такие вздутия с поверхности испытывают растяжения, растрескиваются с излиянием подкорковых масс. "Первая стадия, - писал Грегори, - заключалась в формировании низкого широкого свода. Ослабление напряжений вело к образованию зон проседания вдоль его сводовой части". Так могут возникать "рифты" - структуры местного растяжения на сжимающейся в целом Земле.

При всей последующей модернизации и переработке черты теории рифта можно распознать в нынешней "сводовой тектонике", "теории аркогенеза", наиболее ярые приверженцы которой, например советский геолог И. В. Корешков, видят разные этапы сводового развития в столь разных сооружениях, как срединные хребты в океанах, континентальные рифтовые зоны и даже Памир и... Русская равнина.

В 1921 году другой геолог, Вейланд, попытался избавиться от противоречия "растяжения на сжимающейся Земле" с помощью гипотезы рампа. Два встречных надвига, наползая на расположенный между ними блок, могут создать "псевдорифт". Теория рампа в применении к настоящим рифтам сейчас окончательно устарела. Те же механизмы землетрясений подтверждают: рифты образованы только сбросами, растяжениями (надвиговых, взбросовых типов механизмов землетрясений в этих районах нет, а должны быть, по теории рампа).

Итак, земная кора сейчас перенапряжена так, как это было бы, если бы Земля сжималась. Можно ли построить убедительные модели, соответствующие этим наблюдениям, без привлечения теорий изменения земного радиуса? Можно! Разве это не то же самое (для коры, а не для Земли), как если бы размеры планеты не менялись, а общая площадь коры непрерывно стремилась бы увеличиться (но не увеличивается из-за пододвигания под океанические окраины)? Эта псевдоконтракция и происходит в реальности, если до конца поверить теории расширения морского дна, главному и первому пункту современной тектоники плит.

Еще один механизм псевдоконтракции для объяснения повышенного горизонтального сжатия предложил советский геофизик Е. А. Артюшков. Дело в том, что сам факт существования на Земле высоких гор - и рядом низменностей, континентов - и рядом океанов приводит как бы к горизонтальному растеканию вещества коры: высокие элементы рельефа давят на низкие. Гора и низина как два сообщающихся сосуда, из которых высоко налитый стремится перелить содержимое в налитый низко. Только вместо жидкости - горные породы, но и они на больших пространствах и в больших интервалах времени ведут себя во многом как жидкость. Так, считает Артюшков, можно объяснить и горизонтальное растекание целых плит, континентов.

Многие специалисты оспаривают оригинальную точку зрения Артюшкова (подтвержденную расчетами) на том основании, что он причину - повышенное горизонтальное сжатие, плитотектонику с горообразованием - меняет местами со следствием - растеканием уже сформировавшегося под действием других причин рельефа. Будущее покажет, кто прав в этом споре. Похоже на то, что плитотектоника, то есть движение плит на Земле с горообразованием на краях плит, существует все-таки сама по себе. В повышенном же горизонтальном сжатии литосферы Земли, не исключено, повинны оба механизма. И тектонический и тот, что предложил Артюшков...

Так или иначе, эта псевдоконтракция для литосферы Земли во многом геологически подобна подлинной контракции. Но для нее еще более, чем для прежней, злободневно решение парадокса "растяжение в условиях всеобщего сжатия", ибо 75 тысяч километров выявленных к настоящему времени рифтовых зон земного шара - это несомненные растяжения, да еще именно те растяжения, благодаря которым существует сама псевдоконтракция - в рифтах рождается новая земная кора.

Вот тут-то, как ни странно, и приходят на помощь мобилизму чисто фиксистские концепции рифта и свода. Что же происходит в срединных океанических структурах?

Там, по нынешним плитотектоническим воззрениям, к литосфере снизу подходит вертикальный поток горячего астено-сферного вещества. Одни геологи думают, что такие потоки в мантии создаются продолжающейся сортировкой первичного смешанного материала Земли где-то на границе ядра и мантии. Другие отдают предпочтение чисто тепловой конвекции - как в системе водяного отопления. Правда, в обоих этих случаях не совсем ясно, почему эти восходящие потоки идут не в виде струй, фонтанов, а в виде линейных, да еще чрезвычайно вытянутых, да еще непременно соединенных в единую глобальную систему полос.

Интересную возможность обсуждали мы в экспедиции в кабинете во многом (не во всем) нашего единомышленника Виталия Пономарева. Виталий вычитал в каком-то популярном журнале заметку следующего содержания. В некоем африканском озере на дне скопилось чрезвычайно много растворенного метана - то ли в силу активного гниения каких-то биологических остатков, то ли из газового месторождения натекло. Метан решили использовать. На дно опустили трубу и стали отсасывать метановый раствор. И произошло нечто невероятное: хлынувший из трубы метан с водой буквально выбил насос и пошел самотеком, фонтаном, да таким, что чуть ли не ставь на него динамомашину, чтоб энергию добывать. Что же произошло? Да то, что, выведя систему из состояния равновесия (холодная вода с растворенным метаном тяжелее верхних слоев воды, а потому может храниться на дне сколь угодно долго), люди ввели в действие мощные силы выделения газа из раствора: общее взрывоподобное облегчение и расширение смеси буквально вышибает ее из трубы (причем, чем ближе к поверхности озера, тем процесс этот становится сильнее). Процесс становится самоподдерживающимся.

Виталий предположил, что подобный механизм может срабатывать и в геологии. Если какой-то объем подкорового вещества в силу некой причины принудительно переместился вверх, то дальше процесс становится самоподдерживающимся и даже развивающимся: ведь и в веществе земных недр сколько угодно составных частей, газов, жидкостей, способных к взрывоподобному фазовому переходу, к общему расширению, разуплотнению, что порождает неудержимое стремление вверх!

А дальше заработала уже моя гуманитарная фантазия (вполне, впрочем, поддержанная физико-математическими коллегами). Допустим, в силу какой-то еще неизвестной причины грандиозная трещина зигзагом разбивает относительно тонкую океаническую литосферу. Небольшое, на полпроцента, увеличение земного шара в объеме (вещь вполне реальная) могло бы стать первопричиной такой трещины. В трещине резко падает давление, с ее дна (ведь литосфера даже под океанами достигает 100 километров толщины) мантийное вещество поднимается вверх по трещине-трубе, бурно разуплотняется, полностью расплавившись, - и вот уже процесс стабилизируется, становится непрерывным, а длинный, причудливо извилистый в плане, сохраняющий очертания трещины приток вещества к поверхности - постоянным. И образуется океан...

Так или иначе рифтовая система Земли действует, и действует безотказно! Снизу поступают все новые порции вещества, застывают пробками-клиньями по оси хребта; потом новые порции - и опять рифт-окно приоткрывается: дно расширяется. Под напором закачивается снизу астеносферное вещество - отсюда вертикальное выпучивание (прямо-таки сводовый чисто фиксистский механизм) и разбегание, расползание, расталкивание бортов, склонов этого хребта.

Так ли все это? Противники новой теории делали отчаянные попытки выбраться из сужающегося кольца доводов, подталкивающих науку к выходу в новое торжество мобилизма. Решающего слова ждали от сейсмологии, и именно от данных по определению механизмов землетрясений. И результаты этих определений поначалу оказались такими, что вполне могли быть истолкованы и так и этак. Какого механизма следует ожидать от рифтовых землетрясений? Вертикальная ось сжатия - горизонтальное растекание в стороны перпендикулярно рифту - да ведь это сброс, своего рода тектонический оползень, много ли его в рифтах? Да, на Байкале и на другом континентальном рифте, в Африке, сброс оказался, безусловно, господствующим типом механизма. Но континентальные рифты лишь ничтожная часть мировой системы. Срединно-океанические землетрясения - вот откуда должен был прийти четкий ответ. А ответ был странный: большинство землетрясений, отмеченных в этих структурах,

оказались, по механизму, подвижками сдвига. Сгоряча многие сейсмологи усмотрели совпадение одной из возможных плоскостей подвижки с простираем самой рифтовой долины по оси хребта. Конечно, горизонтальный сдвиг - вполне мобилистский тип движения, но сдвиг по линии самого рифта... в этом было что-то странное и ни с чем не сообразное.

Но вот более внимательный анализ, более точное определение местоположения эпицентров землетрясений. И оказывается, все землетрясения сдвигового механизма лежат вовсе: не на самом рифте, а несколько в стороне и, похоже, на разломах, перпендикулярных к рифту. Эти разломы-трещины образуют как бы ступеньки, уступы между участками рифта. Уступы-разломы во многих случаях были обнаружены в океане и получили название трансформных разломов. Эти поперечные линии оказались совершенно необходимыми для бесперебойной работы механизма раздвижения океанского дна.

Дело в том, что раздвижение плит идет в строгом соответствии с законами перемещения участков поверхности сферы, а вовсе не плоских плит, как иногда для простоты рисуют на чертежах. И главным правилом такого раздвижения оказалось то, что у каждой пары раздвигающихся пластин-плит - свои полюсы расширения...

Земной шар можно представить себе в виде апельсина, кожура которого нарезана лепестками по "меридианам", от полюса до полюса. Для простоты можно убрать все лепестки, кроме двух соседних. Они-то и будут моделью двух пластин литосферы. Лепестки можно раздвигать так, чтобы их концы продолжали оставаться на полюсах. Между ними образуется сектор, отдаленно напоминающий Атлантический океан. Конечно, в реальности все несколько отличается от этой апельсиновой аналогии: концы плит обломаны и полюсы оказываются вне плит. Но движение идет все-таки так, будто плиты опираются на полюсы. У каждой пары пластин - свои полюсы, и только у атлантической пары они близки к географическим.

Так вот, края сектора раздвигаются, но реальные секторы на Земле не нарезаются аккуратными дольками, а разламываются по ломаной линии. И когда трещина должна пойти косо, по диагонали к "меридиану" или "параллели" собственной координатной сетки сектора, привязанной к полюсам расширения, диагональ превращается в ступеньки из продольных "меридиональных" участков рифта и поперечных вспомогательных "широтных" разломов (их-то и назвали трансформными). "Берега" этих разломов движутся горизонтально относительно друг друга при расширении дна. Это и было установлено по механизмам землетрясений.

Ну а само раздвижение в зоне рифта - процесс горячий, идет он почти без толчков. Поэтому рифты, места притока в верхнюю оболочку Земли всей сейсмической, тектонической энергии планеты, действуют мягко, слаженно, без сильных землетрясений и без настоящего горообразования (что значат какие-то срединные хребты в сравнении с могучими альпийскими системами?).

Но придется вернуться опять к парадоксу растяжения на сжимающейся Земле. Он еще не исчерпан. Дело в том, что в несомненно сжимаемых горных системах альпийского складчатого пояса всегда есть весомая примесь землетрясений типа сброса. Но ведь это рифтовый тип землетрясений, он образован горизонтальным растяжением. Растяжение в условиях сжатия! Среди тех самых 1300 землетрясений Гармского района немало сбросовых. Правда, с ростом энергии землетрясения вероятность того, что оно окажется сбросовым, быстро уменьшается. И самые сильные землетрясения Памиро-Тянь-Шаня (а также Кавказа, Каракорума, Гималаев и т. д.) - это почти всегда надвиги. Но проблема остается. Грешным делом, мне хотелось для ее решения пойти испытанным путем - через механизм свода все к тому же рифту.

Даже если общее воздымание горной системы, рассуждал я, вызвано не вертикальной силой снизу, а сжатием с боков, поднятие остается поднятием, то есть аркой, и в округлости этой арки всегда остается место для растрескивания от местного растяжения. Мне казалось, что чередование сплошных полос надвиговых землетрясений и полей сбросовых толчков на планшете Гармского района намекает на возрождение механизма рифта (по Грегори) в условиях альпийского горообразования.

Но... тут мы оказались в состоянии спора с Валерием Кучаем. Спора знаменательного, повторяющего в миниатюре расстановку сил при споре глобальных гипотез рифта и рампа. Валерий, наверное, единственный в нашей стране и за ее пределами современный ярый приверженец теории рампа...

## Рифт или рамп? рамп!

*Истина превыше всего. И мы, должны твердо заявить, что если нам не разрешат двигать наши континенты на жалкие несколько сантиметров в год, то мы станем двигать их на несколько метров в день.*

### Из доклада Р. ДИТЦА

Удивительно, как это в науке ничто не пропадает зря! Потерпев поражение на глобальном поприще, рамп взял реванш на региональном. Пришлось уступить Валерию: реальное расположение землетрясений с тем или иным механизмом на карте района лучше объяснялось его схемой, чем моими интуитивными примиренческими стремлениями к сближению сводового фиксизма с мобилизмом на нашем районном уровне.

Мы продолжили процедуру выяснения статистических связей между геологическими структурами, выделенными в районе Кучаем, - горстами и грабенами (самое грубое, общее деление) и типами геологического движения в очагах землетрясений. О том, как первые три типа опровергли "клавишную гипотезу", я уже рассказывал.

Сбросы же и надвиги разделились так. На территории кучаевских горстов оказалась львиная доля "чистых" надвигов. На территории грабенов было больше сбросов, но ненамного, в общем здесь была смесь землетрясений всех типов.

Читатель может спросить: "Ну и что?" По правде говоря, и в науке нередко приходится слышать "ну и что?", на которое всегда непросто ответить. Но вопрос правильный. Ученый всегда должен помнить, для чего он получает тот или иной результат. Какую задачу решает, на какой вопрос отвечает. Самое главное, общее следствие из яркой и четкой привязанности тех или иных типов землетрясений к определенной структуре: нынешний тектонический режим - это не просто какой-то миг, мгновенная фотография геологического процесса, это направленное продолжение тех же процессов, что шли в этом районе сотню тысяч лет назад. Этот факт вовсе не очевиден, и он нуждается в доказательствах. Еще недавно сейсмике отказывали в такой устойчивости и в такой тесной связи с динамикой геологического процесса.

Вот что получилось у нас в конце концов. Можно разбить пластину трещинами. Пластина - Гармский район. Трещины - разломы, которых здесь много и большинство которых тянется по широте, так же как вытянуты и основные реки и хребты. Разломы могут быть строго вертикальные, и тогда сжатие пластины с боков, по меридиану никакого движения на таком разломе не вызовет, он будет "мертвый", разве что породит немного сдвиговых землетрясений, если сжатие направлено не совсем перпендикулярно, а несколько сбоку.

Разломы могут быть и наклонные - и тут все меняется. Пластина оказывается разделенной на ряд блоков, похожих в поперечном разрезе на трапеции. При боковом сжатии трапеции с большим основанием сверху, сверху же и выжимаются. Это горсты. Горст как бы надвигается на оба сжимающих его борта, поэтому в нем в большинстве случаев реализуется надвиговый тип землетрясения. Трапеции же, обращенные вверх меньшим основанием, - это и есть рамповые грабены. Главная действующая сила в них по-прежнему боковое сжатие поперек структуры. Но появляются и дополнительные,

силы. Во-первых, грабен, как клин, выжимается вниз. До бесконечности это выжимание продолжаться не может (оно идет против силы изостазии, проще говоря, против архимедовой силы - если представить себе блоки коры как льдины, а субстрат внизу - как жидкость, на которой льдины плавают). Так появляется вертикальная сила, сдавливающая этот погруженный блок, причем на глубине, там, где рамп выдвинут ниже горизонтально сжатого слоя, эта дополнительная сила может стать даже основной. Вертикальное сжатие необходимо подразумевает горизонтальное растяжение. Но растягиваться трапецевидный в сечении брусок может только вдоль своей длины, поперек давящей основной силы. И новое подтверждение: силы растяжения в Гармском районе расположены большей частью вдоль параллелей, так, как тянутся длинные речные долины Памиро-Тянь-Шаня, к которым и привязаны большей частью рамповые грабены Кучая.

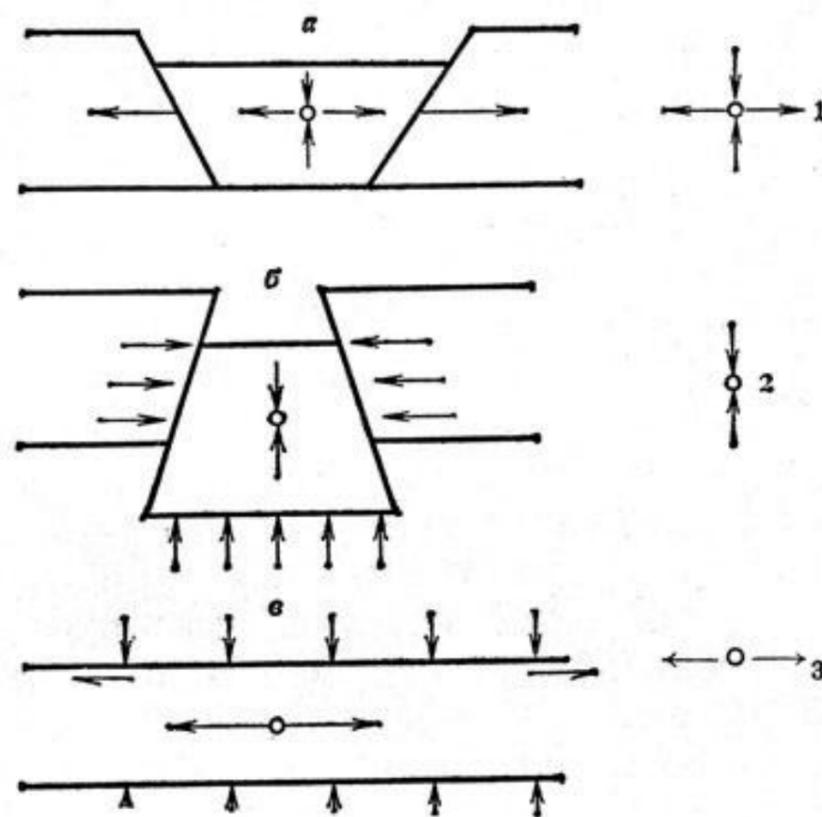


Рис. 8. Сводовый (рифт) и рамповый грабены. В рифте (и его окрестностях) землетрясения идут по типам сбросов с осями растяжения, направленными по горизонтали поперек, на разрыв структур (а). В рампе (б, в) картина более сложная. Заголкнувший вниз рамп стремится "всплыть" обратно. При этом в очагах землетрясений сбросового типа оси растяжений направлены вдоль протяжения самих грабенов. 1 - оси сжатия и растяжения в поперечном разрезе рифта (например, байкальского); 2 - в поперечном разрезе рампа ось сжатия также вертикальна, но ось растяжения направлена перпендикулярно плоскости чертежа; 3 - оси растяжения в плане рампа (так они расположены и в Гармском районе); на границах рамповых грабенов должны преобладать сдвиговые механизмы землетрясений

Это же оказалось и главным доводом против первоначального предположения о сводовом характере растяжений в районе и о том, что грабены здесь мало чем отличаются, скажем, от байкальских рифтов. В байкальских и всех прочих настоящих рифтах растяжение направлено поперек структур, как бы на их разрыв...

Но окончательно убедило меня в споре с Кучаевым то, как землетрясения с горизонтальной осью растяжения расположились в глубине земной коры. В "рамповой модели" их число с глубиной должно расти, в "сводовой", рифтовой, - падать (свод больше всего растягивается вверху, там, где "пучится"). Беспристрастная статистика подрубилась мою последнюю надежду. Растяжений с глубиной становилось все больше. Итак, есть рампы!

## С очагом лицом к лицу

Чтобы изучить своих подопечных, вулканологи часто идут туда, где действующих вулканов нет уже 100-200 миллионов лет. Зачем?

Дело в том, что иногда вулканологу хочется поглядеть на вулканический очаг, увидеть, какой он внутри, что в нем. В очаг действующего вулкана ему никак не проникнуть. Но очень часто области древнего вулканизма оказываются высоко поднятыми над своим первоначальным положением. Бывшая вулканическая область стала "областью сноса". Эрозия разрушила и унесла вулкан, километры коры и обнажила очаг, заполненный так и не излившейся лавой.

Высоко в горах каждый из нас оказывается лицом к лицу с очагами древних землетрясений. Породы над ними, тоже оказавшиеся в области сноса, давно сточены эрозией - и вот они, очаги былых землетрясений! Чаще всего это мощные трещины, пересекающие пласты на сотни метров. Трещины заполнены каким-нибудь выпавшим из подземных растворов минералом - кварцем, кальцитом, гипсом. Вглядитесь: кое-где от главной трещины под углом змеятся кулисообразные вторичные трещины, кое-где на границе основной породы и заполнителя - дробленка, свидетельство взрывоподобной силы толчка.

Коллега Пономарев уверяет, что изучать очаги слабых землетрясений лично он предпочитает, сидя на берегу мутного и страшноватого Сурхоба, греясь осенью на солнце и перебирая береговую гальку. Вот уж где бесконечное разнообразие всяких плоскостей разрыва - чаще всего в виде белых жилок кварца. Кварц заполнял трещины от древних землетрясений. Смещение по трещине ее бортов? Пожалуйста, от миллиметров до сантиметров, любые. Системы параллельных трещин? Тоже долго искать не нужно. Легко проследить, как поперек древней трещины-очага проходит другая, рвущая и ее, и успевший затвердеть заполнитель.

Мне нравится разглядывать всевозможно ориентированные трещины в древних гранитогнейсах огромного купола, неведь как вылезшего прямо над Гармской базой. Гора Мандалюль. А в Хаитском завале в одном месте я разыскал такие чудовищно перекрученные волокна гнейса, что заподозрил: может быть, и миллион лет назад, когда вершины хаитских гор были на глубине нескольких километров, здесь случались столь же страшные землетрясения...

## О вреде праведного консерватизма

Выше в доказательство вредности излишнего новаторства я рассказал поучительную историю. Но логика происходящей в нынешних науках о Земле революции такова, что самые почтенные люди с легкостью начинают порой двигать во все стороны не только океаны и материки, но и отдельные долины и горы. Во всяком деле есть крайности.

Читатель, вероятно, уже чувствует, к чему клонит автор. Да, не пройдет и двадцати страниц, как автор вслед за некоторыми своими коллегами попытается все-таки примирить новейший мобилизм с некоторыми фиксистскими взглядами. И опять, чтобы предостеречь себя и читателя от этой другой крайности, позволю себе рассказать географическую новеллу о вреде консерватизма и, даже более того, о вреде праведного консерватизма.

В 1967 году ко мне, тогда заведующему в журнале отделом наук о Земле, обратился один мой знакомый.

- Ты мог бы напечатать "сомнительную" идею?

- А в чем сомнения?

- Да есть у меня приятель Игорь. Он в одной северной экспедиции работает. Они там решили опровергнуть ледниковую теорию. Ты знаешь, у него литературный дар!

- Ну тогда давай.

Игорь позвонил через неделю. Рассказал об идее. Мне понравилось.

- Пишите, - говорю.

- А уже написано, - застенчиво сказал Игорь. Хотя, как потом я узнал, застенчивость не была его главным достоинством.

"Великий Глетчер" меня захватил. Поэма, да и только. Надо сказать, я ни на секунду не усомнился в существовании в прошлом великих материковых покровных оледенений, против которых была направлена статья. Здесь я оказался полным консерватором! Восхищаясь стилем и способом аргументации, я где-то внутри твердо знал главное - что ледник был, а Игорь если и опровергает, то какую-то частность. Но журналист во мне был намного сильнее консерватора. Статья пошла в набор.

Читатель отреагировал. Большинство неспециалистов с энтузиазмом восприняло идею. "Наконец-то скинули этот чудовищный холодный груз, взваленный на нас еще со школьной скамьи". Специалисты возражали. Мы уже начали было подбирать отклики для опубликования, как вдруг нежданно-негаданно пришла целая кипа бумаг из одного известного научного учреждения. Два читателя из Крыма обратились с недоумениями по поводу "ниспровержения ледника" прямо туда. Известный гляциолог, научный сотрудник этого учреждения (назовем его Иван Петрович), немедленно написал открытое письмо крымским геологам, и ученый секретарь учреждения прислал все это для опубликования в нашем журнале.

Прочитав ответ Ивана Петровича, озаглавленный "Новые Геростраты", я ощутил что-то вроде сильнейшей психологической встряски. Уважаемый специалист, да еще по существу мой единомышленник, то есть ярый сторонник материкового гляциализма, ухитрился написать, не без экспрессии и силы, так, что вызывал непримиримую враждебность каждым своим словом. Это была настоящая

"раздолбежная" критика со всеми аксессуарами: оплевыванием личности оппонентов, их стиля, их мыслей, их чувств, с полным неуважением к ним как ученым. Это была критика на уничтожение. И хотя, повторяю, главные позиции Ивана Петровича в науке меня устраивали, несомненно, больше новаторства Игоря, я почувствовал твердо: такой консерватизм вреден, даже если он прав.

Мы решили опубликовать ответ Ивана Петровича без смягчения и редактирования, как есть. И без комментариев. Пусть читатель сам подумает и решит, где здесь правда во всей ее сложности. И хотя в каждой строчке опубликованной подборки склонялись научные термины "ледник", "аллювий", "эратические валуны" и т. д., эта акция журнала была чисто научно-этическая.

Результат превзошел все ожидания. Редакция была завалена письмами, самые интересные из которых были опубликованы. Очень мудрый он оказался, читатель. Все понял. О леднике уж и речи не было. Главная была мысль: да разве ж можно так аргументировать, так спорить! Уважение, терпимость к оппоненту - вот сила и достоинство настоящего, хорошего консерватора в науке. Консерватора - хранителя наследия, консерватора - знаменосца славных традиций. Так рассудил "широкий читатель" во время той дискуссии. И я думаю, что он был прав.

Ну а дискуссия о леднике завершилась серьезным, аргументированным диспутом в МГУ. Оказалось, печорские геологи не зря поработали. По их результатам в теорию гляциализма, блестящую, но требующую периодического обновления, были внесены существенные коррективы, касающиеся Европейского Севера и севера Сибири. Новаторство в сущности даже помогло "консервативной" теории.

## Между Лавразией и Гондваной

### "Как будто Крым"

В хребте Петра Первого реки мутные, непрозрачные, с невкусной водой, отдающей сырой штукатуркой (гипс!) и часто просто соленой. Но я люблю "Петра", он бесконечно разнообразен, этот Соленый хребет, он как будто весь в прыжке, в движении вперед, в борьбе с противостоящей ему косной силой.

Все гармские рыболовы предпочитают ущелья Гиссарского, самого южного из Тяньшанских хребтов. Гиссарский хребет - это обычно древние палеозойские граниты и гнейсы, вылезшие на колоссальную высоту. С этих вершин давно смыло все осадки, какие на них были. И я не люблю Гиссар, он кажется мне однообразным: граниты и гнейсы, гнейсы и граниты, в которых и слоев-то никаких не видно, сплошная громоздящаяся масса, перебитая трещинами всех направлений. Но зато в Гиссаре голубые и абсолютно прозрачные реки, где водится самая крупная и красивая форель - мечта всякого настоящего рыболова, воспетая Хемингуэем.

Ближайший к базе экспедиции участок Гиссара называют Кабуд-Крым, что, конечно, сразу хочется переделать в "как будто Крым". Это близко: полчаса, и ты уже взбираешься по ухоженной тропе на приступочку красивых холмов у подножия "как будто Крыма". Вот эти холмы в отличие от самого Гиссара, нелепо высоко и беспредельно однообразно громоздящегося куда-то к самому небу, мне нравятся очень.

По классической для нас и не раз уже упомянутой книге Рубина, эти красивые (то зеленовато-синие, то красные) приступки - передовая зона Южного Тянь-Шаня, последние остатки "осадочного чехла", который покрывал его когда-то целиком. И вот эти холмы, где под прикрытием невысоких, удивительно живописных скал, похожих на древнюю каменную кладку, запрокинутую назад, к хребту, градусов на сорок пять, в уютных низинах спрятались невидимые с равнины красивые кишлаки (ну прямо Бахчисарайчики!) и в журчанье арыков райские сады, - так вот они-то действительно похожи на маленький Крым.

Нужно только стараться не смотреть вверх, где половина небес состоит из однообразно-сиреневого гнейса с пятнами снега (в ноябре) у самых облаков. Летом это "каменное небо" (кое-где, правда, прикрытое чахлой травой) удручает по-настоящему (это южный склон Гиссара): оно пропитано злым белым солнцем и жарит отраженным излучением, как второе светило. Осенью и зимой, пожалуй, в этом "небе" есть прок: оно усиливает уже слабое, плохо греющее солнце, и в ноябре в крошечных для местных масштабов долинах "как будто Крыма" зеленеет по-весеннему трава.

Я люблю "как будто Крым" не только за уютные кишлаки, смешливых остроглазых детишек, гарцующих на лохматых, будто синтетических, ишаках, не только за журчащие арыки и красивые скалы. Я люблю его за то, что он дарит минуты ощущения очевидности геологического времени. Проходя этими запрокинутыми пластами к Гиссару, за полчаса добираться до раннемелового периода, представленного, как несколько высокопарно выражаются геологи, ярко-красными песчаниками.

И вот мы стоим у истоков. Южная кромка древней Азии... И мы видим, что в юрском, а может быть, и в триасовом периоде, 150-200 миллионов лет назад, здесь громоздились горы, не такие высокие, как этот нынешний сиреневый Гиссар, но достаточно приличные; во всяком случае и тот, древний Гиссар был голым, с гнейсов были смыты все осадки. Но потом время, вода и воздух сточили горную страну до основания, выровняли ее, и фиолетовый гнейсовый фундамент стал покрываться красным песком и мелкой галькой, которые сносились с севера. Оттуда, где в самом раннем мелу, 130 миллионов лет назад, на месте нынешнего Туркестанского хребта были какие-то возвышенности. Красный песчаник, сейчас как бы боком приваленный к своему ныне вздыбленному гнейсовому основанию, тонок и монолитен - хоть сейчас на жернова и точила. Галька в нем, если попадается, отлично окатана, до блеска.

И это ярчайшее свидетельство того, как медленно и не спеша все делалось, сортировалось и окатывалось. Но кончился самый нижний мел, начался не очень нижний (это мы уже двинулись в обратный путь по пластам-кадрам геологического фильма), и все грубее песчинки и гальки в красном (а иногда и в сине-зеленом) песчанике, и это выразительно подсказывает: горы на север от этих мест тронулись в рост, реки ускорили течение, песчинки перестали успевать хорошенько дробиться и сортироваться. А под занавес нижнемеловой эпохи, в виде многозначительного финала, вся эта тогдашняя равнина Южного Тянь-Шаня стала быстро опускаться и была залита морем. Может быть, это был длинный залив, отпочковавшийся на восток от одного из окраинных морей древнего океана Тетис. Море это плескалось где-то на месте нынешнего Душанбе, а Индия, виновница последующей геологической драмы, еще была далеко "в пути", где-то южнее экватора.

Залив этот кончался совсем рядом - километрах в семи-восьми на восток от "сейсмички", до поселка Гарм еще есть признаки морских отложений, дальше - нет! Удивительно: лет через восемь, когда будет закончено только разворачивающееся сейчас строительство Рогунской ГЭС на Вахше (это километрах в пятидесяти на западе), рукотворное море зальет долину Сурхоба примерно так же далеко на восток...

...Море было мелкое, устричное, ракушечное, и оно оставило следы - окаменелости, хотя и ушло скоро. И уже в верхнем мелу море после еще одного короткого отступления пришло прочно и утвердилось на всем протяжении нынешнего Южного Тянь-Шаня, до самой Кашгарии, что уже в Китае. Море становилось все глубже, и все больше на его дне наслаивалось осадков - известняков. Именно эти пласты стали нынче набекрень, скалами-стражами, глядящими равнодушно на приближение с юга противоположного борта долины хребта Петра Первого.

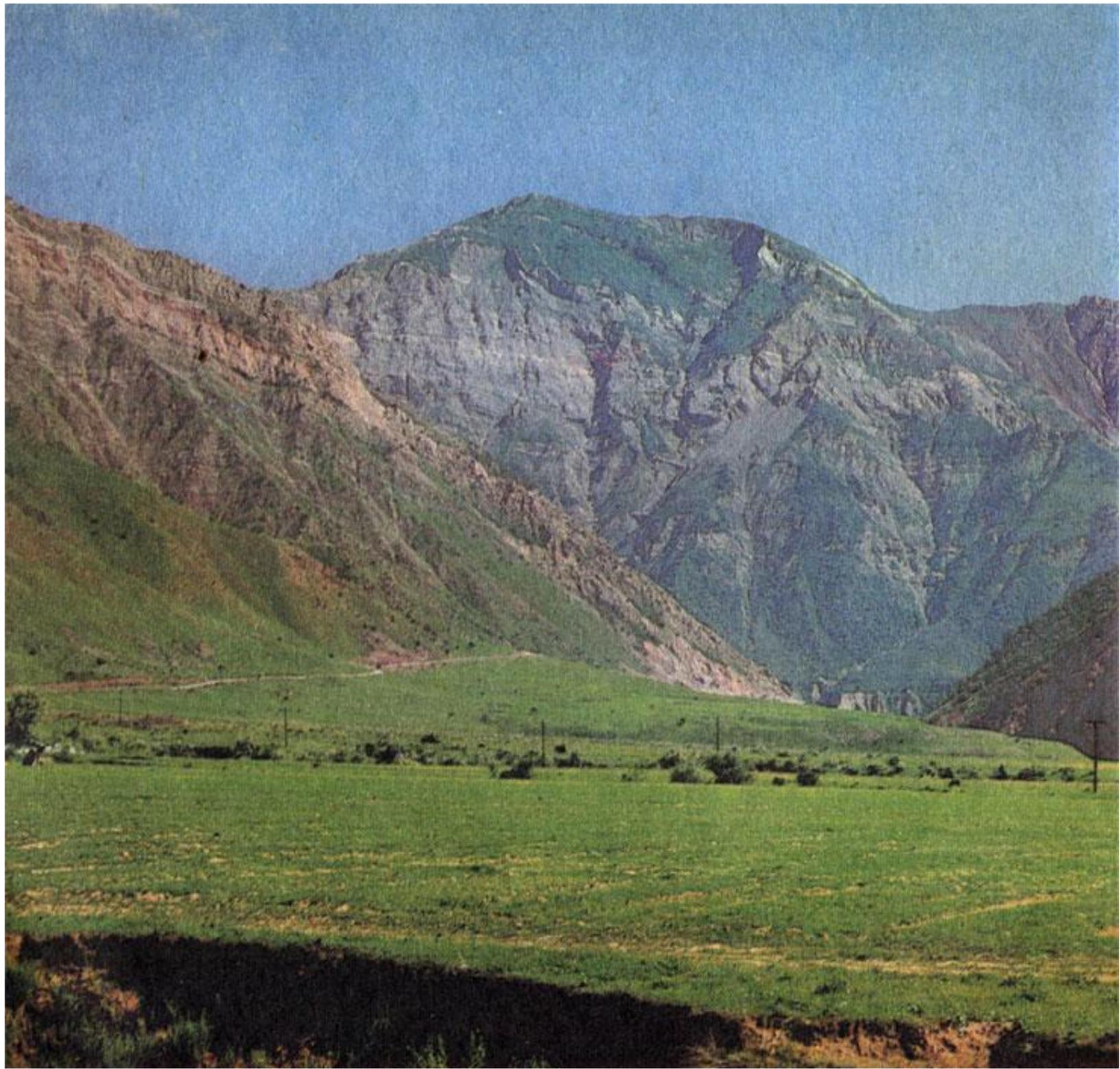
...Мы спустились с "как будто Крыма", унося богатые трофеи - глыбу крепчайшего серого известняка с поверхностью, буквально усеянной красивыми хорошо сохранившимися ракушками. И в известняке же - большая редкость! - красный отпечаток коры какого-то дерева, плававшего в древнем теплом море и затонувшего миллионов этак семьдесят лет тому назад. Так и видишь это голубое море и горы на северном его берегу, покрытые вечнозеленым лесом. Индия, плывущая с юга, была уже недалеко, и над благополучием всей этой страны (гор, морей, островов) нависла пока невидимая за горизонтом угроза.

Вполне можно представить себе, как выглядел океан Тетис, сжатый между Азией и подступающей с юга Индией до карикатурных для звания океана размеров. Ведь именно такой период развития проходит сейчас область между Австралией и Индокитаем - хаос тесно сжатых маленьких морей, островных дуг. Дуга здесь сидит на дуге, желоб на желобе. Опускающиеся по всем правилам мобилизма в мантию остатки океанических плит там, внизу, сталкиваются друг с другом, образуя как будто "купола" из фокальных поверхностей глубоких землетрясений (под Целебесским морем). Грандиозные землетрясения сотрясают сейчас кору и мантию и этого геологически обреченного участка океана Тетис.

Вот так далеко увела нас небольшая прогулка в "как будто Крым"...

## Вахшский надвиг

Конечно, на раннетретичном море не кончается история Передовой зоны Южного Тянь-Шаня. Кончается только ее летопись - разрез осадочных пород у кишлака Шуль, где проходила экскурсия.



*От развилки, что недалеко от Комсомолабада, можно проехать налево вдоль Сурхоба, мимо 'как будто Швейцарии' и приехать в Гарм и Хаит. А можно свернуть направо, на Хорог, вдоль Обихингоу и оказаться в южной части Гармского полигона, за хребтом Петра Первого. Вот он, въезд на 'южный профиль'.*

Дальше на восток и на запад есть места, где эта история более полная. Двадцатью километрами западнее, за поселком Новабад, в местах, которые за необычайную идилличность и пышность пейзажа так и хочется назвать "как будто Швейцарией", можно увидеть грандиозные песчаниковые скалы в виде чаши и у того же Рубина узнать, что это - само дно синклинали, то есть местного опускания, прогнувшего когда-то весь многоэтажный непрерывный комплекс отложений от мела до нашего времени. Там есть обрывы, красиво выветренные, со статуями-останцами. В этих обнажениях И. Е. Рубин и прочитал следующие страницы истории северного азиатского берега реки Сурхоб, геологические структуры которого для геолога-горизонталиста были чем-то вроде передовой, на которую наступали с юга чужеродные силы. Он так и назвал эти хребты и долины Передовой зоной Южного Тянь-Шаня.



*На одном из перевалов 'как будто Швейцарии'. Здесь и воды больше, и зелени, и даже дождей (по официальным данным и личным наблюдениям) выпадает*

*больше, чем у нас, в Гарме, а расстояние - всего-то двадцать километров. О причинах этого говорит разное, но в основе, видимо, опять-таки своеобразие геологического строения.*

В расцвет третичного эдема - эоцена, 40-50 миллионов лет назад, пробил час: дно теплого мелкого моря начало подниматься и осушаться. Трудно не связать это событие с тем, что Индия уже вплотную подошла к Азии. Налаженное опускание под Азию океанической плиты, шествующей впереди Индии, стало быстро разлаживаться: переходная, уже довольно толстая и легкая литосфера, несущая на себе прибрежные северные индийские моря, не желала лезть в мантию. Все здесь напряглось, выгнулось, последние моря исчезающего Тетиса быстро высохли.

С этого времени Передовая зона Южного Тянь-Шаня поднимается. Еще быстрее поднимались осевые части хребтов, и с них стало смывать осадки в долины. 750 метров красных песчаников и конгломератов (песок с галькой) слой за слоем накопились с тех пор в пра-Сурхобской долине (она была намного шире теперешней). Сам же Гиссар быстро сбросил с себя чехол и вырос до колоссальной высоты.

Так и хочется мысленно продолжить наклоненные слои - скалы известняков и песчаников и закруглить их на невероятной высоте над Гиссарским хребтом в виде самого настоящего чехла или шатра... Но скорее всего ядро хребта росло так быстро, что рвало эти пласты, как нож парусину. Километровой и двухкилометровой высоты стены фиолетовых гнейсов грубо прорывают причудливую вязь древних структур и уходят в небо...

А с юга все ближе подступал, уже подминая под себя пра-Сурхобскую долину, вал высоко поднятых и перемятых пород, составленных из осадков бывших мелких окраинных морей Индийского континента.

...Декабрь. Выслушав по радио, что в Москве 20 градусов мороза, я выхожу на крыльцо, на теплое солнышко, в рубашке, чтобы обдумать то, что собираюсь сейчас написать. Вот он, передо мной хребет Петра, весь уже заснеженный и сверкающий, как глыбы рафинада (внизу пока золотая осень). Хребет тянется сюда, к Сурхобу, ко мне длинными отростками-отрогами, похожими на мускулистые лапы огромного, на вид смиренного, но готового к прыжку, подкрадывающегося зверя. Каждый отрог разделен у конца оврагами и ущельями на отрожки поменьше. Это пальцы и когти. Когтистая лапа нависла над рекой, надвигается...

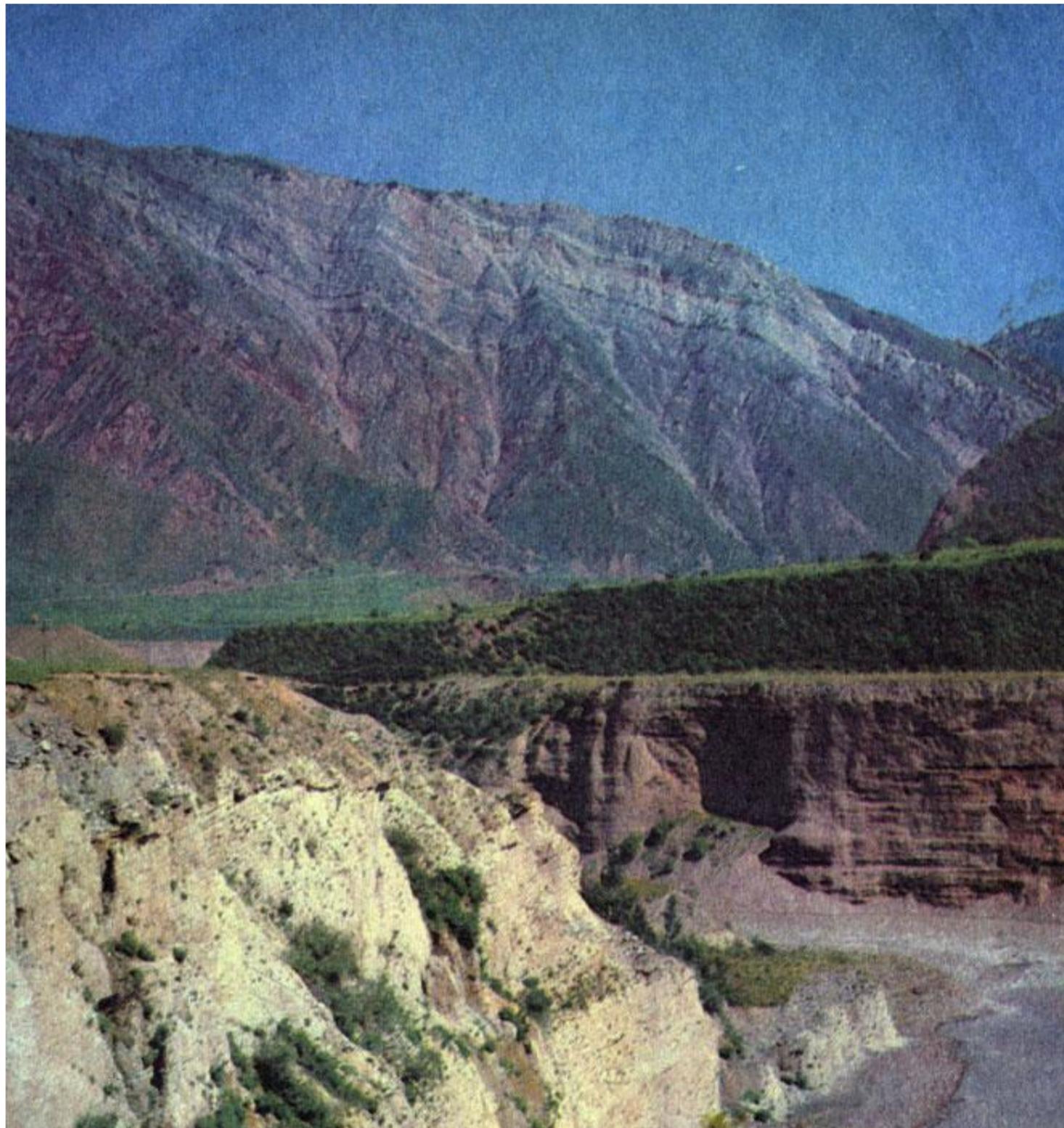
С одного берега на другой коллеги-геодезисты послали луч лазера. Отраженная уголковым отражателем (он отражает луч, словно зеркало, но посылает отражение точно туда, откуда получил луч) игла этого луча помогла уловить движение, незаметное для глаза: в последнее время Памир надвигается сюда, на Тянь-Шань, со скоростью два сантиметра в год. И, по-видимому, убийственная для "вертикалистов" разница: вверх памирский берег поднимается по сравнению с горизонтальным надвиганием крайне неохотно; вертикальная составляющая по крайней мере вдвое меньше горизонтальной. Вот он, главный источник сейсмической активности хребта!

...С 1949 по 1968 год северный склон хребта Петра Первого придвинулся к Гиссару примерно на 30 сантиметров. Если представить себе, что это придвижение - простое механическое продолжение того, древнего движения, и заняться простым умножением, то получится, что за 100 лет борта великой долины сближаются на полтора метра. За 1000 лет - на 15 метров, за миллион лет - на 15 километров. А за 30 миллионов лет - на 450 километров! Здесь расстилалась широкая сухая равнина (возможно, с небольшим валом посреди, на стыке!), покрытая красными песками и солеными пересыхающими озерами (корочки гипса из отложений этой равнины часто попадают в обрывах хребта Петра Первого).

На все это надвигались с юга гряды хребтов. И последним вырос прямо посреди широкой Таджикской депрессии Соленый хребет, образованный смятой толщей осадочных пород Передовой (опять военно-стратегический термин) зоны Памиро-Куньлуня.

Прямо около базы экспедиции река Сурхоб сжата между, огромным кукишем докембрийских гнейсов Гиссара - горой со странным названием Мандолюль - и осыпающимся красным левым берегом, где отроги хребта Петра Первого сыплются в воду. Здесь почти уже совсем нет известняков и песчаников северного, азиатского берега древнего океана Тетис. Только в одном месте, на южном берегу, под нависающими обрывами предгорий Соленого хребта вдруг привлекает внимание причудливо перемятая чешуйчатая поверхность. "Живой" разлом! Поверхность из знакомых по "как будто Крыму" сланцев. Поздний мел. И прямо сверху на этот кусочек косо надвинулись с юга чуждые, сочные красные песчаники - раннемеловые!

Более древние слои легли сверху на более молодые. Такой переверот геологической хронологии, ставивший в тупик многих исследователей, был прослежен во многих местах на огромном протяжении великого разлома, надрезающего южный борт грандиозной, вытянутой по широте долины Сурхоба - Кызылсу.



*Река Обихингоу вблизи места слияния с Сурхобом, отчего образуется Вахш (который в свою очередь потом образует Амударью). Террасы по берегам горных рек служат географам для проникновения в прошлое и будущее. Как поднимался тот или иной участок горной страны, сколько было затиший в горообразовании, сильнее или слабее идет этот процесс со временем - обо всем этом рассказывают страницы "книги" четвертичного периода - террасы и речные отложения.*

Я видел этот живой разлом с воздуха. Аккуратной ниточкой он бежит на сотни километров, обрубая отроги роскошных гор, перепрыгивая, подпороживая реки, ныряя под селевые конусы и выныривая неизменно снова. Как доказал И. Е. Губин, разлом этот надвиговый, он так и назван - Вахшский надвиг. Кое-где он взбирается на высоту.

Вахшский надвиг... Это не просто еще какая-то одна строчка геологической номенклатуры. За этим названием - острота и напряженность отшумевших в свое время дискуссий. Вахшский надвиг, так же как он разделяет тектонической "линией фронта" Памир и Тянь-Шань, разделил в свое время армию тектонистов, изучавших эти места в течение последних тридцати лет.

Одни специалисты видели надвиг, другие не видели, и похоже, что порой это видение или невидение определялось общей позицией автора, его принадлежностью к той или иной школе. "...Некоторые исследователи, отрицающие Вахшский надвиг... исходили не из фактических полевых материалов, а из общих представлений о невозможности горизонтальных движений", - пишет И. Е. Губин. Острота дискуссии к середине 50-х годов приняла такой характер, что президиум Академии наук Таджикской ССР решил специально направить на северный склон хребта Петра Первого бригаду видных геологов, чтобы они разобрались наконец, есть надвиг (а значит, возможны ли пологие надвиги в природе) или нет его. Эта уникальная в истории геологии комиссия летом 1955 года дважды пересекала хребет (дело непростое!), осмотрела места, где древние породы лежали на молодых, и пришла к единодушному мнению: надвиг есть.

Много позже, когда утвердились в сейсмологии способы определения современной динамики движений в очагах землетрясений, оказалось, что надвиг как форма движения вообще господствует в обширной горной стране. Это "самый сильный" тип движения. Так окончательно подтвердилась геологическая интуиция Рубина.

Один мой знакомый геолог говорил, что в его науке часто оказывается прав не тот, у кого больше фактов, а тот, кто говорит больше, дольше и в лучшем литературном стиле. И это, пожалуй, в каком-то смысле так и есть. Иначе трудно объяснить, почему одни ученые в этой науке часто утверждают одно, другие - другое, основываясь на одном и том же материале.

Мне кажется, что редкостный случай, когда для решения спора понадобилось отправлять специальную комиссию в поле, к предмету спора, должен стать примером для подражания. Истина рождается в споре, но не от длительности спора, а в результате его.

Сейсмологи по-разному относятся к геологии: иногда посмеиваются над геологическими спорами, упрекают "за гуманитарность", "нефизичность" (забывая, что порой над ними так же посмеиваются деятели настоящей физики - акустики, "твердотельщики"), иногда принимают в этих спорах ту или иную сторону. Но обойтись без геологии сейсмология не может, ибо сейсмология имеет дело с геологическим пространством-временем, резко отличным от всего, к чему физики привыкли в своей экспериментальной и теоретической работе.

А теперь, после небольшой экскурсии в это пространственно-временное облако, прочерченное грозвыми молниями научных схваток, снова в гущу сейсмологической жизни, с корабля на бал, на уже упомянутый выше Ташкентский симпозиум по поискам предвестников землетрясений.

## Как мобилисты Японию утопили

В некотором царстве, в некотором государстве, а именно в Японии, жили-были злые мобилисты. Мало того, что они на, весь мир крик подняли про сказочные перемещения материков и даже написали популярную книгу о том, "движутся ли, материки", которую другие, не менее злобные, люди издали на русском языке. (Такеучи, Уэда и др. *Движутся ли материки?* Москва, "Мир", 1970) Один из них еще и сценарий фантастического фильма сочинил (где сейсмолог Такеучи является действующим лицом), в котором свою многострадальную родину, всю без остатка, запихнул в мантию, а бедных, лишенных родины соотечественников разбросал по белу свету...

...Всю весну 1974 года Средняя Азия нежилась в неслыханной прохладе и пышно зеленела под теплыми дождями. И только в конце мая солнце остервенело накинулось на улицы Ташкента, испепеляя траву, обжигая и обессиливая съезжавшихся в город гостей. По странному и не совсем удобному (в отношении гостиниц и ресторанов) совпадению в городе происходило два выдающихся события разом: кинофестиваль стран Азии и Африки и Международный симпозиум по поискам предвестников землетрясений. Мы, сотрудники Гармской экспедиции, были участниками второго из этих мероприятий и, признаться, временами жалели, что жизнь в виде яркой многоязычной афро-азиатской толпы и заманчивых фильмов, которые еще неизвестно, увидим ли когда, проходит мимо. А мы до рези в глазах сидели в темном зале, где на белом экране вместо красочных зрелищ перед нами разворачивались важные, но порой однообразные и даже иногда скучные кривые, формулы и графики. Про симпозиум и проблему прогноза я рассказывал в других главах. Здесь же еще раз хочу упомянуть о событии, на котором скрестились на момент интересы как сейсмологов, так и участников кинофестиваля. Японские кинематографисты привезли фантастический фильм "Гибель Японии".

На экране в необыкновенно ярких, динамичных кадрах Япония действительно гибла. Залитая огнем вулканов, разрушенная величайшими землетрясениями. Необыкновенно волнующими были кадры, показывающие гибель многомиллионного, многоэтажного современного Токио от сильнейшего землетрясения. Как это сделано, не берусь судить, но полное впечатление, что видишь документальную съемку истинных событий.

Ну а в конце концов Япония сначала постепенно, отдельными островами, а затем и целиком заглатывается глубоководным Японским желобом и по законам плитотектоники (так, как их понимал в момент создания фильма профессор Такеучи) уходит вниз, в мантию, вместе с лесами, полями, уцелевшими храмами и дворцами...

В фильме очень популярно и красочно излагаются основы тектоники плит, новейшего мобилизма. И на первый взгляд в описанном там механизме гибели Японии как будто нет подвоха. "Да, пожалуй, такое может быть, только не так быстро", - говорили те, кто уже давно примкнул к мобилистам. Ну а фиксисты, те, конечно, вовсю потешались: "Вот до чего доводит мобилизм! Опомнитесь, люди!"

Вот какой примерно ход событий, по мысли сценариста, приводит к катастрофе. В районе Японии, как и всех прочих островных дуг, дно океана движется по направлению к материку. По некоей линии, фронту, движущаяся плита встречается с неподвижной, например, плитой, несущей на себе шельфовое, окраинное море. Разойтись плиты могут, только если одна из них (практически это всегда подходящая, океаническая плита) ныряет под другую. Линией такого фронта, перегиба плиты, является глубоководный океанический желоб (такие желоба опоясывают, например, Тихий океан). Нырнувшая плита по какой-то причине (по какой, об этом чуть ниже) не разваливается, не заталкивается под нижнюю поверхность встречной, а в виде длинного языка наклонно спускается в мантию до глубины порой 700 километров (длина такого языка часто превышает тысячу километров).

В каком-то смысле Такеучи безусловно прав: глубоководные желоба - это мрачные бездны, отмечающие поворот вниз и гибель тысяч километров земной коры. Это - как поворот ленты транспортера в чрево опасной машины. И поневоле возникает вопрос: а островные дуги, которые так близко от желобов, не могут ли они в результате какой-то неполадки скатиться в эти засасывающие бездны? По фильму, это происходит из-за перестройки конвективных ячеек подкорковых течений планеты. Где-то в центре Тихого океана непомерно большая Тихоокеанская плита-транспортер ломается, и надвигающаяся ее часть начинает "раньше времени" поворачивать вниз. Там, где такое происходит (а такая перестройка может быть в реальности), возникает новая островная дуга.

Но тот последний участок ленты транспортера, который только что двигался к Азии, внезапно останавливается, лишенный опоры сзади. По мысли Такеучи, контакт "островная дуга - поддвигающаяся плита" - это напряженная система, равновесие которой обеспечивается постоянным напором подходящей плиты и сопротивлением фронта островной дуги. Как только плита вяло останавливается, лишенная импульса, вперед начинает двигаться до тех пор сжатая, как пружина, литосферная лента, примыкающая к Азии. Ленты меняются местами! И как это принято в плитотектонике, движущаяся лента (с нашлепкой - Японией на переднем конце) засасывается в тот самый желоб, под ленту, ставшую неподвижной и, по-видимому, разорвавшейся в месте изгиба.

Внизу, в мантии, оказываются два языка погруженных плит, встречно наклонных. Красивая идея? Да, хотя и несколько угрожающая. Ведь если она "работает" в реальности, ни один остров, ни один край континента не гарантирован от затопления...

## Глубокие землетрясения в центре материка

Александр Петрович Орлов, который был одним из зачинателей сейсмологии в России прошлого века, считал, что свободная земная поверхность в силу самого факта своего существования служит источником мощной "потенциальной напряженности", готовой проявиться в виде землетрясений в подходящий момент. Эта глубокая философская идея основана на верном представлении замечательного русского географа о дневной поверхности как об арене мощного диалектического противоборства двух сил: внутренней силы Земли, стремящейся "испортить" правильную земную фигуру, заполнить хаотическими наростами все окружающее планету пространство, и противоположно направленными силами тяготения и эрозии, стремящимися превратить планету в идеальную круглую каплю.

В те времена еще не знали о глубоких, то есть удаленных от "арены противоборства", землетрясениях, существование которых на первый взгляд противоречит стройной картине, воображенной Орловым...

В 1922 году оксфордский ученый Тернер, редактируя международную сводку о принятых сейсмостанциями мира волнах от сильных тихоокеанских землетрясений, обнаружил для некоторых толчков странные несоответствия, неувязки во времени прихода сигнала на разные сейсмостанции. Неувязки эти можно было объяснить, только допустив существование очень глубоких землетрясений.

Еще недавно сам факт (ирония судьбы!) существования глубоких землетрясений был одним из сильнейших и неотразимых аргументов геофизиков против теории дрейфа континентов. Ну конечно, ведь если там есть землетрясения, значит, Земля до 700 километров такая же хрупкая "на излом", как и с поверхности, значит, нет пластичных слоев под корой, значит, не по чему плыть континентам! Увеличить толщину плывущих блоков до 700 километров не решался ни один даже самый смелый мобилист, а как выпутаться из положения, никто не знал.

В 40-х годах советский ученый А. Н. Заварицкий заметил, что землетрясения с глубиной как бы уходят из-под океана под континент. В 1954 году появляется в авторитетнейшем американском журнале статья знаменитого сейсмолога Хуго Бениоффа, который провел поистине колоссальную работу по выявлению пространственной структуры "фокальных зон" глубоких землетрясений (фокус землетрясения - это то же, что гипоцентр, и близко совпадает с понятием "местоположение очага землетрясения"). Открывалась странная и удивительная картина строгой упорядоченности: гипоцентры, излучающие сейсмическую энергию, не расплывались в произвольные пятна и облака, а вытягивались, будто по шеренге, по наклонным (под 30, 45, 60 градусов) поверхностям, погружающимся в недра Земли. Фокальным поверхностям...

Тогда, в 40-50-х годах, конечно, никому и в голову не могло прийти, что фокальные поверхности отмечают в мантии разрушение затонувших литосферных плит. Геологам ничего не оставалось, как объявить "зоны Заварицкого - Бениоффа" сверхглубинными разломами в твердокристаллической мантии. Самые упорные из оставшихся "горизонталистов" осмеливались лишь слегка шевелить чудовищной толщины блоками по наклонным поверхностям "разломов", подчеркивая надвиговый характер контакта. Вертикалисты же, конечно, видели в разломах торжество вертикальной составляющей

таких движений. Уже в разгар "глубинно-разломного" толкования фокальных зон нашлись мобилисты, смело предположившие, что фокальные зоны - это сейсмическое, шумовое проявление движения в мантии Земли завернувшей туда океанической земной коры.

В конце 60-х годов, получив в результате массивных работ по международным проектам Международного геофизического года и Верхней мантии колоссальные по объему материалы глубинного сейсмического зондирования земной коры и мантии, ученые вдруг увидели картину во всей ее новой сложности и в то же время гениальной простоте. Они увидели, что твердая кристаллическая внешняя земная оболочка не обрывается грубо на поверхности Мохоровичича (нижняя граница земной коры), а продолжается с нарастающей плотностью до глубин 80-110 километров. Литосферная плита... Дальше, под литосферой, анализ сейсмических данных показал понижение скоростей сейсмических волн, обнаружился пластичный, возможно, частично расплавленный слой - астеносфера. Она была менее плотная, чем океаническая литосфера в целом, а стало быть, литосфера могла тонуть в ней! А прежде чем потонуть, могла и плыть по пластичной астеносфере, ибо там, где зарождается новая литосфера (у океанических срединных рифтовых структур), она легче астеносферы и лишь потом, вдали от рифта, остывая и меняя химический состав, становится тяжелее подстилающего слоя и готова повернуть вниз, нашелся бы повод - препятствие.

Глубокие землетрясения, отмечающие путь погружающихся плит, являются яркой характерной чертой окружения Тихого океана и только в двух местах Земли, нарушая все правила, проявляют себя и под континентами. Это маленький "пятачок" под Южными Карпатами, на территории Румынии (медленные ощутимые качания от этих мощных низкочастотных землетрясений время от времени доходят и до Москвы, например в 1802, 1940 и в 1977 годах), и гораздо более внушительная зона под Памиро-Гиндукушем.

Уже давно работами нашей экспедиции установлено, что эта длинная зона наклонно (правда, под очень крутыми углами) уходит в недра Земли на глубину до 300 километров. Сейсмолог из Душанбе А. Маламуд, воспользовавшись методикой Бениоффа, попытался реконструировать всю механику фокальных зон Памиро-Гиндукуша. Картина, полученная им, была поразительной. Под районом нащупывались две плиты. Тесно прижатые друг к другу боками, они были наклонены встречно. Одна, западная, часть зоны загибалась наверху к Индии, другая, восточная, - к Азии! Вскоре сейсмологи, нашей экспедиции Л. Винник и А. Лукк обнаружили в мантии почти вертикально поставленный блок, через который с повышенной скоростью проходили сейсмические волны от далеких землетрясений Индийского и Тихого океанов. Все вроде сходилось. И вот сначала в местном, душанбинском журнале, а затем и в Москве вышли научные статьи: в центре континента идет погружение, встречное не то засасывание, не то заталкивание в мантию не океанической, как к этому уже привыкли, а континентальной литосферы. В одном из популярных журналов идея была изложена в таких словах: "Представьте себе, что лента эскалатора разорвалась вдоль и продолжает двигаться одной своей половинкой, как ей и положено, под пол метра, а другой, корбясь и топорщась, наползает на него. В метро такой случай был бы тяжелой аварией, но природные эскалаторы выключить некому. Такое взаимное наползание происходит в нашем районе и южнее, вблизи советско-афганской границы. Нырнувшие одна под другую плиты не исчезли бесследно, до глубины в триста километров они "потрескивают", протискиваясь в сжатых чудовищным давлением недрах... Там, под Памиром, движутся вниз и еще сохраняют самостоятельность ступеньки природных "эскалаторов", бывшие земной поверхностью и несшие на себе реки, озера, моря, древние растения и животных".

## Остановиться и подумать!

Реконструкции ныряющих под Памир плит остроумны, они останутся в истории науки. Но все ли так просто и стоит ли так легко отказываться от многолетней геологической традиции, считающей (и не без основания!) район Памира районом не нисходящих, а восходящих движений? Это величайшая в мире горная страна (после Гималаев). В океанах места погружения плит отмечены глубочайшими на Земле впадинами-желобами, чуть ли не насквозь продырявливающими кору. Бесполезно искать что-то подобное на карте Памира, Южнее хребта Гиндукуш и севернее Дарвазского хребта, там, где в

классическом случае пододвигания плит должны быть желоба, нет глубоких рвов, разве что высокогорная Алайская долина, где проходит великий разлом. Но Алайская долина, которая по смыслу должна опускаться, по данным геодезистов и геологов, поднимается вместе со всей горной страной.

И самый главный аргумент. Везде, где встречаются две плиты, погружается та из них, которая является океанической. Эта плита тяжелая, на 80 процентов состоящая из мантийного вещества. К моменту столкновения она так меняет свой состав (заложенный при ее рождении вблизи срединно-океанической структуры), что становится тяжелее подстилающей ее астеносферы на несколько процентов! Она тонет. И именно поэтому же не может быть никакой силой затолкнута в астеносферу гораздо более толстая, легкая, "гранитизированная" плита континента. Она во всей своей толщине в среднем легче астеносферы.

Как писали видные плитотектонисты Дж. Дьюи и Дж. Берд, "континенты участвуют в движении плит как пассивные пассажиры на поверхности плит; в то же время: они накладывают существенное ограничение на движение плит, поскольку из-за своей относительной легкости и плавучести они не могут сколько-нибудь заметно поглощаться мантией". Иначе говоря, пододвигание возможно, пока континент с континентом не соприкоснутся непосредственно. Тогда - коробление, торшение, горо- и складкообразование на стыке, но не пододвигание, или, как выражаются плитотектонисты, не субдукция!

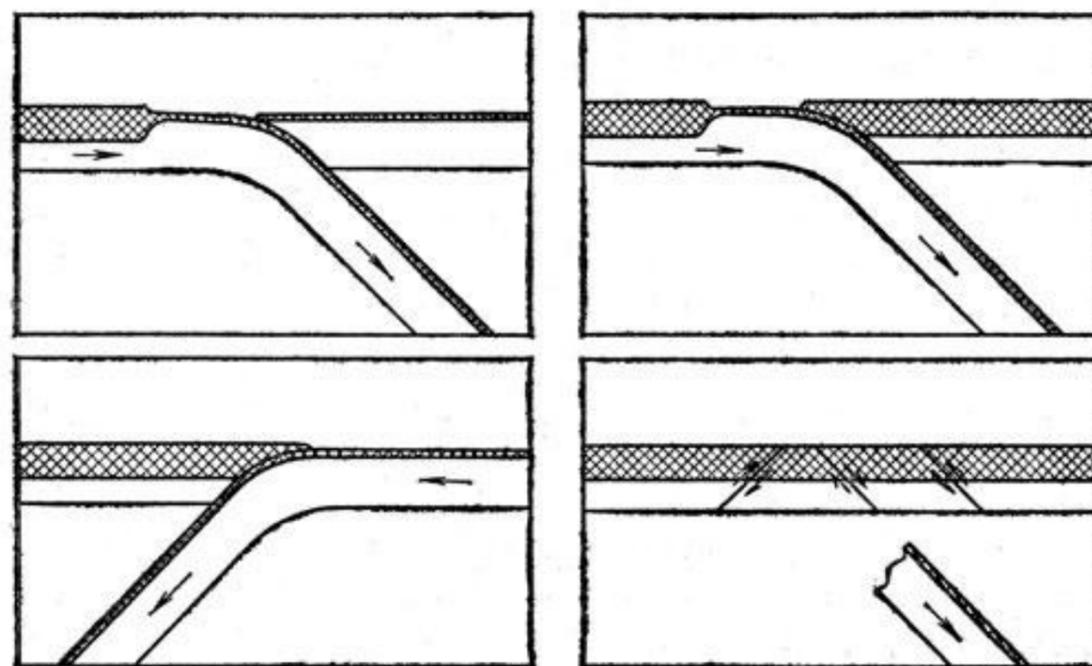


Рис. 9. Может ли утонуть Япония? Гиндукушский хребет? Превращения в мире погружающихся плит. Вверху слева: одна океаническая плита ныряет под другую. Первая приносит на себе материк или его островную окраину. В этом случае погружение первой плиты прекращается, но сближение плит продолжается, и вот в роли 'ныряющей' уже вторая плита (слева внизу). Но вот и она приносит на себе континент (справа вверху). Два континента сталкиваются. Поскольку погружаемая океаническая плита тяжелее астеносферы - пластичной мантии, то она отрывается от континента и тонет

*безвозвратно в мантии Земли (справа внизу). Окраины континентов взаимодействуют без 'субдукции', как толстые льдины, 'торосясь' по краям глыбами гор. Ни островная дуга Японии, ни окраина континента утонуть в мантии не может*

Так что фантазия профессора Такеучи, затолкавшего в мантию свою родную страну, останется интересной фантазией, и только. На рис. 9 показано, как ведут себя, по представлениям плитотектонистов, столкнувшиеся плиты. Океаническая может уйти под океаническую. Океаническая же может уйти и под континент. Но когда вслед за своим океаническим авангардом подплывает к окраине материка, закрывая океан, другой материк (о том, как это было на древних берегах Азии, я рассказывал выше), они начинают контактировать и коробиться краями по своим законам. А затонувшая целиком океаническая плита должна, по-видимому, отломившись от "своего" материка, утонуть в мантии навсегда. Так, видимо, утонули и рассосались в мантии плиты океана Тетис вдоль всего нынешнего Альпийского складчатого пояса - от Альп до Гималаев, кроме двух мест, где они почему-то сохранились в виде реликтов, - под Карпатами и Памиро-Гиндукушем.

Итак, плита под Памиро-Гиндукушем - это погруженное дно океана Тетис, а не затонувшие окраины континентов! Именно здесь Индия, подходя, закрыла 30 миллионов лет назад последнее окраинное море этого океана.

Но если это именно такая, реликтовая океаническая плита, то почему она не исчезла, не утонула в мантии, как другие, не оторвалась хотя бы от поверхности? Судя по расположению эпицентров глубоких землетрясений в районе Памира, эта плита, как бревно-топляк, плотно примыкает снизу к толстой континентальной литосфере, она как будто даже внедрена в нее, зажата верхним своим концом в челюстях сошедшихся краев древних континентов Гондваны и Лавразии.

Но нет, никакие челюсти не удержат плиту, если она тяжелее астеносферы. Миллиарды тонн ее веса увлекут ее вниз, легко разорвав верхнюю перемычку.

И вот мы, несколько сотрудников Гармской экспедиции, предположили, что бревно-плита под Памиром все же легче среды - астеносферы, что "бревно" это держится в ней на плаву и даже всплывает все больше, приподнимая над собой Крышу мира, вмешиваясь вертикальной, прямо-таки фиксистой силой в чисто мобилистский, плитотектонический характер горообразования на месте столкновения материков. Конечно, одних общих геологических доводов мало для такого предположения. Что же подтолкнуло нас к такому повороту?

## Снова сдвиг и взрыв

Это странное явление заметили, когда начались усиленные работы сейсмологов по программе обнаружения подземных ядерных взрывов. Обычно такие взрывы резко отличались по своему механизму от обычных, тектонических землетрясений. Во все стороны от такого толчка шли импульсы сжатия (все сейсмоприемники в первый момент испытывают качание от взрывного источника сейсмической энергии), в то время как от тектонического землетрясения примерно половина вступлений отрицательные. Надежды, пробужденные в ученых этим резким различием (открывался путь для стопроцентного опознавания, а значит, и для запрещения подземных ядерных взрывов), скоро поутихли, когда стали анализировать данные о не очень сильных подземных взрывах (их-то труднее всего обнаружить и опознать). От некоторых из этих взрывов приходили не только положительные, но и отрицательные первые вступления. При этом распределение плюсов и минусов на сейсмограммах сети станций иногда позволяло сейсмологам распознавать в записях взрывов обычный тектонический механизм-надвиг, горизонтальный сдвиг и т. д. Были подобные записи от некоторых французских ядерных взрывов в Сахаре и от американских - на Алеутских островах.

Ученые заподозрили, что в процессе взрыва в какой-то мере участвуют и тектонические силы, для которых взрыв оказывается чем-то вроде "спускового механизма". Потом пытались выяснить, за какую же часть общей энергии сейсмического толчка можно взвалить ответственность на "эффект возбужденной тектоники" (так мгновенно назвали это явление). Оказалось, самое большое процентов за сорок. Выходило, основной источник энергии - не сдвиговый, не тектонический, а механизмы землетрясений рисуют нам сдвиговую, тектоническую картину, да еще такую, какая наиболее вероятна в этом районе по геологическим условиям.

Эффект возбужденной тектоники... О нем мы говорили в главе "Соленый хребет". Напряжения, вызывающие землетрясения, копятя долго. И иногда, чтобы вызвать это готовящееся землетрясение раньше, чем оно созрело, достаточно просто подкачать воды в геологическую структуру. Возрастет поровое давление, "эффект смазки" уменьшит монолитность массива, и вот происходит землетрясение - тоже своего рода эффект возбужденной тектоники...

И тут возникает вопрос: а есть ли уверенность, что верна на сто процентов сдвиговая модель очага? То есть какую-то часть реальности она, конечно, отражает, но какую именно - сорок, шестьдесят процентов? И тогда в разных местах соотношение этой сдвиговой, тектонической, и несдвиговой компоненты (назовем ее "фактором X") может быть разным при абсолютно одинаковой сдвиговой внешности их всех...

Маскарад в мире сейсмостектоники... И чаще всего вопрос о несдвиговой модели очага возникает в связи с проблемой глубоких, мантийных землетрясений, механизмы которых ведут себя зачастую крайне загадочно и необъяснимо, с нашей "поверхностной" точки зрения.

Вот что писали об этом видные сейсмологи Б. Айзеке, Дж. Оливер и Л. Сайке:

"У островных дуг, где холодный экзотический материал погружается в мантию, природа ставит эксперимент, показывающий, как ведут себя нормальные близповерхностные материалы при высоких температурах и давлениях, действующих в астеносфере".

## Пространство сейсмостектоники

Когда физика обращалась к странному миру микрокосма, а астрофизики еще оставались в старом, ньютоновском пространстве, надо было обладать яркой нетривиальностью, вплоть до чудачества в глазах даже близких коллег, чтобы подобно Лобачевскому и Риману заговорить о метрике иных, искривленных пространств и подобно Эйнштейну увидеть черты неньютоновской механики и неевклидовых геометрий в реальном мире.

Биологам и геологам, возможно, порой очень не хватает той пространственной раскованности, какую позволили себе физики и математики. Межатомные, межмолекулярные силы, может быть, не просто создают причудливые кристаллы и странной пространственной конфигурации большие молекулы, которые обеспечивают жизненные процессы. Эти силы по-своему перекаивают, перестраивают пространство в своих масштабах. И может быть, на этом фундаментальном допущении будет построена "обобщенная кристаллография", о которой грезил Джон Бернал, наднаука, объединяющая биологию и кристаллографию, наука, которая объяснит наконец геологический феномен возникновения жизни на пустой Земле. Ведь теория вероятностей дает нулевой шанс на случайное создание одной, первой молекулы ДНК, с которой могло бы все начаться. Тогда найдут объяснение и многие другие загадки эволюционного прогресса, которые нельзя объяснить простым действием естественного отбора.

На пространственной ограниченности мы вдруг ловили себя, когда силились понять, откуда по окраине Тихого океана, этой цитадели мобилизма, столько глубоких землетрясений с необычными для всего остального мира типами механизмов. Тип "б<sub>1</sub>". По меньшей мере наполовину этот тип означает вертикальный сброс, вертикальное движение по вертикальной поверхности разрыва. А ведь в мелких коровых землетрясениях этого типа почти нет! Почему в Тихом океане так, а в фокальной зоне Памиро-Гиндукуша иначе? В диаграмме типов подвижек, идущих в очагах глубоких землетрясений Памира, главное место занимает тип "в", чистый надвиг - тот же, что и в поверхностных землетрясениях. Пока однажды не пришло в голову: все дело в координатах, в системе отсчета. Верхние коровые землетрясения идут вблизи свободной поверхности Земли, они происходят, как говорят физики, в "полупространстве", ограниченном, срезанном сверху земной поверхностью. Вся многолетняя практика географии, а затем и геологии приучила ученых все отсчеты производить от горизонтальной поверхности. Именно относительно этой поверхности все типы геологического движения в очагах землетрясения становятся сбросом, надвигом, сдвигом и т. д. Правильно ли с той же (географической по сути) системой отсчета подходить к глубоким недрам - триста, шестьсот километров от поверхности?

Конечно, в некоторых случаях пространство и там сохраняет черты сходства с нашим, географическим. И там есть верх и низ, поскольку не отменяется сила тяжести. И там есть поверхность равного давления, параллельная дневной поверхности. Но гравитация играет там неизмеримо меньшую роль: ведь и аквалангист не чувствует своего веса в воде, и порой лишь всплывающие пузыри подсказывают ему, где верх, а где низ.

В каком же пространстве идут глубокие землетрясения? Что принять там за поверхность отсчета?

И такая поверхность есть в зонах глубоких землетрясений. Это - сама наклонная плоскость повернувшей в мантию литосферы. Привязавшись к этой плоскости, мы получаем новую "горизонталь", от которой можно по привычной схеме строить все углы. Остается, правда, решить еще, от какого направления на этой плоскости отсчитывать новый азимут. У нас азимут отсчитывался по часовой стрелке от линии перегиба плиты, поворота из горизонтального положения в наклонное, то есть от истинного протяжения в этом месте островной дуги, или (если речь идет о Памиро-Гиндукуше) от самой осевой линии вытянутой с запада-юго-запада на восток-северо-восток полосы эпицентров глубоких землетрясений. Причем за 90 градусов на этом циферблате было принято то направление, откуда плита движется, за 270 - куда она погружается (если считать, что она действительно погружается).

Пришлось вспомнить тригонометрию и выводить формулы пересчета механизмов землетрясений в новое конкретное пространство погруженной плиты, и потом был месяц кропотливого, как сказал бы раньше про кого-нибудь, а на самом деле весьма нудного труда.

Было пересчитано почти полтора десятка землетрясений. Сто японских глубоких землетрясений и 49 наших, памиро-гиндукушских. Только после этого можно было заняться сравнением и размышлениями.

## Бомбы в мантии

Что же увидели мы, когда перед нами развернулось в цифрах черное, относительно холодное (литосферная плита, погруженная в мантию, намного холоднее окружающей среды) пространство литосферы, попавшей в плен к Плутону? Мы увидели, что плиты японских островных дуг сдавлены вдоль оси своего падения на всем своем прослеживаемом по глубоким землетрясениям протяжении. Ибо и в верхних частях погруженной, например, под Японское море плиты, и в нижних, обрывающихся на бездонной глубине где-то уже под уссурийской тайгой, господствовало сжатие, направленное по оси этого падения. Выходило, что японские плиты тонут не совсем охотно, сила подступающей сзади, от центра Тихого океана, литосферы буквально заталкивает плиту, и она движется быстрее, чем это было бы только под действием ее собственного веса.

При пересчете мы увидели, что там, в японских плитах, набор типов геологических подвижек оказался не странным и не обычным, как прежде, а стандартным набором любой альпийской складчатой зоны, и выходило, что эти плиты - что-то вроде тех же Альп или Кавказа, только они "сделаны" из океанической литосферы и повернуты набекрень. Странный тип "б" почти весь перешел в надвиг, то есть в тип "в".

Один из основателей и ярых приверженцев плитотектоники - Питер Мольнар (который на вопрос о том, чем он занимается в свободное от работы время, отвечал: "Тектоникой плит" - и который тем не менее был не прочь с азартом сыграть в наш гармский малый футбол) до приезда в Гарм очень много занимался тонущими плитами Тихого океана. Этот молодой американец одним из первых установил, что сдавливание такой плиты по продольной оси, то есть заталкивание ее, - дело вовсе не обязательное. Землетрясения промежуточной глубины (до 300 километров) сплошь да рядом показывают растяжение по оси (например, буквально тонущие, растягивающиеся при этом плиты Центральной и Южной Америки). Он показал и еще одну странную вещь. Некоторые плиты по пути своего падения в мантию то сжаты (плита "заталкивается"), то без всякого перехода как будто растянуты (плита "тонет" сама). "Тонет", "заталкивается" - это условные, конечно, обозначения; что там в самом деле происходит, неизвестно. Самое удивительное, что тонущая плита иногда как бы рвется пополам. В оторванном и далеко ушедшем вниз нижнем обломке плиты продолжают сильные землетрясения. Причем сжатие в таком обломке, оказывается, идет по типу "заталкивания" - по падению куска плиты.

- Но почему? Ведь ее ничто уже не толкает, - спросил я Питера (дело было у нас на веранде, где мы отпаивали его зеленым чаем после очередного футбола).

- Это. Очень. Трудно, - с удовольствием проговорил Питер простую русскую фразу. - Мы не знаем.

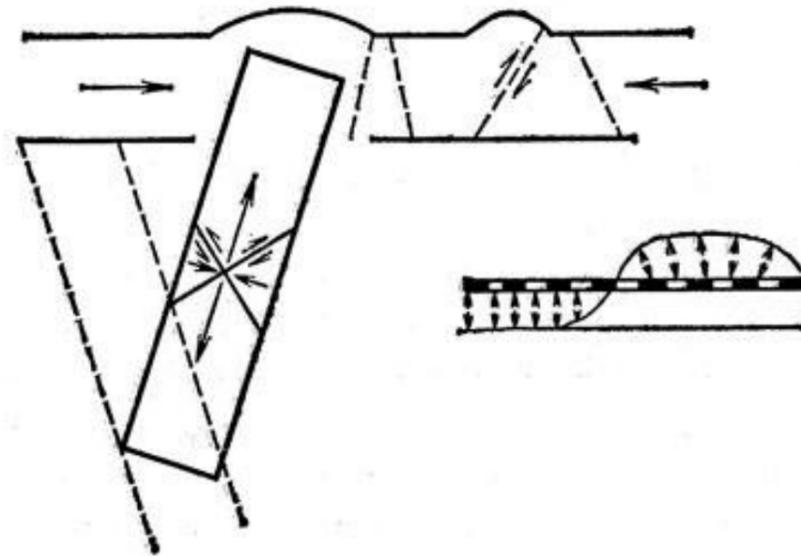
И я подумал, что мы действительно этого не знаем и еще, может быть, долго не узнаем. Но странное и произвольное поведение плит при их погружении вниз (то сжатие по падению, то растяжение) может быть еще одним указанием на то, что сдвиговая маска глубинных землетрясений - это только маска. Она действительно говорит об условиях движения плиты: вот чуть посвободнее - и она как будто растягивается, вот чуть замедлилось погружение - и стрелки сжатия с ходу меняются местами со стрелками растяжения. Но сами землетрясения, непрерывно "стукающие" на всем протяжении плиты, вызваны иной причиной, энергия этих толчков другого происхождения... А сдвиговая маска накладывается, как эффект возбужденной тектоники накладывается на подземные ядерные взрывы. Тогда выходит, что погружающиеся плиты - как бомбы, только вместо взрывчатки они начинены энергией резкого, взрывоподобного разуплотнения (при попадании в менее плотную среду) и не менее резкого схлопывания (взрыва наоборот) при раздавливании плиты в более глубоких и плотных слоях мантии. Но постепенно эта энергия иссякает, плита дробится все более основательно, уравнивается в плотности и температуре с окружающей средой. И тогда она "замолкает", толчки в ней прекращаются (на глубине около 700 километров). Дальше она уже мирно, без толчков усваивается мантией полностью.

## Подпорка крыши

Каким же предстало перед нами пространство плиты, круто уходящей вниз, под Крышу мира? Даже чисто формальные таблицы с первого взгляда обнаруживали, что под Памиром идет процесс, прямо противоположный тому, что показали механизмы землетрясений Японии.

Плита (или плиты, если их две) растягивалась по длине. А сжата она была поперек, как лента между рольгангами прокатного стана. Можно было рассуждать так.

1. Допустим, плита тонет от собственного веса, как тонут плиты под Южными Кордильерами. Тонуть может только океаническая плита: она действительно может быть тяжелее астеносферы. Если плита под Памиром - реликт прошлого, значит, она оторвалась от поверхностной литосферы 30 миллионов лет назад (по-видимому, тогда сошлись Индия и Азия). Раз она тонет (а скорость такого погружения плит ученые определяют не менее чем в один сантиметр в год), то ее верхний конец должен отстоять от поверхности Земли не менее чем на 300 километров! А она вся не более 300 километров, и никакого зазора между коровыми землетрясениями и глубокими ученые не усматривают.



*Рис. 10. Памиро-Гиндукушский узел. Справа, на маленькой схеме, толстой прямой проведена проекция на поверхность самой глубокой части зоны глубокофокусных землетрясений, тонкой линией - изгиб той же зоны на глубине 100 километров. Прямая тонкая линия - предполагаемое первоначальное положение верхней части погруженной плиты на востоке. Стрелками показано современное растяжение по падению плиты, проявляющееся в механизмах землетрясений. Слева - схематический разрез по меридиану восточной части структуры. Древняя реликтовая океаническая плита в настоящее время не погружается, может быть, даже всплывает, добавляя вертикальную подъемную силу в тектонику 'крыши мира'. Прерывистая линия слева - предполагаемое первоначальное положение погружающейся в прошлое плиты океана Тетис. Плиту за верхний конец сдвинула на север давящая с юга материковая плита Индии. Прерывистой линией вверху обозначены широтные разломы северной части Памира. Горизонтальные стрелки - сжатие приблизительно по меридиану всей горной страны*

2. Допустим, что плита там все-таки сухопутного, континентального происхождения. Подойдя друг к другу 30 миллионов лет назад, Индия и Азия пустили вниз встречные языки континентальной литосферы, затолкнули их на глубину, несмотря на то что литосферная континентальная плита легче мантии. (При таком заталкивании сила сжатия должна быть направлена по ходу движения.) Сейчас это насильственное заталкивание (вещь вообще-то весьма сомнительная) прекратилось. И легкая литосфера, загнанная против силы Архимеда в мантию, пошла назад, вспять. Причем быстрее всего идут назад верхние части плиты, недавно погруженные в мантию, а нижние, уже успевшие частично уплотниться, отстают, отсюда - растягивающее плиту напряжение.

Оба этих варианта не выдержат вдумчивой критики. В первом остается зиять проблема зазора, которого нет между поверхностью и погруженной плитой. Во втором абсолютно нереальным выглядит механизм заталкивания легкой континентальной плиты в тяжелую плотную мантию. К тому же, допустим, континентальная литосфера действительно ушла вниз на 300 километров. Но перед ней должна была идти, погружаясь, все та же древняя океаническая плита. Ничто не мешало ей продолжать опускаться в мантию и проявлять себя по пути глубокими землетрясениями!

И все же в обоих вариантах есть и привлекательные моменты. Из них-то попробуем составить третий, промежуточный вариант.

Погруженная плита, конечно, может быть только океанической. Но она почему-то не тонет, а даже, видимо, всплывает. Если плиты всплывают, многое объясняется. Например, то, почему азиатский и индийский разорванные вдоль эскалаторы, повернув вниз в разных местах (западный - на юге, восточный - на севере), под районом Памиро-Гиндукуша "встречаются" на глубине, склеиваются боками, превращаясь в единую широкую эскалаторную ленту, единую структуру. Такая "встреча" в глубинах мантии азиатской и индийской лент абсолютно невероятна. Если же представить себе, что лента, изначально единая на глубине, повернувшись вверху вдоль, причем восточная ее часть перегибается давящей с юга, от Индии, горизонтальной силой на север, многое становится понятным: например, то, почему на западе под прикрытием плиты, всплывающей вверх и на юг, быстро гаснут скорости горизонтальных движений, выявленных геологами, и рядом с великой горной страной существует огромная Таджикская впадина. А на востоке, где сломанная, перегнутая на север часть плиты уже не мешает движению каменных масс с юга, от Индии, происходит как бы прорыв плотины: горизонтальные скорости в литосфере сохраняются очень высокими, и влияние этого движения геологи находят даже за пределами Памира, далеко на севере, в Тянь-Шане. Если бы азиатская плита двигалась здесь под индийскую, картина была бы прямо противоположной.

Да, похоже, что это самая правдоподобная модель... Вот только как может всплывать океаническая плита, если она тяжелее астеносферы?

Мы много и с переменным успехом обсуждали этот вопрос. Сказать, что мы его решили, было бы грубым самообманом. Есть только намеки на выход из сложившихся противоречий и парадоксов.

Первый намек: плита под Памиро-Гиндукушем, несомненно, тяжелее континентальных литосферных плит и Азии и Индии, но тяжелее ли она астеносферы и прочей мантии на всей глубине до 300 километров - еще вопрос. Как раз под Крышей мира геофизики-гравиметристы поместили еще в 30-х годах центр мощной отрицательной аномалии силы тяжести. Обширность и размытость очертаний этой аномалии указывают на то, что ее источник, блок пониженной плотности, лежит именно в мантии. Тогда, в 30-х годах, советские геологи пришли к выводу, что под Памиром находится зона мощного разупрочнения, разуплотнения подкорковых масс с выпучиванием и глубокими землетрясениями, сопровождающими этот процесс.

Откуда же взялись представления о повышенных плотностях мантии под Памиро-Гиндукушем? Оказалось, сейсмические лучи от отдаленных землетрясений, приходя в силу законов преломления в толще планеты к Памиру почти снизу, набирают на последних 300 километрах своего пути некоторую разницу во времени пробега. Через фокальную зону глубоких землетрясений Памиро-Гиндукуша сейсмические лучи проходят на секунду-полторы быстрее. Повышенные скорости обычно свидетельствуют о повышенной плотности вещества. Но всегда ли?

Недавно советские сейсмологи измеряли скорости самых быстрых, продольных сейсмических волн в районе Камчатки. Их интересовало, одинаково ли идет волна через погруженную в мантию плиту "напротык" (слово не я придумал, это принятый термин) и по самой плите, вдоль нее. Оказалось, "напротык", поперек слоев плиты волна идет на 0,3-0,5 километра в секунду быстрее, чем по самой плите. Но почти вертикально приходящие к Памиро-Гиндукушу сейсмические лучи так ведь и идут "напротык" через горизонтальную континентальную литосферу и слои астеносферы (и тогда скорости пониженные) или по самой погруженной почти стоящей плите (и тогда скорости будут повышенные, даже если эта плита несколько менее плотная, чем вмещающая астеносфера). Разница в одну-две секунды пробега набирается очень легко. Наберется и больше, если всплывающая плита, например, внедрена в литосферу Памира (а похоже, именно так и обстоит дело).

Почему прекратила погружаться и начала всплывать последняя океаническая плита древнего океана Тетис? Может быть, когда океан полностью закрылся, мантия стала приспосабливаться к новому положению? Ведь известно, что мантия под океанами и под материками не одна и та же. И как чертик в склянке, затянутой пузырьком (вот он только что тонул, а нажали на пленку сверху - пошел всплывать), плита остановилась в своем движении (может быть, успела уже оторваться, уйти километров на пятнадцать вниз) и медленно, торжественно двинулась вверх, поднимая Крышу мира, вмещиваясь в процесс столкновения континентов, смущая геологов и геофизиков.

Уникальный Памирский узел... Впрочем, такой ли уж уникальный? Под Карпатами до сих пор сохраняется узкий язычок глубоких землетрясений. Можно предположить, что и под Кавказом, и под Ираном, и под Гималаями существовали такие погребенные реликтовые плиты, только к настоящему времени они уже "выдохлись", замолчали. А может быть, их остатки и сейчас еще висят в мантии, только

обнаружить их трудно: землетрясений в них нет... Недавно американские ученые обнаружили такую "молчащую" крутонаклонную (под 80 градусов) плиту под территорией штата Невада. Она выдала себя тем, что на полторы секунды быстрее пропускала через себя сейсмические волны от южноамериканских землетрясений. Самое странное, что плита, изогнутая дугой, тянется, если нарисовать эту дугу на поверхности Земли, поперек современных очень ярко выраженных меридиональных структур востока США. Похоже, 16 миллионов лет назад на востоке США существовало какое-то море типа Мексиканского залива (где и сейчас есть тянущаяся широтно небольшая островная дуга с наклонно уходящей вниз плитой). Плита под Невадой, по-видимому, тоже не тонет. Она висит и почти не всплывает, в ней самой нет землетрясений. Но наверху, на поверхности Земли, ученые отмечают в Неваде средние и слабые землетрясения, идущие по типу сброса. Причем растяжения в этих землетрясениях направлены так, что заставляют подозревать: плита уже (или еще?) упирается в крышу материка и слабо выгибает ее, начиная (или заканчивая?) вертикальное, сводовое поднятие Невады.

Реликтовые, погруженные в мантию литосферные плиты под Памиром, Карпатами, Невадой наводят на мысль по-новому взглянуть на этапы горообразовательной деятельности по всей Земле. Геологи давно заметили, что все большие горные системы Земли (и нынешние, и давно исчезнувшие) всегда воздвигались на месте геосинклиналей - областей длительного и интенсивного прогибания земной коры. Геосинклинальный этап горообразовательного процесса всегда сопровождался мощным накоплением осадков, чаще всего морских, с мощными внедрениями магматического и вулканического вещества.

Эти окаменевающие потом осадки и внедрения в них возносятся на поднебесные высоты. Поколения геологов пытались выяснить причины именно такой, а не иной последовательности событий. Было придумано много остроумных теорий, ни одна из которых не учитывала, однако, всех деталей удивительного явления. Например, совершенно не ясно, почему все эти геосинклинали и возникшие из них горы всегда были необычайно линейно вытянутыми, узкими и длинными. Сейчас, вероятно, без соединения геосинклинальной теории с новой глобальной тектоникой не обойтись.

И такая видится последовательность. Сначала - классическая геосинклиналь в виде островной дуги с примыкающими к ней с одной стороны глубоководным желобом, а с другой - окраинным морем. Все это в целом под влиянием тонущей здесь окраины плиты опущено, втянуто, как в воронку, в засасывающие плиту глубины; туда же оказываются затянутыми и легкие осадочные породы, что создает здесь гравитационную неустойчивость, возрастающее стремление части вещества вверх. До поры до времени только полоска вулканической суши выдает это скрытое стремление. Но эта полоска - центральная ось будущего общего воздымания. Вот процесс субдукции начинает вырождаться: то ли рифт, порождающий океаническую кору, сблизился с желобом, ее потребляющим, то ли континентальная литосфера, приплыв на мобилиетском "эскалаторе", своим телом закрыла зону субдукции и остановила механизм погружения. Такому вырождению подверглась, по всем данным, зона субдукции у Тихоокеанского побережья Северной Америки близ Невады (рифт слился с фокальной зоной).

И по-видимому, в тонущей плите, лишенной нового подпора сверху, почти сразу происходит раскол. Нижний ее язык от 300 до 700 километров глубиной, продолжая погружение, отрывается и тонет, усваиваемый мантией, а верхний останавливается, а может быть, под влиянием изменившихся внешних условий (например, попав в более плотную подконтинентальную мантию или в восходящую "струи" конвективного мантийного потока) начинает и всплывать. Начинают всплывать и затянута в мантию против силы тяжести легкие осадки. Американские Кордильеры - это пример перелома в геосинклинальном процессе. По всему фронту Центральной и Южной Америки еще не закончилась субдукция, как уже закончилась она для Северной Америки, но уже силы воздымания начинают одерживать верх. Огромные массы легкого вещества, затянута "против воли" в мантию, ищут выхода, образуют в коре вытянутые зоны, обогащенные ценными веществами, воздвигают высочайший хребет. Сама же затолкнутая вглубь, под Америку, плита, хотя и продолжает погружаться, готова остановиться. Оттого и механизм глубоких землетрясений там не тот, что, скажем, под Японией, но такой же, как под Памиром!

Давно закончилась субдукция под Памиром и Карпатами, но попятное воздымание затянута в мантию вещества еще продолжается, сопровождаемое глубокими землетрясениями. А под Гималаями, Альпами этот процесс зашел еще дальше, они переживают последний, уже чисто горообразовательный этап геосинклинального процесса - без глубоких землетрясений.

## Энергия, накопленная в прошлом

Об этой гипотезе я читал давно. В журнале "Земля и Вселенная" когда-то рассказывалось о коллективе сейсмологов, собравшихся на совещание в Гарме, в своей обсерватории. Помнится, автор статьи сдержанно, но добросовестно изложил основы построений Виталия Пономарева и, не выказывая никакого к ним отношения, перешел к очередному вопросу, кажется к знаменитому случаю, когда Алексей Николаев во время своего весьма серьезного доклада о сейсмической "мутности" в качестве иллюстрации предложил собравшимся свое очень недурное полотно, выполненное в духе если не абстракционизма, то Чюрлениса. О Николаеве и мутности я расскажу дальше, а досказать наконец все про гипотезу накопленной энергии (независимо от Пономарева похожую идею развивают Кучай из Душанбе и Хлобустов из Ташкента) самое время.

Свой рассказ Виталий всегда начинает с ошеломляющих фактов. Последуем его примеру.

Когда строили туннель под Монбланом и основательно уже углубились, начали происходить странные случаи. Вот отвалили большой кусок породы, везут в вагонетке. И вдруг (иногда еще в вагонетке, иногда уже снаружи, в отвале) бах! Взрыв! Камень - в порошок, разлетается вдребезги.

В шахтах иногда происходят горные удары, которые тоже трудно отличить, с одной стороны, от землетрясений, с другой-от взрывов. Когда добираются до "гипоцентра" горного удара, чтобы выяснить, какие деформации вызвали катастрофу (а горные удары - это именно катастрофы), выяснить часто ничего не удается: горные породы перемолоты в пыль.

Один мой знакомый любил спрашивать: что будет, если... И дальше шло что-нибудь такое, чего быть в природе не может. Но такие мысленные эксперименты очень полезны и часто применяются в науке. Помню, один раз он спросил: "Что ты увидишь, если перед твоими глазами разрежут, как арбуз, пополам земной шар?" Я начал напрягать память и мямлить: вот увижу жидкое ядро, в нем твердое ядрышко... Знакомый пришел в восторг от моей тупости. "А ничего ты не увидишь, - заорал он, - ты ослепнешь сразу. Ведь Земля вся, за исключением верхних нескольких сот километров, раскалена добела, ярче самой яркой электрической лампы!" Тогда я, помню, был сконфужен. Но сейчас, я мог бы задать ему тот же вопрос, и, когда он с удовольствием выпалит свое умозаключение, я имею все основания в тон ему сказать:

- А ничего ты не увидишь и не ослепнешь, ты погибнешь сразу от чудовищного взрыва! Ведь освободится вся затаенная в Земле энергия ее гравитационного сжатия. Миллиарды атмосфер - и все наружу!

И пожалуй, он будет еще более сконфужен, чем я, ибо этот мой знакомый - сейсмолог и должен был в первую очередь подумать о механике, а не об оптике земных недр.

Все эти примеры и мысленные эксперименты говорят о том, что в недрах нашей планеты хранится огромное количество энергии. Не следует думать, что эта пассивная потенциальная энергия всестороннего давления пробуждается только в редких, исключительных случаях. При разного рода фазовых превращениях вещества (например, при изменении внешнего давления, температуры) масса даже небольшого объема (например, гранитных пород) по-разному воспринимает это изменение. В составе гранита - кварц, полевой шпат, слюда, у них разные коэффициенты расширения, модули упругости и что-то там еще, в результате в принципе не исключено раздробление гранитной глыбы в недрах, без ее извлечения на поверхность.

Где на Земле возможно повышенное выделение такой энергии? Во-первых, в рифтах. Об этом уже говорилось выше. Там эта энергия выделяется в форме тепла и мощных нагнетательных процессов, обеспечивающих плитотектоническим импульсом всю литосферу планеты. Во-вторых, она должна как-то проявлять себя и в горах. Так или иначе, но горы растут, а с их вершин непрерывно смывается, выветривается слой за слоем. Там происходит непрерывный и неравномерный в пространстве процесс подъема к поверхности сжатой чудовищным давлением бомбы земных недр. Куда девается вся эта энергия, по подсчетам, очень большая? Неужели исчезает бесследно? Не она ли ответственна за большую часть трещин и разломов в коре Земли?

Не эта ли энергия хотя бы отчасти ответственна за бесчисленные землетрясения, которые есть во всех горных системах Земли?

Механизм разуплотнения... Сам автор и энтузиаст этой гипотезы Виталий Пономарев, как это часто бывает, склонен расширить рамки ее применения до весьма широких пределов.

- Представь, - говорит он мне, и глаза его зажигаются фанатическим блеском, - гора! С горы эрозия смывает слой.

Весь столб литосферы до самой астеносферы, на которой он "плавает", становится легче. Он поднимается... Ну, возьми двадцатисантиметровой толщины льдину, срежь верхние два сантиметра, на которые она выступает из воды. Льдина поднимется - но не на все два сантиметра, а на одну десятую оставшихся восемнадцати сантиметров - на 1,8 сантиметра. Так? Срезая льдину слой за слоем, ты уменьшаешь ее толщину, а значит, и величину компенсационного всплывания. Процесс затухает.

В Земле - другое дело! Столб литосферы поднимается после снятия нагрузки на некоторую величину, тоже меньшую, чем эта снятая нагрузка. Но сам столб весь, по всей длине, попав в несколько другие условия всестороннего сжатия, слегка расширится, освобождаясь от избыточного давления, разуплотнится, потеряет в удельном весе. А значит, поднимется еще немного - ровно на столько, чтобы достигнуть прежней отметки. Снизу освободившееся пространство заполняется астеносферным веществом, ничем по составу не отличающимся от литосферного, столб возвращается к прежнему состоянию, ну все равно как если бы льдину снизу намораживали ровно на столько, на сколько ты ее срезал.

Ты понимаешь, раз уж есть гора или континент (любая область сноса), то она себя поддержит, подрастая ровно на столько, на сколько съедает ее сверху эрозия!

- Ты же смотри, что дальше получается, - уже не говорит, а кричит Виталий, задыхаясь от непрерывно прикуриваемых сигарет. - Ты слышал, были ядра роста континентов - это когда Земля дифференцировалась, всплывали комочки веществ полегче, возникли первые участки континентальной коры. Возникнув, они превратились в самоподдерживающуюся и даже развивающуюся систему (осадки после эрозии далеко не уносило, откладывало рядом, суша разрасталась и сама становилась областью сноса, а значит, тоже начинала подниматься, разуплотняясь).

- А тот подъем ведь надо компенсировать, понимаешь же ты! - от возбуждения переходя на свой украинский акцент, кричал Виталий мне уже позже в Москве по телефону. - Область разуплотнения становится областью подсоса. Чего? Ясно - астеносферного вещества. В астеносфере возникает течение от океанов к континентам и горным областям. А разве плитотектоника может объяснить, почему течет астеносфера, да плиты еще ж на себе тащит? Конвекция в мантии? Сомнительно...

Так вот, каждая горная область, каждый континент сосут под себя астеносферное вещество. Но таких зон подсоса много. Скажем, Евразия, Америка. Они гребут под себя вещество, а его мало - слой астеносферы тоньше литосферы, по нему плавающей. Откуда гребут? Из-под океанов. А там, где сталкиваются интересы двух зон подсоса, возникает "водораздел", граница, откуда вещество течет, волооча на себе плиты, в обе стороны! Догадываешься? То ж рифты! Оттуда вещество отсасывается на столько, что возникает новое течение компенсаций, новый подсос, на этот раз снизу, из глубин мантии...

Первая реакция всех знакомых на гипотезу Пономарева - оторопелое молчание. Следствий и выводов так много, что сначала кажется: ужели вот он, ответ на все вопросы? Растекается океаническое дно, раздвигаются континенты, а все из-за чего? Все эти оползни, сели, несущие муть и валуны реки, ледники - это не только результат роста гор, но и причина их роста, и причина роста и существования континентов и течений в астеносфере, и даже причина спрединга - растекания океанического дна у далеких рифтов. Географическая тектоника!

Впрочем...

- Виталий, а как же зона субдукции, заталкивания океанической плиты на стыке континента и океана? Поворачивая вниз по периметру всего океана, литосфера образует прочные завесы, перекрывающие хилые твои течения по астеносфере и, значит, прекращающие весь процесс. А процесс-то не прекращается! И потом, как ты объяснишь, что есть области (тот же Памир, Гималаи), где

скорость роста гор на порядок больше, чем скорость их эрозии? К тому же раз плитотектоника остается, значит, и мобилистский механизм роста гор на стыке плит остается тоже... Зачем тогда твой механизм разуплотнения?

Минуту Виталий молчит, ожесточенно затягиваясь сигаретой на другом конце провода, и признается, что "над этим еще надо подумать".

Короче говоря, немало трудностей у гипотезы разуплотнения: слишком уж четко и ясно прослеживается во всем сейсмическом режиме, в механизмах землетрясений тектоническая, геологическая подоплека, направленность всего движения. Но какое-то место в будущей модели сейсмического очага этот дополнительный источник энергии может обрести. Сейчас некоторые сейсмологи (например, наш, гармский, Б. Г. Рулев) разрабатывают сложные (двойные, тройные) модели очага. И уже ясно: чтобы пришел в действие обычный сдвиговый механизм сильного землетрясения (со смещением по большой плоскости), к этому смещению плоскость должна быть подготовлена в предыдущих фазах.

Совсем другую роль несдвиговая компонента может сыграть в глубоких землетрясениях.

Плита, медленно всплывающая под Крышей мира, попадает каждым своим погонным километром в условия все меньшего давления окружающей среды. И по всей длине она разуплотняется, растрескивается, как это нередко бывает с керном пород из глубокой скважины.

Интересно, что распухание плиты, как и керна, идет во все стороны скорее всего одинаково. Но если по наименьшему расстоянию, то есть по толщине, это распухание может идти и без растрескивания, то по длине плиты напряжения от этого неравномерного, усиливающегося кверху распухания, разуплотнения достигают критических величин, приводящих к разрушению - землетрясению (так и керн пород из глубокой скважины разуплотняется во все стороны, а растрескивается только по длине). Становится понятным распределение напряжений в механизме глубоких памирских землетрясений. Если для поверхностных землетрясений сжатие как бы главная ось, а ось растяжения - это скорее ось наименьшего сжатия, то во всплывающей плите главная сила - растяжение. И про ось сжатия глубокого землетрясения в этом случае можно сказать: "ось наименьшего растяжения". Но и это наименьшее растяжение для погруженной плиты фиктивно. Просто в эту сторону плита растягивается без толчков-землетрясений.

Да, непросто распутать Памирский узел... Пусть читатель не думает, что автор самонадеянно взялся разрубить его. Над его распутыванием будут биться еще поколения геологов и геофизиков. Но может быть, читателю теперь будет яснее, как это делалось и делается.

## К новому геопрогнозу

### Землетрясения и вулканы

*Повсюду, где земля непрерывно колебалась в течение нескольких месяцев, как это было на Ямайке в 1663 году, в Лиссабоне в 1755 году, в Пьемонте в 1808 году, население ожидало увидеть появление нового вулкана.*

*Забывают, что очаги, или центры, землетрясений следует искать далеко от поверхности земли... что самые сильные катастрофы происходили не у подножия действующих вулканов, а в горных цепях, сложенных самыми разнообразными породами.*

## А. Гумбольдт

К миру наклонно тонущих плоскостей трудно привыкнуть. Это странный мир нынешних наук о Земле. И только сейчас ученые решаются робко ступить в это наклонное пространство, пространство, которое набекрень.

В самом конце 1974 года к нам в Гарм прислали только что выпущенный сборник статей наших коллег - камчатских сейсмологов. И мы не без удовлетворения заметили, что не одиноки в попытках освоить это пространство. П. И. Токарев раскладывает его на планшете, делит специально придуманными "параллелями и меридианами". И наносит на этот планшет точки - землетрясения. Их много, очень много, и Токарев упрощает картину, наносит на план в изолиниях сейсмическую активность. Активность падает с глубиной, но падает неравномерно и примерно так. До глубины 80-120 километров - быстрое падение. Потом сейсмическая активность, примерно постоянна до глубины 160 километров. Потом снова резкое падение. На этом падении очень своеобразно повела себя изолиния 0,17 (в условных единицах активности). Эта изолиния вытянулась почти прямо вдоль всей карты наклонной плиты. И самое удивительное: именно на эту линию спустились вертикали, проведенные исследователем от каждого камчатского вулкана вниз через мантию, к наклонной плоскости тонущей плиты.

...Ученые давно и много спорят о том, как связаны между собой вулканическая и сейсмическая стихия Земли. С одной стороны, если нанести вулканы мира на карту, они всегда окажутся там, где землетрясений много. Значит, связь есть. С другой - вулканы будто избегают районов самых сокрушительных землетрясений, а сильные землетрясения как в пространстве, так и во времени будто стремятся "обойти" вулканы и вулканические извержения.

И вот работа Токарева, его выход в непривычное пространство набекрень пролили новый свет на этот парадокс. Да, вулканы связаны с тектоникой и землетрясениями. Вокруг Тихого океана они всегда располагаются на определенном расстоянии от глубоководного желоба, отмечающего поворот литосферы вниз (на Камчатке--на расстоянии 125 километров). Дуга вулканов параллельна дуге желоба. И как выясняется, самые мелкие детали извивов этой дуги привязаны к сейсмической активности в недрах тонущей плиты. В одном месте на планшете наклонной фокальной поверхности есть резкое местное аномальное падение активности, и именно в этом месте несколько вулканов как бы отрываются от дуги и отступают назад, располагаясь уже не узкой ниточкой, а таким "мысом".

Итак, связь есть, но связь обратная: вулканы располагаются над тем местом, где сейсмическая активность резко падает. Что-то такое происходит в наклонной плите, что большую часть выделяемой в пути энергии она на глубине 160 километров перераспределяет из сейсмической формы в вулканическую.

Детали этого процесса еще не ясны. Как эта энергия передается вверх, к вулкану, тоже еще не известно. Сам вулканический очаг, нащупываемый сейсмологами по затуханию в нем поперечных сейсмических волн, располагается гораздо выше, уже в коре. Под ним на глубине 30-100 километров расположен гораздо более обширный магматический очаг (его, кажется, нащупали С. А. Федотов и О. В. Потапова с помощью сейсмических методов). Видимо, и это не самый нижний этаж сложного аппарата вулкана, ибо еще ниже на той же вертикали находятся найденные Токаревым области утечки сейсмической энергии из тонущей плиты.

Пока не ясно, что за энергия перекачивается из сейсмической формы в вулканическую. Может быть, именно на глубине 160 километров тонущая плита попадает в такие условия все возрастающего давления и температуры, что самые верхние слои тонущей твердой литосферы начинают плавиться, течь, с одной стороны, смягчая жесткость плиты (и оттого на этой глубине меньше землетрясений), с другой - поставляя расплав, магму для огненной фабрики вулканизма...

## Металлы и мобилизм

Геологи, занятые поисками полезных ископаемых, традиционно отмежевывались от страстей, вот уже полвека потрясающих тектоническую науку. Было в этом, возможно, нечто рациональное: от геологов-практиков требовали разведанных запасов, а не блестящих теоретических построений. Запасы же разведывались неплохо и по региональным закономерностям, и по аналогии (без выяснения истинного смысла аналогии).

Примерно так до сих пор иногда поступают синоптики, от которых требуется перспективный прогноз. Они выискивают среди прошлых лет такой год, в котором последовательность погод больше всего походила на погоду нынешнего года. Это сходство экстраполируется и на будущие месяцы, при этом истинный смысл той, а не другой последовательности не выявляется, не анализируется.

Но как и в метеорологии, такому прогнозу без теории приходит конец и в геологии. Теории нет еще и сейчас. Это не значит, что ее и не будет. Ростки нового пробиваются наружу медленно. Но принципиальный ответ на некоторые основные вопросы в повестке дня.

Например, такой вопрос: что нас ждет на дне океана? Новые Клондайки или... ничего? Здесь необходимы пояснения. Океан сулит, конечно, немало богатств. В его воде растворены все нужные человеку вещества, только научись добывать их. Кое-какие из этих веществ осаждаются на дне океана в виде железомарганцевых конкреций. Добыча этих конкреций сулит многие выгоды экономике. Но речь все-таки о другом. Есть ли в океанической коре огромных абиссальных равнин океанов крупные эндогенные (глубинного происхождения) месторождения руд металлов? А других веществ? И здесь при ответе на этот вопрос, при ответе, который сам по себе является важнейшим для нас перспективным прогнозом, все зависит от того, на какой точке зрения стоит геолог-"полезник", мобилист он или фиксист. Фиксист, по идее, должен дать весьма положительный ответ: ведь для него кора океанов та же материковая кора, ну, может быть, слегка переработанная, и почему бы в ней не быть таким же месторождениям полезных ископаемых, как и на суше? Но удивительное дело: даже те геологи, которые на словах все еще фиксисты, сейчас уже не будут так уверенно прогнозировать. Слишком уж убедительны последние данные морской геофизики о молодости океанического дна, о простоте и незамысловатости строения океанической коры, простоте, не оставляющей места для такой вершины геологического развития, как богатое месторождение полезных ископаемых.

Да, похоже, что при ответе на главный вопрос новая геология должна разочаровать нас: все богатейшие месторождения мира сосредоточены на суше, а также в шельфовых и окраинных морях. Дерзкая вылазка человека на просторы подлинно океанских глубин (шельф геологически - это тот же материк) очень мало прибавит к тому, что мы имеем. Значит, еще более бережливыми и рачительными должны мы стать уже сейчас...

Значит ли это, что новая глобальная тектоника только отнимает у нас надежды, ничего практически не давая взамен? Нет! Похоже, что, ограничив область нашей экспансии, она зато дает гораздо более точные указания, где искать на оставшихся пространствах, на суше и шельфе.

Уже давно геологи заметили, что месторождения руд металлов по берегам Великого океана расположены узкими полосами параллельно берегам, причем эти полосы расположены как бы рядами, "кольцами", и в каждом следующем кольце встречаются другие руды металлов. В целом для обрамления Тихого океана от берега в глубь континента характерна такая последовательность руд: ближе всего к океану - железо, ртуть, медь (иногда с золотом и молибденом), дальше - свинец, - цинк, серебро и, наконец, олово, опять-таки с молибденом.

Представим себе транспортер, движущийся издалека и долго, на ленте которого насыпана тонким слоем металлическая пыль. Там, где транспортеру надо заворачивать вниз, в недра механизма, приводящего его в движение, стоит щетка, снимающая пыль (чтобы она не попала в движущиеся шестерни). Ясно, что, чем дольше движется транспортер, тем богаче будет "месторождение" металлической пыли, скопившейся у щетки, даже если на самом транспортере этой пыли будет совсем мало.

Примерно так действуют зоны пододвигания транспортеров - океанических плит под окраины Тихого океана. Как бы мало ни несло на себе океаническое дно конкреций с высоким содержанием металла, после того как оно завернуло в глубину и стало медленно наклонно погружаться под материк, на определенной глубине те или иные вещества будут или расплавлены, или растворены окружающей мантией. Ну, а поскольку над зонами погружения плит всегда есть восходящие потоки, выносящие частично погружившиеся вещества к очагам вулканов, то в некоторые из этих потоков вовлекаются и руды, соскребаемые с ленты океанического дна.

Американский геолог Р. Силлитое заметил, что в Северной и Южной Америке последовательность месторождений руд металлов от берега в глубь континента связана очень простой зависимостью с тем, на какой глубине в данном поясе тянется пододвинутая под континент плита. Каждая следующая группа металлов "снимается" с более глубокого участка конвейера, вот и все. Впрочем, не все, и там есть свои сложности. Геолог заметил: в некоторые эпохи с "конвейера" поступало много руд, в другие - меньше, и это, очевидно, связано с тем, сколько полезных веществ выпало (с помощью бактерий или самостоятельно) на движущееся дно океана.

Так или иначе, но геологи уже пробуют направлять поиск новых месторождений, руководствуясь новым прогностическим признаком. Силлитое проследил очень похожие последовательности месторождений везде, где происходит или происходила субдукция - пододвигание океанического дна. Медно-порфировые руды очень схожего генезиса есть в Румынии, Ираке, Пакистане, в Кордильерах, на Тайване и на Новой Гвинее. Силлитое предсказал открытие таких же комплексов руд в Турции, на островах Фиджи и на Окинаве (прогноз подтвердился почти сразу). Дальше в прогнозе перечисляется еще целый ряд стран, где пока больших запасов не обнаружено, но они должны быть, - это острова Индонезии и Филиппин, Алеутские, Камчатка, Новые Гебриды, Бирма, Таиланд, Греция, Афганистан, Марокко, Алжир.

Это все ныне действующие или недавно действовавшие зоны пододвигания. Но Силлитое берется (может быть, и преждевременно) решать и обратную задачу. Кое-где (на Урале, в Казахстане, Узбекистане) есть те же последовательности месторождений полезных ископаемых очень древнего происхождения. И ученый смело предполагает, что и там когда-то давно действовал тот же механизм пододвигания плит, причем можно прикинуть, в какую сторону это пододвигание шло и под каким углом...

Так гипотеза мобилизма, еще недавно бывшая просто красивой теоретической игрушкой, начинает свою будничную трудовую жизнь, пытаясь сделать свой вклад в проблему геологического прогноза.

## Релятивистская геомеханика

Как оценить, как осознать все значение происходящей на наших глазах революции в науках о твердой Земле? Переход от прежнего, торжественно фиксированного в целом пространства геологии ко всеобщему пространственно-временному бурлению не оставляет нетронутым ни одного раздела наук о Земле. Известный геолог Р. У. ван Бемеллен в 1965 году говорил о "релятивистском подходе к

описанию и объяснению структурной эволюции". Это, конечно, метафора, ибо "релятивистский подход" в физике, откуда заимствован термин, - это ньютоновский, эйнштейновский подход к странности мира субсветовых скоростей, взаимного перехода вещества и энергии, искривленного пространства-времени.

Но это не случайная метафора, ибо новизна подхода, трещина, расколовшая геологию на "классическую" и "новую", не имеет других аналогов, кроме водораздела между доэйнштейновской и современной физикой.

Уже давно геологи заметили, что характер деятельности вулканов и состав извергаемых из них продуктов закономерно меняются от чисто базальтовых щелочных излияний центральноокеанических вулканов к андезитовым (менее щелочным) лаве и пеплам вулканов островных дуг и почти кислым, с высоким содержанием кремнезема выделениям уже на континентах. Логически все это очень стройно увязывалось с теорией разрастания континентов за счет приращения полуокеанических окраинных прогибов - геосинклиналей, которыми можно попросту считать окраинные моря, ограниченные островными дугами. Старая мудрая теория геосинклиналей! Она охлично показывала, как вокруг древних, еще архейских ядер континентов через стадии прогибания, накопления осадков и последующего воздымания в виде горных цепей этих окаменевших осадков, а затем выравнивания, "пенепленизации" бывших геосинклиналей нарастали, как годовые кольца на стволе дерева, все новые участки материковой, кислой (гранитной) коры. Континент издревле вел наступление на сушу, и в глубинах континентов геологи часто находят структуры, напоминающие очертаниями и излияниями древних вулканов нынешние островные дуги.

И (удивительна логика научного процесса) мобилизм, бывший как будто в состоянии войны с ортодоксальной геосинклинальной теорией, выйдя на новый уровень "плейттектоникс" - тектоники плит, неожиданно чудесным образом раскрыл объятия для "мудрости предков".

Геология обрела пространство. И сразу же появились признаки решения древних и важных вопросов вулканологии. Например, того же вопроса о закономерном изменении состава магм по мере отступления вулканов от океана, а заодно и вопроса о глубине питающих вулканы каналов. Да и сама геосинклинальная теория, которая хорошо показывала, похоже, только теперь начинает объяснять, становясь в ясные причинно-следственные взаимоотношения с премудростью многих других теорий, гипотез и просто фактов, которые существовали прежде как-то сами по себе.

Ну а землетрясения, какое место они занимают в этих событиях? Связаны ли они с технологией Подземного химического завода? Да, связаны. Какое-то место и им отведено на всех ступенях этого сложного процесса. Японский ученый А. Сугимура построил два ряда цифр. В одном были значения некоего коэффициента, выражающего "толеитовость" вулканических продуктов - величину, прямо пропорциональную "алюмосиликатности", то есть океаничности, и обратную "калийности", то есть континентальности вулканизма. И в ряд с этими цифрами, возроставшими по мере перехода от континентальных сейсмовулканических зон к океаническим, встала точно так же возроставшая сейсмическая активность в недрах соответствующей зоны. Вот эти зоны, в порядке возрастания сейсмичности (и толеитового коэффициента, который для краткости не привожу): 1) Алеутские острова и Аляска (0,05); 2) остров Тайвань и Западная Япония (0,05); 3) Индонезия (0,06); 4) Центральная Америка (0,09); 5) Марианские острова и Восточная Япония (0,09); 6) Курильские острова, полуостров Камчатка (0,17); 7) Тонга (0,19) (*Коэффициент сейсмической активности исчисляется по частоте землетрясений определенной энергии (в данном случае глубоких землетрясений с магнитудой 7), приходящейся на определенный участок зоны (здесь - на 1000 километров "вулканического фронта") за какой-то промежуток времени (с 1919 по 1952 год).*)

Конечно, в этой связи многое неясно, но она есть, связь землетрясений с химией вулканизма (так же как есть связь вулканизма с энергией землетрясений на развернутом пространстве тонущей плиты). Чем меньше теряется в подземных лабиринтах тяжелых, основных компонентов вулканического процесса, тем меньше потери и сейсмической энергии... И разве не интересно попытаться понять корни этой связи?

Американский геолог Г. Бич на одном из симпозиумов, подводивших итоги грандиозной программы работ по проекту "Верхняя мантия и ее влияние на развитие земной коры", тех симпозиумов, где уже выковывались основы тектоники плит, родившейся на свет двумя годами позже, как-то сравнил себя и своих коллег с тремя слепцами, встретившими по дороге неведомое: слона. Один из них пощупал хобот и описал слона как что-то черве- или змееобразное. Другой дотронулся до ушей и дал свою интерпретацию феномена: лопух. Третьему попалась нога животного, и он уподобил его столбу.

Долгие годы геологи, геохимики, географы, астрономы, геофизики вслепую с разных сторон шли к пониманию того целого, имя чему - пространство Земли с ее непрым, но и не заумно усложненным главным механизмом действия. Пусть плитотектоника не окончательное и не совсем свободное от противоречий описание явления. Но впервые за долгие годы появился каркас, на который, пусть не всегда с первой^ попытки, оказалось возможным нанизать весь накопленный мучительно, часто без всякой надежды на понимание природы явления, материал. Впервые действительно стала реальной мечта инициатора проекта "Верхней мантии" советского геолога В. В. Белоусова о создании геонии - общей, единой и неделимой науки о Земле с настоящей капитальной теорией в сердцевине.

Пусть итог всех стараний был несколько неожидан для инициатора (Белоусов - по сей день виднейший фиксист, почти ни пяди не уступивший мобилизму). Так бывает. И о пользе умного консерватизма я уже говорил...

## Иерархия циркуляций

*Проведя несколько лет в водах Европы,  
угорь отправляется метать икру в Саргассово  
море, на противоположный край все  
расширяющегося срединно-океанического рифта.  
Но рожденный угорь инстинктивно стремится  
назад, в Европу. Но когда он доплывает до  
нее, она оказывается совсем не там, где  
должна быть, - весь континент успевает  
сдвинуться на несколько сантиметров к  
востоку. Неизвестно, что приходит в голову  
юному угрю при виде такого коварства, но  
озадаченный взгляд остается у него на  
всю жизнь.  
Из доклада Р. ДИТЦА...*

Впрочем, контуры будущей единой теории сейсмовулканизма ещё только намечаются. Не нужно думать, что пора сдать в архив гипотезы мелких коровых очагов вулканов. Они есть, эти очаги, они нащупаны геофизическими методами. Просто они самые последние, верхние из длинного ряда цехов подземного химического завода. Эти коровые очаги, заполненные "готовой к употреблению", но почему-то так и не использованной застывшей навеки вулканической массой, геологи часто находят обнажившимися, срезанными на поверхности Земли. Следы бывшего величия давно погасших вулканических зон. В 1960 году в Забайкалье в геологическом маршруте я случайно наткнулся на не отмеченный на геологических картах базальтовый вулкан. По тому, что было когда-то лавовым потоком, я вошел через раздвинутые стены пролома в кратер, где цвело несколько оранжевых саранок, выгодно выделенных черным фоном базальтовой щебенки. Байкал и Забайкалье - зона сравнительно недавнего вулканизма. Эти то низкие и голые, то высокие, залесенные конусы - типичные, представители рифтовых вулканов, тех самых, что и сейчас трассируют огнями извержений зону Великих Африканских грабен. Рифты -

самые близкие родственники, предтечи океанов. "Каждый рифт хочет стать океаном", - сказал как-то геолог В. Е. Хаин в МГУ. Байкальский рифт не стал пока океаном. Но "священным морем" стал. Остановится ли он на этом? Что значат эти умолкнувшие вулканы? Отказ от попытки? Но тогда отчего здесь такая мощная, незаурядная для рифта сейсмичность? Да еще с растяжением в механизмах землетрясений, направленным поперек структуры, на ее разрыв? А может, опять-таки перерыв, передышка? И эпоха новой активизации рифта не за горами?

Да, с рифтами многое неясно... Почему, например, Байкальский рифт, в отличие, скажем, от Африканских, изолирован, похоже, не соединен с мировой системой рифтов? Может быть, он родоначальник совсем новой структуры растяжения на нашей планете? Или, наоборот, след совсем старой? То, что Байкал изолирован, легко проследить по механизмам землетрясений. С юга типичные для этой структуры землетрясения с горизонтальной осью сжатия почти внезапно обрываются близ Саян. В районе Тункинской котловины и гольцов, на небольшом по сути дела пятчке, сейсмолог видит дикую смесь из землетрясений противоположного знака. И все. Еще чуть южнее, в Монголии, славящейся своими катастрофическими землетрясениями, сбросовые механизмы, характерные для рифтов и грабенов, уже не встречаются.

Множество тайн связано со знаменитыми рифтами Грегори - Восточно-Африканскими корытообразными долинами. Почему в одних местах дно этих раздвинутых, как створки дверей в метро, щелей провалено на тысячи метров (цепь великих озер - Ньяса, Танганьика, Альберт, Рудольф трассирует эти провалы) - и совсем рядом из дна рифтов, как столбы, легко и непринужденно взмывают вверх огромные глыбы древних пород - возможных свидетелей зарождения жизни на Земле? Какая сила вынесла плато Рувензори на высоту 5109 метров? Снежные горы - редкость в Африке, а Рувензори, третья, после вулканов Килиманджаро и Кения вершина в Африке, удивительна еще и тем, что она не вулкан и не смятый складками выгнутый хребет, а единая глыба, вознесенная к небесам самое большее за последние 5-8 миллионов лет. Ничтожный срок.

Что происходило здесь за 5-8 миллионов лет? Откалывается ли восточная оконечность Африки, подобно Индии, а затем и Мадагаскару, от великого континента? Но тогда к чему эти излишества - вершины, уходящие за облака? Приличный рифт, родоначальник моря, так себя не ведет. Взять хотя бы рифт Красного моря, залива Акабы, Мертвого моря...

Несомненно, в природе океанических рифтов, рождающих новую земную кору, и рифтов континентальных очень много общего. И там и там - повышенный поток тепла: по плито-тектоническим построениям здесь вертикальный приток мантийного астеносферного вещества "лижет" низы коры, заставляя ее вспучиваться и раздвигаться в стороны. И в океанах, и на материках в этих местах кора лежит прямо на пластичной, с пониженной плотностью астеносферной подушке; того верхнего плотного слоя мантии, что во всех остальных местах вместе с корой составляет литосферные плиты, здесь нет. Из-за этого - отрицательные аномалии силы тяжести. Такие астеносферные подушки найдены геофизическими методами и под Байкалом, и под африканскими рифтами, и под Провинцией долин и хребтов на западе США, и даже под Рейнским и Норвежским грабенами.

Но в отличие от океанических континентальные рифты почему-то не спешат превращаться в океаны, а устойчиво в течение миллионов лет остаются структурами расширения "в запасе". Они не расширяются в геологически ощутимых масштабах, не образуют океанов... Впрочем, из запаса они, похоже, могут выходить и в число активных. И тогда лопается континент и рождается новый океан. Так, видимо, было с огромным рифтом, который гигантским швом от полюса до полюса вспорол целых два древних континента - Лавразию и Гондвану, образовав Атлантический океан. Так, видимо, получилось и с Красным морем, будущим океаном. А это уже близко к африканским рифтам - похоже, скоро пробьет их час.

Да, они в запасе, континентальные рифты, они "не могут" раздвинуть кору и дать жизнь новому океану, ибо рифтам на Земле тесно и мощность их раздвигающего усилия различна. И "фора" - у океанических рифтов, где механизм раздвигания дна налажен давно. Но и эти рифты не вечны. Источник питающего их мантийного вещества может иссякнуть. Пример тому - бесследно исчезнувшие, но несомненно когда-то существовавшие срединные структуры закрытого древнего океана Тетис. Все рифты и океаны Земли - конкуренты. Возможно, судьба старого океана решается тогда, когда ослабевает активность непрерывно поддерживающих, расталкивающих его берега срединных рифтов. Тут же вступает в строй действующих рифт-"резервист" где-нибудь посреди континента, и "свято место" задвигается. Может быть, в тектонической истории Земли действует своеобразный закон сохранения постоянной длины действующих рифтов?..

Рифты-атланты, творящие лик Земли... Мощными мускулистыми руками они раздвигают свои берега, стремясь стать океанами. Многим это удается. Раздвижение невозможно до бесконечности. Чем шире океанический простор, тем большие силы требуется вкладывать для удержания владений. А силы не бесконечны, и атланты подвержены старости, и вот закрывается Тетис, и Тихий океан, несмотря на огромную мощь своих рифтов (самые высокоскоростные в мире - плиты, растекающиеся от тихоокеанских рифтов), кажется, начал отступать перед напором американского берега, медленно, но верно двигаемого рифтом атлантическим.

Океан - это движение. Это вечное усилие. Океан - это процесс.

Ну, а вся Земля в целом? Если раз в 10 лет делать с большой высоты фотографию какой-нибудь горной страны с одной и той же точки и продолжать это занятие 20 миллионов лет - миг на часах геологической истории, - то получится фильм, который можно будет просмотреть, с обычной скоростью нынешнего кинематографа, в течение суток. Мы увидим нечто похожее на поверхность кипящей каши. Поток оползней и обвалов с горных круч сольется в сплошное бурление. Сильнейшие землетрясения, раз в 100-1000 лет меняющие течение рек и раскалывающие хребты, превратятся в непрерывную ежесекундную дрожь, волнами прокатывающуюся по поверхности. Весь внешний покров Земли будет непрерывно и быстро, как самый быстрый поток, течь в низины и моря, обнажая стремящиеся кверху, под действием страшной внутренней силы, все новые слои горных пород. Континенты будут плыть, вздымая буруны, создавая вихри в каменной каше, со скоростью дредноутов.

Когда я был мальчишкой, мне попалась раз какая-то старая, дореволюционного издания популярная книга. В ней герои попадают на поверхность... мыльного пузыря. Став такими маленькими, они увидели на пузыре горы и доли, леса и моря. И когда они спросили у пахаря, как долго существует его мир, тот воззрился удивленно и заверил: вечно, и даже без особых изменений.

Так и наш мир тверд и неизменен только в масштабе нашей жизни, которой хватит от силы на полсекунды того фильма, один кадр которого снимается раз в десять лет. А всей истории человеческой цивилизации хватило бы на краткий, полуминутный эпизод.

Хорошенько представив себе все это, легче перейти к восприятию той революции, что происходит сейчас в науках о Земле. По существу все то упорное сопротивление, которое пришлось преодолеть в течение последних шестидесяти лет дерзкой теории мобилизма, это сопротивление людей, не желающих отказываться от остатков привычных представлений о хотя бы относительной устойчивости окружающего нас мира.

А сейчас... Точно высчитывается, сколько кругов - "рифт - зона Заварицкого - Бениоффа - мантия - рифт" вещество Земли успевает сделать с тех пор, как началось это движение... Оказывается, около восемнадцати кругов. К океаническому желобу, в глубины мантии по наклонно падающей туда литосферной ленте (здесь, как мы знаем, возможен поворот "на малый круг" - в жерло одного из вулканов островной дуги), в мантийные течения, в то место, где в результате какой-то еще дифференциации оно повернет либо наверх, к океаническому рифту и снова в породы океанического дна, либо вниз, в ядро, где своя циркуляция, свои колеса внутри-земного механизма.

Иерархия больших и малых кругов обращения, циркуляции определяет лик нашей Земли. Все подчинено этим колесам обращения, круговоротам, хотя в целом эволюция планеты однонаправлена, необратима. И здесь нет никакого парадокса: рост континентов, внутреннего ядра Земли, развитие жизни необратимы, ибо степень развития этих процессов, степень структурной сложности нашего мира прямо определяются естественным ходом земных часов, числом кругов обращения вещества (ундаций) во внутрипланетных циркуляциях.

Пять ступеней этой иерархии, пять рангов ундаций вещества планеты постулировал виднейший геолог и геофизик ван Бемеллен, тот самый, что писал о "релятивистском" подходе к описанию и объяснению структурной эволюции.

## Цепная реакция земли

"Геологическое развитие Земли - это результат громадной по масштабам и очень сложной цепной реакции", - пишет ван Бемеллен. Эта реакция, по его мнению, состоит как бы из двух этажей масштабности.

Первый, первичный этаж - это физико-химические реакции. Они направлены к установлению равновесия в субмикроскопических сферах. Эти реакции - радиоактивный распад, всякие фазовые переходы, тепловые взаимодействия, чисто химические реакции, кристаллизация и перекристаллизация. Но, устанавливая равновесие на своем этаже масштабности, физико-химический процесс неизбежно нарушает равновесие на другом, "мегакопическом" уровне. Гравитационное равновесие на планете, стремящейся принять форму капли, в разрезе строго разделенной на слои все возрастающего к центру удельного веса.

Когда это равновесие нарушается, колесики земной титанической машины запускаются. Перемещаются континенты, погружаются в мантию литосферные плиты, проскальзывают вдоль пластичных слоев разные земные оболочки. Ядро, например, явно вращается относительно всей остальной Земли с востока на запад, - а мантия, возможно, проскальзывает в том же направлении по астеносферному слою относительно твердой "кожуры" планеты - литосферы. Все эти процессы (их можно назвать первичными тектоническими, со всей свитой вторичных тектонических и геологических процессов), в свою очередь стремясь к равновесию, вносят элемент неравновесия в первую, физико-химическую сферу. Так и идет эта общая цепная реакция, раскручивая обороты то сильнее, то слабее, сопровождая и косвенно, возможно, вызывая вспышки жизни на Земле и великие вымирания, циклы горообразования и образования месторождений полезных ископаемых...

Когда в кулуарах геологического или сейсмологического совещания сталкиваются фиксист и мобилист, в яростном споре обязательно прозвучат малопонятные непосвященным слова: "вязкость", "пластичность"... Снова и снова возникает старое недоразумение. Вегенер понимал эти слова буквально, по-ньютоновски, и полагал, что континенты просто плывут по расплавленному подкоровому субстрату. Сейсмология положила конец представлениям о расплавленном субстрате. Все слои планеты, кроме внешнего ядра Земли, проводят как продольные, так и поперечные сейсмические волны. А поперечные волны могут идти только через твердое тело. Это было одним из сильнейших возражений против мобилизма и против любых представлений о "течениях" в мантии, о "ячейках конвекции" и т. д. Но уже Б. Б. Голицын, прекрасный физик, хорошо понимал, что с представлениями обыденного здравого смысла, с физической моделью вязкости "по-ньютоновски" в мантии делать нечего.

Голицын писал: "...благодаря тем громадным давлениям, которые господствуют на таких глубинах, вещество магмы (так в те времена называли подкоровое вещество. - А. Г.) но представляется нам в жидком состоянии, а является скорее телом пластическим, тягучим, чем-то средним между жидкостью и твердым телом (например, как смола, которая с течением времени может течь как настоящая жидкость)".

Пример со смолой стал классическим. Именно твердый вар и еще лед, которые при ударе рассыпаются как хрупкое вещество и, кстати, отлично проводят поперечные волны, на долгие годы стали иллюстрацией представлений о "твердой жидкости": и вар, и лед текут вполне заметно.

И только недавно эти интуитивные представления стали оформляться в математические и физические категории. Выяснилось, что при давлениях и температурах, характерных для земных недр, мантия становится "неньютоновской". Это и есть то, что Бемеллен называет релятивистской геомеханикой, перекидывая мостик между двумя "неньютоновскими" революциями в науке - в физике и в науках о Земле.

Итак, упругая, как сталь, мантия течет. Скорости этого течения примерно соответствуют максимальным скоростям взаимного перемещения плит на лике Земли - около 10 сантиметров в год. Чтобы замкнулась ячейка циркуляции среднего масштаба (то, что Бемеллен называет геондациями), то есть чтобы атом вещества прошел полный путь от срединного хребта до ближайшей островной дуги типа дуг Мексиканского залива, а потом вернулся обратно, к Срединноатлантическому рифту (учтем еще, что в прошлом расстояние между дугой и рифтом было меньше, а скорости расширения больше: океан-

то расширяется все медленнее), достаточно каких-нибудь 30-50 миллионов лет. Для мегаундаций, то есть замыкания грандиозных "колес" циркуляции,двигающих Америкой, Австралией, Индией, Африкой, плитами Тихого океана, время полного возвращения "на круги своя" - 100-150 миллионов лет. Это значит, что вещество, входившее в состав песчинок на океаническом дне где-то в юрском или меловом периоде, может, побывав в мантии и пройдя там через цепь реакций, снова появиться на поверхности и оказаться сейчас в песке одного из островов, затерянных в просторах океана.

Это значит, что новая глобальная циркуляционная тектоника впервые в истории науки дала геологам средство сверхдолгосрочного прогноза. Просто продолжая нынешние движения плит на ближайшие миллионы лет, мы уже можем нарисовать достаточно уверенную карту будущего расположения материков и океанов. Учитывая взаимодействие циклов-ундаций, можно попробовать предсказать и еще дальше, ответить, например, на вопрос, соберутся ли снова в ближайшие 150-200 миллионов лет материки в единую новую Пангею или нет, каков будет тогда климат и как расположатся месторождения еще не родившихся полезных ископаемых? И хорошо бы эти наши прогнозы было кому к тому времени сверить с действительностью!

## Соль тектоники

Мир идей в науках о Земле... Было бы неправильным представлять его себе так: вот есть теория, она консервативна, ложна, ей на смену приходит новая, правильная. Далека от полноты, на мой взгляд, хотя и ближе к истине, и такая модель взаимоотношений идей: вот две точки зрения, старая и новая, в противоборстве победит, конечно, новая, но возьмет лучшее от старой.

Ф. Энгельс писал: "...в физике и химии находишься среди гипотез, словно в центре пчелиного роя... Окончательные истины в последней инстанции становятся здесь с течением времени удивительно редкими.

Еще хуже положение дела в геологии, которая, по самой своей природе, занимается главным образом такими процессами, при которых не только не присутствовали мы, но и вообще не присутствовал ни один человек. Поэтому добывание окончательных истин в последней инстанции сопряжено здесь с очень большим трудом, а результаты его крайне скудны" (*Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 89*). Мир геологических идей - как бурлящая поверхность Земли в том "фильме эпох", где один кадр отделен от другого десятилетием. Геология существует как совокупность взаимоисключающих гипотез и теорий, каждая из которых связана с каждой множеством связей различного ранга. Точно так же океан существует постольку, поскольку непрерывно действуют все круги внутриземной циркуляции вещества.

В одном из предыдущих параграфов говорилось о том, что затянутые в мантию против градиента силы тяжести осадки рано или поздно начинают всплывать. Речь шла о затягивании легких вулканических и органических осадков в зоне глубоководного желоба, там, где конвейер морского дна поворачивает в недра земной тектонической машины. Все несложно: скорость засасывания океанической литосферы в мантию близ этих желобов - порядка 10 сантиметров в год. Легкие вещества, попавшие на чужой для них горизонт плотностей и удельных весов (в Земле ведь так: чем глубже, тем большего удельного веса вещества там расположены), по закону Архимеда, пытаются "всплыть" и всплывают. Но порядок скоростей всплывания твердого в твердом совсем иной, нежели скорость субдукции (погружения литосферы в пластичную астеносферу), - в десятки, а то и в сотни раз медлительнее этот встречный процесс.

И получается, что глубокие недра Земли гравитационно неустойчивы, пересыщены в зонах погружения плит легкими осадочными породами, причем тем больше, чем дольше существует эта зона и чем выше скорость пододвигания океанического дна под континентальную окраину... Один путь освобождения от этого вещества - термохимический: через вулканы выбрасываются продукты обезвоживания, дегазации, перегонки тонущих органических осадков. Но наверняка работает, и работает интенсивно (особенно после прекращения процесса субдукции), и другой процесс - процесс выдавливания, всплывания кверху огромных масс слишком погружившихся осадков.

Геологи-солевики сплошь да рядом имеют дело с этим явлением и называют его диапиризмом. Как только пласт соли оказывается захороненным под каменной или глинистой толщей более высокого, чем соль, удельного веса, пласт начинает пучить- будто пузырь хочет собраться и всплыть. Солевые купола часто прорывают все пласты и изливаются на поверхность, растекаясь, причудливо наплывая складками. Есть термин "соляная тектоника". Термин не случаен. Складки солевых пластов являются моделью настоящих складок в настоящих горных цепях, моделью, как говорят, с потрясающим уровнем подобия. И давно уже отдельные геологи задавались вопросом: случайно ли это сходство? И случайно ли многие горы в ранние этапы своего развития так напоминают по своему строению огромные соляные купола?..

Вершины многих гор в Вахшском хребте, недалеко от Гармской обсерватории, часто образуют структуры типа "каменного цветка", перевернутой складки, раскрытой кверху. Может быть, просто случайно несколько вершин после тысячелетий смыва и эрозии совпали именно с такими складками? Но, может быть, наоборот, мы видим срезы могучих излияний неплавленных, неразорванных осадочных пород под влиянием "геодиапиризма"? Ведь еще постукивает глубокими землетрясениями бывшая зона субдукции на юг от этих каменных цветов, совсем недавно закончилось здесь погружение легких пластичных известняков и песчаников меловых и третичных морей. А сейчас перед нами запоздалый результат этого насилия - легкие вещества куполами и складками "фонтанируют" ввысь. Конечно, наиболее глубоко погружившиеся из этих веществ попадают в царство высоких давлений, горячих растворов и подвергаются кардинальной перестройке на химическом и кристаллическом уровнях, превращаются в вязкие гранитные магмы - и таких излившихся в разные времена гранитных "плутонов" тоже немало и в окрестностях нашей, Гармской обсерватории, да и во всех горных цепях мира.

Легко представить себе, что, "всплывая" из глубин, где они были сжаты чудовищным давлением, пласты горных пород все быстрее разуплотняются, все неудержимее "выхлестывают" на дневную поверхность. И вот намечается еще одно соединение - соединение идеи геодиапиризма с идеей накопленной энергии: и то и другое хорошо стыкуется как с концепциями глобальной тектоники, так и с традиционным, сводовым вертикализмом. И не всеядностью, не беспринципностью попахивает от этого миролюбия и уживчивости, казалось бы, противоположных идей, а веет ощущением близости большого синтеза, становления обобщающей большой геотеории.

## Геопоэзия (вместо эпилога)

### Сейсмическая мутность

Сейсмология - наука о колебаниях. И, как таковая, она оказывается в ближайшем родстве с другими разделами физики, изучающими волны, - оптикой, акустикой, физикой радиоволн. Дисперсия, дифракция, интерференция, преломление, отражение, поляризация - с каждым из этих понятий в сейсмологии связан целый хвост чайаний и уже опубликованных работ.

И здесь чисто популяризаторский прием нестрогих аналогий оказывается часто путем к новому видению проблемы. Квантовая механика разрубила гордиев узел дилеммы "волна- частица" для света очень просто: она возгласила дуализм. И электрон не только частица, но и волна, и звук не только волна. В нелинейной акустике давно уже известно понятие фонона - элементарной частицы звука, ибо по универсальной переходной формуле Планка  $E=h\nu$ , где  $E$  - энергия частицы, а  $\nu$  - частота колебаний в волновом процессе, всякое волновое явление нетрудно изобразить как в виде потока частиц, так и в виде "цуга волн". Представив акустический процесс в виде потока фононов, физики добились немалых достижений в области изучения взаимодействия звука и решеток кристаллов.

Сейсмология очень близка к акустике. Продольные волны сейсмологии:- это по существу те же звуковые волны, только очень широкого диапазона частот, с мощным хвостом в инфразвуковой области - области самых длинных волн. Глазу непривычно видеть медленность таких колебаний, что-то нарочитое видится в неспешных зигзагах перописца на сейсмографе видимой записи, когда он начинает вырисовывать автограф далекого землетрясения. Что-то могучее и грандиозное в сравнении с эфемерным мельтешением обычных звуковых колебаний, не говоря уж о свете...

Но восприятия обыденного здравого смысла не всегда точны. Если по формуле Планка пересчитать сейсмические колебания в фононы, а точнее, в сейсмоны (ибо все-таки звук и сейсмические волны - это не совсем одно и то же), то великое обернется малым. Сейсмоны самых длинных сейсмических колебаний невероятно малоэнергичны в сравнении с фононами слышимого звука, не говоря уже о квантах радиоволн и тем паче о фотонах света. Это потому, что энергия дуалистической частицы равна произведению частоты (а она мала именно в сейсмодиапазоне) на постоянную Планка (постоянная есть постоянная).

Это значит, что квантованность, прерывистость сейсмического излучения невероятно мала, но она не равна нулю. А потому любую порцию сейсмической энергии можно изобразить в виде некоей (очень большой) суммы сейсмонов.

Как ведут себя сейсмоны? Вот мириады их, излученных сильным землетрясением, бегут со скоростью продольной волны (в коре - около 5 километров в секунду). Скорость продольной волны - абсолютная скорость сейсмического пространства-времени. Казалось бы, какая разница, как описывать процесс: от волны в нем как будто больше, чем от частицы. Но видный западногерманский сейсмолог Бергхеммер описывает затухание сейсмического излучения как диффузию фононов-сейсмонов, и его описание, как говорят специалисты, учитывает некоторые тонкие эффекты, в ином представлении непонятные.

Вблизи самого очага - полный набор сейсмонов, начиная от ультразвуковых и звуковых: Земля кричит в голос в районе сильного землетрясения. Этот гул часто предупреждает о начинающейся катастрофе. Еще Александр Гумбольдт, в начале прошлого века путешествовавший по Южной Америке, описал это явление. Два раба-негра, поднимавшие воду из колодца, испугались до беспамятства, услышав со дна колодца грозный крик земных недр перед толчком. Но наиболее энергичные высокочастотные звуковые фононы быстрее всего теряются на пути сейсмического луча. Татьяна Глебовна Раутиан, старейший сотрудник экспедиции и энтузиаст исследования землетрясений, с помощью частотно-избирательных приборов, раскладывающих колебания на спектр разных частот, с помощью фононов оригинально описывает процессы затухания и рассеивания сейсмической энергии на пути от землетрясения до сейсмоприемника.

Фононы-сейсмоны только начинают появляться на страницах сейсмологической литературы. Может быть, они так и останутся оригинальным способом описания. Но мне они симпатичны, и я болею за их более прочное утверждение в науке. Может быть, какие-то необычные заблаговременные изменения в потоке сейсмонов от слабых землетрясений позволят по-новому подойти и к проблеме прогноза сильных толчков?

Читатель этой книги уже информирован и о других параллелях между причинно-следственными странностями в термодинамике и даже квантовой физике, с одной стороны, и в сейсмологии - с другой. Одна из важных, основных проблем нынешней науки о землетрясениях - ее положение на распутье между чисто детерминистским и статистико-вероятностным путем, сходным с магистральным путем нынешней "Большой физики". Будет немного жаль, когда выбор будет сделан в пользу последнего пути (все же интуитивно хочется простых, "здоровых", стройных причинно-следственных рядов), но, по-видимому, это неизбежно.

Впрочем, некоторые видные деятели этой науки видят подвижную границу между "детерминистским" и статистическим компонентами предмета изучения сейсмологии. И даже считают, что первая задача науки, несущей ответственность за прогноз бедствий, - определить эти границы и получать результаты тем способом, какой в данной области наиболее эффективен. Сам объект исследования должен в каждом данном случае как бы сам диктовать, как его лучше изучать.

Друг и порой наставник в сложных дебрях сейсмологии замначальника экспедиции Алексей Николаев писал в заключение своей книги: "Природа быстро вступает в противоречие с идеализированными представлениями о ее состоянии и нередко выигрывает встречу с интерпретатором. Усложнение детерминированной модели не приносит утешения: интерпретация становится неопределенной, ее результаты расплывчатыми... Переход к статистическим моделям-это существенное упрощение задачи, позволяющее сравнительно легко миновать сложности изощренного детерминированного описания".

Сам А. Николаев сделал свой вклад в новое понимание проблемы, развив учение о мутности сейсмического пространства. "Мутность - это все те детали, которые вылезают за рамки детерминированной модели..." Алексей в свое время отлично знал, какое великолепное поле упражнений острякам он открывает введением термина "мутность". Но он проявил завидную стойкость и вышел победителем. Термин со временем прижился и завоевал сторонников.

Мутность сеймотектонического пространства - это нечто обратное понятию прозрачности этого пространства. Земля насквозь просвечивается сейсмическими лучами... Значит ли это, что Земля прозрачна для них? Нет! Так же как непрозрачно толстое стекло, сплошь заполненное пузырьками и кристаллами, каждый из которых пропускает свет, но каждый - по-своему. Такое стекло пропустит свет, но его нельзя назвать прозрачным. Оно заполнено неоднородностями. И на этих неоднородностях проходящий свет рассеивается.

Когда сейсмолог получает сигнал от далекого землетрясения, он отлично знает, что сигнал этот очень мало похож на первичный, испущенный очагом. Иногда говорят, что задача сейсмолога, получив сигнал, так его обработать, отфильтровать все постороннее, наносное, приобретенное по пути, чтобы, с одной стороны, получить чистый первичный сигнал, с другой - узнать все о пути следования луча. Это и есть главная задача сейсмологии с точки зрения детерминированной модели. Эту задачу можно сравнить с задачей астронома, наблюдающего свет далеких звезд. Он узнает, что звезда удаляется, что она вращается, узнает по спектру ее химический состав, а добавок и еще кое-что о межзвездной среде, через которую прошел луч, и даже об атмосфере Земли.

Но как выглядит претворение в жизнь этого идеала в сейсмологической действительности?

Даже если мы учтем ошибку прибора, специально уточним геологический разрез по пути следования луча, мы на нашей сейсмограмме всегда получим колебание, на какую-то величину "отскакивающее" от любых расчетных величин. Часто сейсмологи тратят годы на выяснение причин такого "отскока" (детерминистский идеал влечет сейсмолога, как огонь - бабочку!), ничего не выясняют, а потом, бывает, тот "отскок" куда-то девается, появляется другой, столь же необъяснимый.

Но, если вдуматься, так все и должно быть. Земля пропускает сейсмические лучи, но Земля не прозрачна для них. Можем ли мы выявить каждый кристалл в глубине толстого мутного стекла? Нет, да и не очень это нужно. Но мы можем сделать общую оценку мутности...

Так и поступил Алексей Николаев в своем изящном исследовании. Все отклонения амплитуд на сейсмограмме от картины, объяснимой с детерминистской позиции "докопаться до гвоздя", он записал в "коэффициент мутности" и стал широко и глубоко исследовать новый параметр. Широко - от степей Казахстана до окраинных морей СССР, глубоко - до верхней мантии. Ну, а об естественно-философской глубине такого подхода к проблеме я и не говорю - она очевидна.

## Дрейф неоднородностей

*Неоднородность! Не дрейфь!*

*Из экспедиционного фольклора*

Лично мне в диссертации А. Николаева больше всего нравится его необычайно одобрительное, я бы даже сказал, дружелюбное отношение к планете, доставшейся ему волею судеб для исследования. Геофизический результат своих исследований он видит прежде всего в том факте, что "Земля удачно создана для исследования мутности... обладает локальной однородностью статистических характеристик и достаточным их разнообразием, хорошо районирована и стратифицирована".

Это ясное удовлетворение доставшимся ему объектом исследования как нельзя лучше характеризует исследователя. Добродушный и неизменно благожелательный (не только к планете Земля), Алексей Николаев, на мой взгляд, в этом смысле выгодно отличается от тех ученых, которые вечно недовольны коллегами, аппаратурой, собственной должностью, собственной наукой ("не тянет-таки за физикой") и науками смежными ("все статьи пишут, а о деле не думают"), и даже объектом исследования, и математический идеал "квадратного океана", "однородной, идеально упругой" Земли в силу своей недостижимости у них становится поводом для недовольства той реальной Землей, которая требует стольких хлопот.

Земля - наш внутренний космос. Наши телескопы - сейсмографы, наши звезды - землетрясения. Сейчас во многих странах строятся целые системы сейсмостанций, хорошо между собой связанных, позволяющих с максимальной точностью фиксировать устройство "внутреннего космоса".

- Ошиблись американцы, построили свою ЛАСА (телескопную систему сейсмостанций. - А. Г.) в мутном месте. Там рельеф поверхности Мохо и мутность коры портят всю картину. Можно было бы попрозрачнее окошко найти. - Это Алексей говорит.

- А где попрозрачнее?

- Да во многих местах. Вообще на континентах везде довольно большая мутность - в верхних десяти километрах. Здесь больше всего всяких неоднородностей. Что за неоднородности? Всякие, но вообще можно иногда и выявить какие. Волны рассеиваются больше всего на неоднородностях - пузырьках диаметром того же порядка, что и длина волны. Так мы узнали, что, скажем, в толще осадков под дном Черного моря поперечник неоднородности - два-три километра. Именно такие размеры имеют те включения в "стекло" нашей планеты, которые портят настроение стольким сейсмологам. Глубже десяти километров кора становится все прозрачнее. Мантия особенно прозрачна, и это хорошо: ведь через нее проходит основной путь сейсмических лучей от дальних землетрясений. Нам было интересно, как проявит себя подошва коры - граница Мохоровичича. Ведь она могла повести себя как шершавая поверхность матового стекла, и это означало бы, что эта поверхность, отделяющая кору от мантии, - неровная. Но раздел Мохоровичича проявил себя с хорошей стороны. Для сейсмических волн он прозрачен, как поверхность моря в полный штиль... Самая прозрачная кора - ближе к океанам. Там, на дне, и устроить бы сейсмотелескоп... Но это еще не скоро будет. Есть и на материке места неплохие.

Конечно, хотя Алексей и доволен своей наукой и планетой, есть у него и мечты. Одна из них - "заложить сейсмические эпохи" (*Прочитав главу в рукописи, А. В. Николаев по поводу этого места писал мне: "Это не мечта. Просто я уверен, что так и будет, стало быть, пора начинать... Мечта - это скрыться на 2-3 года и заняться спокойно осмысливанием материала". Этот подход к прогнозу научной деятельности: "так будет, значит, надо начинать" - конечно, правилен. Но превращение замысла из мечты в делаемое дело - процесс не мгновенный и закономерный. И я оставляю здесь слово "мечта" - оно отражает какую-то часть реальности...).* Где-нибудь в Приморье один раз, скажем, в год производить сильный взрыв. Специально расставленная для всеохватного приема аппаратура принимает сигналы. ЭВМ сравнивает полученные сигналы, выявляет изменения во времени. Разные, сейсмические лучи, прошедшие под альпийским складчатым поясом, Сибирью, океаном, покажут в развитии тектоносейсмическую жизнь земных глубин. Ведь сильнейшие землетрясения готовятся десятки лет, и их подготовка тесно связана с "брадисейсмическими" (выражение Голицына), то есть медленными, перемещениями коры и подкорковых масс. Аномалии скоростей, неоднородности, выявленные николаевской методикой в масштабах десятков лет, возможно, обнаружат и, кажется, уже обнаруживают заметный дрейф, показав воочию несколько кадров из всемирного геологического процесса.

## Сейсмовидение

*У сейсмологии нет выбора -  
Иль прозябанье, или вибро!  
Из экспедиционного фольклора*

Аспирант Института физики Земли Петр Троицкий в тысячный раз всматривается в кубик парафина, просверленный в глубине крест-накрест, - простая модель кусочка земных недр, которые нужно сделать объемно видимыми, прозрачными. Надежда и сомнение борются, теснятся в его душе. И почему-то он не очень удивляется, когда на верхней грани парафинового кубика неожиданно возникает странная фигурка крошечного старичка с белой шелковистой бородкой и в островерхом капюшончике. Старичок приветливо улыбается, протягивает руку - и вот уже аспирант рядом со старичком, на гладкой парафиновой поверхности, они идут с маленьким гномом - теперь не таким уже маленьким, Троицкий немногим выше, - рука об руку они входят внутрь парафиновой модели, ясно видны тускло просвечивающие стены коридора, которые Троицкий сам сверлил дрелью. Они доходят до пересечения коридора - дырки с другим подобным накрест просверленным коридором, и старичок что-то говорит, успокаивая. Вот, мол, видишь, все правильно, все на совесть, а сейчас самое главное. Они выходят из полупрозрачной парафиновой глыбы и вступают на узкую зыбкую дорожку, прямо, как стрела, устремленную в черную даль. Троицкий догадывается: это луч лазера, сейчас они дойдут до скрещения этого луча с его отражением от голограммы... И вот уже виднеется впереди яркая точка, она все ближе, и Троицкий ясно видит: перед ним крошечное серебристое изображение того парафинового куба, что высится сзади гигантским небоскребом, а в середине голографического объемного - хочется пощупать - изображения ясно видны крест-накрест две дырки. "Ну вот, а ты волнуешься, - говорит старичок, - все получается, не бойся, работай дальше". Он куда-то исчезает, а Троицкий с радостно бьющимся сердцем протягивает руки к объемному изображению, они, как и должно это быть, проходят через призрачный образ, не встречая сопротивления, и... Троицкий просыпается. Звонит будильник, за окном голубеет небо, красно-листая по-осеннему черешня шелестит ветками по стеклу. Талгар, город-спутник Алма-Аты, предгорья заснеженного Заилийского Алатау, конец октября 1973 года.

Я должен попросить прощения у читателя за еще один пересказанный сон. Но и этот сон - факт, причем широко известный в наших экспедиционных кругах. Правда, голографическое изображение той условной неоднородности, которая будет играть важную роль в будущей диссертации. Троицкий видел не только во сне, но и наяву, в лаборатории.

Голография! Изобретение XX века, осуществившее еще одну мечту фантастов, долго казавшуюся несбыточной, - объемное, максимально близкое к оригиналу изображение реальных предметов.

Говорят, уже близко к реализации объемное движущееся изображение...

"Под сводом, возведенным на потрескавшихся, изъеденных колоннах, стояла женщина, словно ожидая меня... Я уже различал ее лицо, мерцание искорок в бриллиантовых пластинках, закрывавших уши, белую, серебрящуюся в тени ткань. Я не мог поверить. Сон? Я был в нескольких десятках шагов от нее, когда она запела... Я боялся спугнуть ее, шел все медленнее. Я был уже в световом круге, охватившем каменную беседку... Ее голос усилился, она призывала мрак, умоляла, замирая, руки упали, как будто она забыла о них... Я не знал, что такое возможно... И вдруг за моей спиной какая-то девушка пробежала к беседке, за ней кто-то гнался... она сбежала по ступенькам вниз и пронеслась сквозь стоявшую... Я отошел в темноту с окаменевшим лицом, как ребенок, которому раскрыли, что сказка - ложь".

Это уже не из сна. Это - реал, объемное телевидение из "Возвращения со звезд" Станислава Лема. И вот к принципам голографии, объемного видения обратились сейсмологи...

Реальность фантастическому реалу придало изобретение лазеров. Это пока единственный возможный источник когерентного излучения, излучения одной частоты, чистого цвета. Обычный свет, которым мы пользуемся, даже окрашенный специальными светофильтрами, - это смесь волн разной длины. Излучение Солнца - это сплошной спектр волн разной частоты.

Если осветить когерентным излучением статуэтку и рядом - фотопластинку, то свет, попав на пластинку двумя путями - напрямую и отразившись от статуэтки, образует на пластинке хаотический на взгляд набор черных и белых пятен - интерференционную картину. Колебания в одной фазе усилят, а в противофазе ослабят друг друга. Потом луч лазера той же частоты, попав на проявленную пластинку - голограмму, сделает в принципе то же, что делает игла проигрывателя, бегущая по пластинке. Он воспроизведет запись, в данном случае - видимый оригинал, в пространстве рядом с голограммой, воспроизведет как объемное изображение.

Сейчас сейсмологи находятся в "долазерной" эпохе. Сейсмограммы обычные - это запись всех волн, приходящих от землетрясения. Можно пропустить запись через фильтры и получить сейсмограммы разного сейсмического "цвета" - 1, 3, 10 герц... Так работают частотно-избирательные сейсмо-станции, создание советского сейсмолога Х. К. Запольского. Но когерентного излучения типа радиоволны в локаторе или лазерного луча сейсмологи еще практически в своем распоряжении не имели.

Между тем прообраз сейсмического локатора или лазера уже есть на нашей планете... Сейсморазведчики для просвечивания недр используют взрыв, Сейсмическое широкополосное излучение такого источника колебаний тоже немало дает исследователю. Но взрыв есть взрыв. В море он глушит рыбу, на суше тоже не слишком приятен. Развернувшаяся в последние годы всемирная борьба за охрану среды обратила свои взоры и на такой источник шума, загрязнений и опасностей для всего живого, как разведочные взрывы. И появились вибраторы. Одну такую машину я видел как-то на крыше строящегося антисейсмически укрепленного здания в Алма-Ате. Несколько грузов-эксцентриков, укрепленных на могучих валах, начинают вращаться. Регулируя скорость вращения, вес эксцентриков, их взаимное положение, можно подобрать разные, строго заданные частоты искусственного землетрясения, направление колебаний (эксцентрики в горизонтальном направлении оказываются в фазе, а в вертикальном - в противофазе; вот и источник поперечной вибрации). В США вибраторы, установленные на грузовиках, служат для сейсмического просвечивания недр в целях разведки полезных ископаемых. Но Николаев и Троицкий хотят большего. Вибратор может стать "реалом" сейсмологии. И месторождение полезных ископаемых, и очаг землетрясения, и вулканическая камера в недрах огнедышащей горы, и погруженные в мантию плиты литосферы, бывшие некогда земной поверхностью, и граница между ядром планеты и мантией, где задается ход величественного кипения недр Земли и вырабатывается магнитное поле планеты, - все это объекты для будущего сейсмовидения.

Сейчас сейсмолог подобен музыканту, который, вместо того чтобы слышать мелодию, разъял музыку как труп... Или представьте себе существо, практически слепое, но научившееся с помощью приборов записывать странные колебания в окружающей его среде. Оно запишет много таких Колебаний, установит, что они исходят из определенных источников, установит много интересных закономерностей в амплитудах, частотах колебаний, их затухании и рассеянии. А теперь допустим, что это существо, равное нам по разуму, но с другими органами чувств, живет наподобие неких слепых муравьев... на красивой, покрытой цветами лужайке. И все регистрируемые этими крошечными существами колебания - это волны видимого света.

Бесспорно, такие существа могут больше нашего узнать о свойствах колебаний, частотных характеристиках разных источников излучения, но догадаются ли они о существовании лужайки? Наверное, завяжутся между ними споры о том, как подходить к замеченным ими отклонениям от строго закономерной, по их мнению, картины - с позиций ли чистого детерминизма, расследуя причины каждого отклонения, или с позиций статистического детерминизма, примирившись с такими отклонениями как с неизбежностью и пытаясь вписать их в некую картину с более широкими рамками... И победителем окажется тот, кто сможет посмотреть на явление совсем другими глазами, и не "сбоку" (по существу сейсмограмма и любая механическая запись колебаний - это механический срез ряда волн вдоль оси времени), а "в лоб", силясь увидеть целое изображение из всей совокупности приходящих волн.

Если опять перейти к Земле и сейсмологам, то здесь таким способом настоящего сейсмовидения (а не сейсмометрии), может быть, окажутся со временем именно голографические принципы высвечивания всех подробностей внутреннего устройства Земли. Интересно, что будущие сейсмограммы легко представить себе цветными. Цветом можно закодировать гамму частот сейсмических волн, с которыми имеет дело сейсмолог. Самые длинные - красным, оранжевым цветом, короткие - желтым, зеленым, синим... Ведь различные структуры нашей планеты весьма по-разному проводят, рассеивают и отражают сейсмические волны разных частот. Каждую область исследуют в нескольких длинах волн, и общий результат, изображение в сейсмовидении, окажется расцветенным, а значит, и более информативным.

...Петр Троицкий взял большой кусок парафина и высверлил в нем два перекрещивающихся отверстия - неоднородность. Затем обложил брусок пьезоэлектрическими датчиками - они у него служили "сейсмографами". "Неоднородность" просвечивалась источником ультразвука (в лабораторных опытах - частая замена длинных сейсмических волн). Интенсивность "озвученности" каждого датчика была измерена и нанесена в виде по-разному зачерненных квадратов на лист бумаги. Это была голограмма. Лист потом сфотографировали, и кадр пленки использовали как уменьшенную копию голограммы. В соответствии с масштабом этого уменьшения была подобрана частота лазера (уменьшение понадобилось потому, что световые волны намного короче ультразвуковых). Когда лазером осветили кадр голограммы, в черном пространстве прибора Николаев и Троицкий увидели изображение своей "неоднородности". Она была не так прекрасна, как певица из "Возвращения со звезд", - крестовина и все, но исследователям она была намного дороже самой прекрасной "неоднородности" из фантастики. Первый шаг был сделан. Звуковую голограмму можно переводить в световую. Значит, и сейсмическую можно будет. Волны есть волны, все они описываются одними законами. Значит, не за горами объемные изображения самых таинственных неоднородностей, скрытых в глубинах Земли. Повторенные через годы, такие сейсмоголограммы покажут движения в сокровенных недрах; не окажутся для них невидимыми и опасные сгущения энергии в районе готовящегося землетрясения.

## Земля-корабль

Геопозия... Так назвал один американский геолог странный мир, открывающийся перед современными науками о Земле. Это не порицающий, а скорее подбодряющий эпитет. В эпоху научной революции поэзия гипотез порой преобладает над сухостью детального анализа.

Началось это в конце прошлого - начале нынешнего века, когда ученые узнали, что наша планета не совсем равномерно обращается вокруг собственной оси. Эта неравномерность ярко выражена в масштабе десятилетий. Особо сильные ускорения в угловом движении испытала Земля в 1898 и 1920 годах. Таинственным образом меняется угловая скорость поверхности вращающейся Земли и в течение года. Сейчас она максимальна в июле и минимальна в январе. Потрясающее и многозначительное совпадение: по этому же закону распределяется в году средняя частота сильных землетрясений на планете (как коровых, так и глубоких) - максимум в июле, минимум в январе, с разрывом между ними примерно процентов в двадцать.

Н. Н. Парийский и некоторые другие ученые видят в этом совпадении подтверждение гипотезы, связывающей сезонные изменения угловой скорости вращения Земли с движениями циклонов и антициклонов по лику планеты. Может быть, так оно и есть? Но... эти глобальные метеорологические процессы поддаются расчету - нет, не могут они объяснить загадочных сезонных изменений.

По мнению члена-корреспондента АН СССР П. Н. Кропоткина, гораздо вероятнее, что изменения угловой скорости вызваны небольшими вариациями в течение года в размере среднего радиуса планеты (с этой величиной момент вращения Земли связан квадратичной зависимостью). Вслед за американским ученым Р. Дике П. Н. Кропоткин указывает еще на одно совпадение. Именно в июле скорость бега Земли по ее орбите вокруг Солнца складывается со скоростью движения самого Солнца в Галактике, а в январе вычитается из него!

А по формуле Лоренца масса тела зависит от его скорости. Это релятивистское увеличение массы - для близкосветовых скоростей и микрочастиц, и не всякому может прийти в голову идея примерить те же формулы для нашего обычного макромира. Выше скорость движения по орбите - больше масса. Масса больше - больше сжатие планеты. Больше сжатие - быстрее вращение. Если теоретически подсчитать это ускорение вращения Земли в результате релятивистского увеличения массы планеты в июле, в момент максимальной скорости движения планеты относительно всей совокупности окружающих нас миров (оказывается, это в некоторых случаях допустимая система отсчета), получится величина, почти совпадающая с наблюдаемым ускорением вращения планеты. На 1,25 миллисекунды сутки в июле в среднем короче, чем в январе!

Конечно, летнее (для нашего северного полушария) возрастание массы Земли должно сопровождаться и увеличением силы тяжести примерно на одну стомиллионную. Но существующие методы определения силы тяжести не позволяют заметить такое изменение. И если гипотеза Дике - Кропоткина справедлива, получается, что изменения угловой скорости Земли - гораздо более точный измеритель земной гравитации, чем самые лучшие приборы.

Эффект ежегодного изменения "активной массы" нашей планеты зависит еще от одного параметра. Он максимален, если плоскость земной орбиты вокруг Солнца (эклиптика) параллельна движению всей системы вокруг центра Галактики. Если же эклиптика расположена поперек этого движения, то скорость Земли 30 километров в секунду не складывается и не вычитается из скорости Солнца (около 250 километров в секунду). И никаких изменений массы, а также угловой скорости вращения Земли не будет!

В каком же положении находится Солнечная система сейчас? Оказывается, намного ближе ко второму случаю. Угол между направлением движения Солнца в Галактике (а оно лежит сейчас к созвездию Цефея) и плоскостью эклиптики равен примерно 70 градусам! Нетрудно подсчитать, что в случае, если этот угол равен нулю (а в таком положении Солнечная система была 50 миллионов лет назад), ежегодная пульсация Земли будет в 100 раз больше теперешней! Это значит, что примерно во столько же раз увеличивается в эти эпохи горообразовательная, сейсмическая и вулканическая активность планеты. Если какие-то новые наблюдения и подсчеты подтвердят гипотезу Дике - Кропоткина, это будет означать, что в распоряжении геологов новое мощное орудие долгосрочного прогноза. Ведь впереди в ближайшие 15 миллионов лет - дальнейшее приближение нашей Солнечной системы к перпендикулярному взаимному положению эклиптики и направления движения системы, когда ежегодных релятивистских приращений массы и угловой скорости просто не будет! И следовательно, на минимуме окажется та часть сейсмотектонической активности, которая возбуждается этими ежегодными вариациями.

...Эффект приращения массы электрона в зависимости от скорости впервые предсказал еще в 1895 году К. Лоренц. В эксперименте это гениальное предвидение впервые подтвердили, измеряя отношение массы электрона к его заряду ( $m/e$ ) в лучах радия. Заряд не зависит от скорости, поэтому изменение этого отношения сразу же показало справедливость предположения Лоренца. П. Н. Кропоткин считает, что "в случае гравитационных деформаций Земли мы тоже имеем дело с изменением отношения  $m/e$ . Упругие свойства Земли целиком определяются зарядами электронов в оболочках ато-моз". А раз так, продолжает свою мысль Кропоткин, увеличение массы планеты каждый год должно приводить к заметному увеличению сжимающих напряжений в литосфере планеты, что не может не сопровождаться повышением уровня сейсмичности.

Фантасты любят помещать своих героев в "релятивистские" условия путешествий. На сверхбыстрых ракетах космонавты скитаются по Вселенной, испытывая на себе парадокс близнецов (полетавший близнец все еще юн, а его брат-домосед уже старец), увеличиваясь в массе при субсветовых скоростях и даже полностью "переходя в излучение" по формуле эквивалентности энергии и массы. Но мы и так "на космическом корабле", и в нашем распоряжении немалые скорости: 30 километров в секунду - скорость Земли, и еще 250 километров в секунду - скорость нашей Солнечной системы в Галактике. Есть какая-то, и немалая, своя скорость и у самой Галактики в системе общего разлетания Вселенной. Эти скорости еще долго не будут достижимы для наших ракет. Но мы их и связанные с ними парадоксы мира высоких скоростей можем с комфортом изучать и никуда с Земли не вылетая.

Вы стоите на дачной платформе. Гудит приближающийся поезд дальнего следования. Вот промчался ревущий электровоз - и сразу тон сигнала становится ниже. Эффект Доплера! Астрономы уже заметили, что знакомые им полосы разных элементов в спектрах звезд в той части неба, куда быстро летит наше Солнце, заметно смещены в более коротковолновую, фиолетовую часть спектра. На фоне общего "красного смещения" разбегающегося мира звезд эта "цель пути" выделяется особо контрастно. И вот теперь не исключено, что, наблюдая вариации в частоте сильных землетрясений, мы отмечаем самые таинственные из странностей релятивистского мира - странности переменной гравитации.

## О пользе аналогий

Читатель, вероятно, уже отметил, что автор часто обращается к идеям и образам новейшей физики. Возможно, для того чтобы попытаться уловить закономерности в нынешнем вихре событий, происходящих в науках о Земле, существует и другой путь. Возможно, проводимые параллели могут при внимательном рассмотрении оказаться не совсем параллельными, как-то произошло в геометрии Лобачевского. В свое оправдание могу только сказать, что сами основатели новой физики, объясняя "на пальцах" категории своей науки, смело обращались к закономерностям макромира, усматривая там не просто аналогии, а проявления общих законов мироздания. Подобное единство общих закономерностей видели в мире - от атома до звезд - и основатели диалектического и исторического материализма.

Ну, а подобрав соответствующие оправдания, осмелюсь продолжить... Разве не странен мир, сферическая поверхность которого расширяется, а сам он тем не менее объема не меняет? Такова Земля по представлениям новейшей глобальной тектоники. Не заставляет ли эта установленная особенность нашей планеты иначе взглянуть на странность разлетающегося мира галактик?

Традиционно при сопоставлении микромира и геологического мира говорят о разнице временных масштабов на этих двух системных уровнях, подразумевая всегда длительность существования Земли и эфемерность атома. Но время относительно. В системе атома - иной счет времени. И если геологический мир можно сопоставить с миром атома, то только наоборот: Земля являет собой пример изумительной кратковременности (только как бы поставленной для нас под увеличительное стекло еще большей эфемерности нашего собственного существования), рядом с которой время атома - вечность.

Вот что писал об этом Макс Борн:

"Считается, что возраст мира составляет  $10^9$  лет (сейчас эта цифра увеличена на порядок -  $10^{10}$ . - А. Г.), то есть орбитальных периодов Земли. С другой стороны, число периодов в основном состоянии водородного атома - порядка  $10^{13}$  в секунду. Таким образом, когда время измеряется в подходящих для каждого случая единицах, то ситуация как раз противоположна простому пониманию: звездный мир является короткоживущим, а атомный мир - чрезвычайно долгоживущим".

Собственное время системы... Кто знает, сколько закономерностей мы не можем увидеть, по привычке отсчитывая все по эталонам нашего общепланетного времени? Мы жалеем бабочку-однодневку, но по сравнению со скоростями наших собственных жизненных процессов она живет, возможно, дольше нас. И время жизни великого человека, оставившего миру десятки томов бессмертного материала для размышлений, несравненно длиннее времени жизни посредственности. Гёте главной своей заслугой считал умение из каждой минуты делать маленькую вечность...

Сеймотектоника имеет дело с геологическим пространством и геологическим временем. Число землетрясений определенной энергии в определенном объеме есть величина постоянная только в масштабах годов и сотен тысяч кубических километров. В процессе подготовки землетрясения собственное локальное пространство-время в зоне подготовки начинает менять свою метрику, что и проявляет себя разными прогностическими признаками.

Локальное сейсмическое пространство приобретает другую кривизну (именно так можно объяснить прогностическое изменение отношения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн, ибо это отношение связывает через простую формулу истинный и кажущийся углы выхода сейсмического луча на поверхность Земли). Напряженные перед ударом недр как бы поляризуются - появляются запретные направления для подвижек в слабых землетрясениях; отсюда возможность прогноза по механизмам землетрясений.

Меняется и отсчет собственного времени в период подготовки толчка. Почти с самого начала существования сейсмологии ученые знают: если нет или очень мало толчков в сейсмическом районе - жди катастрофы. Если сравнить собственную временную шкалу сейсмического процесса, размеченную сейсмическими событиями, слабыми землетрясениями, с нашей обычной часовой шкалой, то этот эффект

выглядит как резкое замедление собственного времени в перенасыщенном потенциальной энергией объеме горных пород. Чем не аналогия замедления времени в космическом корабле, достигшем близкосветовой скорости?

Гармские сейсмологи Виталий Пономарев и Юрий Тейтельбаум с помощью нашей старенькой ЭВМ "Мир" попытались проследить, как это происходит.

...Машина выдает один за другим помесечные "срезы" событий, происходящих в сейсмической жизни района. Начиная, например, с июля 1957 года на карте района появляется огромное светлое пятно, свободное от землетрясений с энергией  $10^9$ - $10^{11}$  джоулей. Сейсмическое время как бы остановилось для внешнего наблюдателя на целых пять месяцев. В то же время прямо на границе этого пятна сплошной цепочкой выстроились "дефицитные" землетрясения. Выстроились, а переступить "запретную черту" не могут. И вот 7 января 1958 года прямо посреди "запретной зоны", в хребте Петра Первого, происходит землетрясение с энергией  $10^{13}$  джоулей - сильное по масштабам района. И после этого события, как по приказу, снимается запрет. Белое в течение почти 5 месяцев пятно покрывается кружками слабых землетрясений всех уровней энергии.

В момент, когда пишутся эти строки, в Гарме еще нет регулярного прогноза землетрясений по комплексу предвестников. Возможно, основой такого прогноза будут ежемесячные карты и кривые Виталия и Юрия. Подозрительные "затишья" в сейсмической активности как во времени, так и в пространстве будут проверяться всеми разработанными к тому времени способами. И если предварительный прогноз подтвердится, скажем, данными о смене типов подвижек в очагах землетрясений или понижением отношения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн, можно будет объявлять тревогу.

Почему происходят затишья перед сейсмической бурей? Что здесь причина, что - следствие? То ли сильный толчок происходит из-за того, что сейсмическая энергия, долго не расходуясь, накапливается, то ли наоборот, среда, "предчувствуя", что землетрясения не миновать, начинает заранее скапливать силы для решающего удара. Как ни странно, больше похоже на правду второе предположение. Лабораторные эксперименты показали: если сдавливать в тисках кусок любого твердого материала, он потрескивает все время с настойчивой регулярностью. Но за некоторое время до полного разрушения трески всегда внезапно прекращаются. Самые общие рассуждения (например, приведенные выше - об изменении самого пространства-времени в перенасыщенном потенциальной энергией объеме), по-новому и интересно описывая события, недостаточно наглядны. Можно, конечно, вспомнить о законе сохранения энергии (сумма потенциальной и кинетической энергий есть величина постоянная, а значит, после затишья неизбежно землетрясение), но и эта элементарная формула, описывая явление, не объясняет его.

Между тем, как мы уже видели, в окружающем нас мире происходит немало вещей, непонятных с точки зрения обычного, механического понимания причинно-следственных связей. То в одной, то в другой научной дисциплине начинают раздаваться голоса: мы видим нечто объяснимое, только если предположить, что у процесса существует какая-то намеченность, цель! Но ведь цель может быть только у разумного существа... Как же выйти из этого философского парадокса? Что за "цели" могут быть у природы?

## Цель или следствие?

...Я люблю бывать в Ленинграде. Ленинградская наука отличается, на мой взгляд, каким-то более задумчивым, менее торопливым отношением к исследованию. Отсюда, наверное, это повышенное внимание ленинградцев к структуре, скрытым связям, к философии природы.

Однажды в среде геологов и биологов зашел разговор о явно чужой проблеме - о "тепловой смерти Вселенной". Все процессы во Вселенной могут идти, только пока есть перепады энергий, как гидроэлектростанция может работать лишь при условии, что уровень воды за плотиной будет ниже, чем перед ней. А паровой двигатель будет работать только в том случае, если температура в топке намного выше, чем в окружающей среде. В Восточном Памире, на высоте 4 тысяч метров, встречаются плоские и слабохолмистые степные ландшафты, совершенно нетронутые "пропиливающей"

деятельностью воды. Не потому, что там вовсе нет воды, а потому, что далеки от этих мест склоны и спуски, где немалая потенциальная энергия вознесенной на такую высоту воды могла бы себя показать, стать кинетической энергией работы.

Физики видят и знают процессы перекачки энергии с высоких уровней на низкие, но обратный путь - вознесения энергии на высший уровень - возможен как будто только как частность, боковое ответвление главной тенденции. Воду в горы приносит метеорологическая машина Земли, безвозвратно затрачивая на это солнечную энергию.

Различие между настоящим и будущим многие физики связывают с необратимостью тепловых явлений. Этот результат, содержащийся в трудах Максвелла, Больцмана, Гиббса и Эйнштейна, является "одним из величайших достижений науки вообще" (М. Борн). Именно отсюда пошла закон минимизации потенциальной энергии - основа всей инженерии и закон возрастания энтропии - главный закон Вселенной...

А поскольку, как сейчас считают, Вселенная (во всяком случае та Вселенная, которую мы в состоянии наблюдать) имела когда-то начало в виде взрыва некоей первоначальной ядерной капли (максимум потенциальной энергии), то будущее ее тоже ясно: энтропия стремится достичь максимума. Вблизи максимума все тела Вселенной должны оказаться на почти ровной "энергетической плоскости". Ничто никуда не сможет перетекать. Все процессы замедлятся, почти остановятся...

В той ленинградской гостиной чувствовалась грусть по поводу столь безнадежного будущего (пусть даже и отдаленного от нас невообразимыми сотнями миллиардов лет).

Во всем видимом мире все как будто стремится прочь от всего, и процессы развала, разлета, взрыва сейчас преобладают над силами кропотливого собирания. Вспомнили "демона Максвелла", который должен аккуратно раскладывать атомы: высокоэнергичные - в одну кучку, а "выдохшиеся" - в другую, чтобы постоянно поддерживать высокий средний уровень потенциальной энергии во Вселенной. А демона все нет, не нашли его астрофизики. Вялая попытка одного из участников разговора спасти Вселенную тем, что разлетающиеся миры должны когда-нибудь остановиться в своем разлете и полететь обратно для нового взрыва, а значит, и для нового подскока на высокий энергетический уровень, была жестоко подавлена. Уже подсчитал какой-то физик, что плотность материи во Вселенной меньше той, которая необходима для такого поворота. Правда, некоторые другие физики и астрономы считают, что во Вселенной есть некие скрытые массы, которые еще могут изменить дело. Но модель пульсирующей Вселенной может не столько убавить; сколько прибавить работы философам.

А обратившись к Земле, биологи и геологи с облегчением констатировали, что у них, к счастью, все не так, все иначе. Нет, на Земле не видно следов возрастающего развала, затухания процессов. И геологическая, и биологическая формы существования материи прогрессируют, изоцряясь и как бы конкурируя в сложности, интенсивности процессов, в причудливости форм. И в геологии, и в биологии в отличие от астрофизики ученые имеют дело с законом возрастания сложности и, может быть, с возрастанием размаха процессов.

И тогда один из присутствующих, молодой геолог, произнес: структурная энтропия. Потом, я слышал, эта идея была им развита и даже опубликована. Но тогда это было неожиданно, а потому особенно интересно.

...А что, если существует параллельно с энтропией энергии энтропия структуры, направленная во времени в противоположном первой направлению? В теории информации тоже есть понятие энтропии. Она описывается теми же формулами, что и энергетическая, и это не случайно. Понятие информационной энтропии во Вселенной как бы противоположно по знаку энергетической и в этом смысле совпадает со структурной. Вначале в ядерной безликой капле структурная энтропия была равна бесконечности - полное отсутствие структуры и формы. Но со временем параллельно возрастанию энергетической энтропии структурная стала убывать. Появились новые тела-планеты. На планетах зародилась кора, горы, тронулись циклы внутрипланетных процессов. Рассеянные в огромной массе редкие атомы стали наперекор закону диффузии, рассеяния собираться в мощные скопления - месторождения полезных ископаемых. Жизнь явилась венцом геологической эволюции, она сохранила и умножила способность планетной формы движения материи к накоплению информации, сложности.

- Выходит, конец состоит в полном отсутствии процесса при абсолютном совершенстве формы? - спросил кто-то. Все представили себе причудливые формы построек межпланетных, межзвездных цивилизаций, прозрачные кристаллы, застывшие навеки в холодной Вселенной, лишенной перепада Уровней энергии, и всем стало еще грустнее.

Но расфантазировавшийся в тот вечер молодой геолог предусмотрел другой конец своей истории.

- Что знаем мы о начале всего? - спросил он. - То, что капля, от которой все пошло, была неустойчивой. Ведь она почему-то взорвалась. Суть же самого процесса не в том, что уменьшается могущая быть использованной энергия, а в том, что, чем дальше, тем более эффективный в смысле накопления информации и усложнения структуры результат достигается при все меньших энергетических затратах. В этом согласны и биологи и геологи. Мне кажется, на этом основании можно даже дать прогноз дальнейшего развития нашей цивилизации, основная черта которой - потребление невероятного количества энергии. Такой путь развития не может продолжаться бесконечно. Он и невозможен (из-за ограниченности энергетических ресурсов), и опасен (можно перегреть Землю энергетическими отбросами), и не нужен (КПД наших машин все еще до смешного ничтожен).

- А насчет конца... Я верю в законы симметрии. Что знаем мы о другом конце ниточки причин-следствий? Может быть, полная энергетическая энтропия при полном отсутствии энтропии структурной столь же неустойчивое состояние? Не забудьте, самые высшие формы материи наверняка будут не только более разумными, но и более могущественными, чем мы. И поворот событий в другом направлении станет для них чем-то вроде главной цели. Ведь даже мы на нынешнем уровне нашего развития умеем освобождать энергию, заключенную во многих природных структурах...

Оставив ленинградскую гостиную и столь отдаленное будущее - предсказать его, вероятно, невозможно в силу принципа неопределенности, - попробуем разобраться в главном.

Итак, между прошлым и будущим в нашем мире есть определенная разница. В масштабе Вселенной - это однонаправленное возрастание энтропии, развал, разбазаривание энергии. На Земле многие процессы идут иначе. Здесь системы усложняются со временем, накапливая информацию. И все это выглядит так, будто у природы есть цель. О процессе увеличения богатства форм говорят геологи. Биологи говорят о кефализации (цефализации), неуклонном эволюционном прогрессе живого, направленном как бы к цели, достижению уровня разума. Анализируя историю развития техники, ученые неоднократно поражаются тому, что направленное развитие техники, ее прогресс иногда до деталей совпадает с линией эволюционного развития какой-нибудь ветви живого мира.

Например, история развития авиации оказалась прекрасной моделью, позволившей видному палеонтологу В. Н. Яковлеву понять наконец эволюцию древнейших позвоночных животных, наших возможных предков - панцирных рыб. Их панцири оказались "несущими плоскостями", и их аэродинамический профиль совершенствовался так же, как совершенствовались самолеты до второй мировой войны.

Такие параллели интересны тем, что тоже позволяют перейти к прогнозу. Но прогнозировать можно и по биологической эволюции - технику, и обратно: по технике - дальнейшую, еще не состоявшуюся биологическую эволюцию... Теперь попробуем определить позиции: наш технический прогресс осуществляется с какой-то целью (так по крайней мере мы думаем), а биологический - "сам по себе". Что-то здесь не вяжется. Либо наше представление о целенаправленности прогресса цивилизации неверно и он ничем не отличается от случайно-вероятностного прогресса проб и ошибок дарвиновской эволюции, либо мы должны допустить, что и в основе эволюции природы есть что-то вроде цели.

Как ни странно, и эта проблема, прежде чем овладеть умами геологов и биологов, остро и давно обсуждалась и историками и физиками. Некоторые западные историки, не отрицая факта прогресса в истории, отказывались признать, что прогресс закономерен. С этой точки зрения наш прогресс ничем не отличается от случайно-вероятностного прогресса живого мира (так, как это представлял себе классический дарвинизм).

Наиболее близко к пониманию этого парадокса подошли классики диалектического и исторического материализма. "Столкновения бесчисленных отдельных стремлений и отдельных действий приводят в области истории к состоянию, совершенно аналогичному тому, которое господствует в лишенной сознания природе. Действия имеют известную желаемую цель; но результаты, на деле вытекающие из

этих действий, вовсе нежелательны" (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 21, с. 306.). Это написал Ф. Энгельс в 1886 году. И добавлял, что за поступками личностей всегда есть скрытая причина, движущие силы более высокого ранга. Раскрытие этих движущих сил, общих законов и позволит человечеству в конце концов стать настоящим хозяином своей судьбы.

Выражаясь современным научным языком, законы, управляющие прогрессивным развитием неживой материи, материи, организованной биологически, и материи, организованной социально, имеют общую диалектико-материалистическую основу, но соотносятся между собой как три разных уровня организации вещества. На каждом из этих уровней системность, сложность всех движущих факторов прогресса неизмеримо, скачкообразно возрастает. А потому нельзя движением электронов, перескакивающих с одной орбиты на другую в атомах гемоглобина крови Раскольникова, объяснить его преступление и наказание, хотя сказать, что никакой связи нет между тем и другим, тоже нельзя.

## Что любит и чего не любит природа?

"Природа боится пустоты", - говорили древние. Потом оказалось, что это не так, вернее, не совсем так: например, трубка над столбиком ртути в барометре остается пустой. Но в общем вещество и энергия действительно как бы стремятся рассасываться, переходить из насыщенных ими областей пространства в "пустые" (если этому не мешают какие-то другие силы). Тонкая мембрана между насыщенным раствором соли и пресной водой испытывает сильнейшее давление со стороны раствора: осмотическое давление... Но осмотическое давление можно уравновесить противоположно направленной силой. И вот главные процессы жизненного обмена основаны на явлении "обратного осмоса". Живое борется с косными уравнительными законами природы и концентрирует в себе только нужные вещества.

Сразу после сильного землетрясения рой вторичных толчков, как облако после взрыва, окутывает точку эпицентра. Но идет время, и волна вторичных толчков идет от центра в "пустые" области сейсмического пространства, искривляясь на разломах и других неоднородностях. При этом процесс в целом затихает. Сгусток энергии рассасывается почти полностью.

Во всем этом и во многом другом чувствуется что-то общее в основе. И когда заколебался принцип "природа боится пустоты" как не отражающий самой сути явления, на смену ему пришел принцип "наименьшего действия".

Рождение этого принципа знаменовалось растроганными охами и ахами по поводу "мудрости" и "рачительности" провидения, осуществляющего во всем сущем режим строжайшей экономии. Например, в Пруссии, где этот принцип впервые получил огласку и поддержку, он явно находился в гармонии с идеалом уютного бюргерства.

Мопертюи, огласивший этот принцип в ближайшем окружении Фридриха II, был столь жестоко осмеян Вольтером, что разразился скандал, привлечший внимание всей культурной Европы. Мопертюи потребовал: или я, или он. И просвещенный монарх, любивший посмеяться шуткам Вольтера, сделал выбор в полном согласии с принципом наименьшего действия. Вольтера очень вежливо и с почестями выпроводили.

Принцип наименьшего действия без телеологических восторгов был сформулирован в 1743 году Леонардом Эйлером. В согласии с ним тела, если на них не действует посторонняя сила, дойдут "до цели" наикратчайшим путем, а если действует, "выберут" свой путь так, что ахают математики: им рассчитать столь точно самый "выгодный путь" в усложненных условиях часто оказывается не по силам. Принцип наименьшего действия предопределяет и "цель", к которой стремится тело. В каждой данной системе оно стремится занять место с минимальнейшим из возможных уровнем потенциальной энергии.

В системе, изучаемой физической географией, геоморфологией, этот минимум соответствует положению самого низкого центра тяжести. И вот каждая низина на Земле непрерывно заполняется, а каждый хребет - разрушается, и так было бы до тех пор (если бы эта "геоморфологическая" система не находилась сама в рамках более широкой "тектонической" системы), пока воя поверхность не выровнялась бы. Надо сказать, полное равновесие этой системы (круглая Земля, покрытая ровной трехкилометровой толщей океана) достижимо в какие-нибудь миллионы лет (доли процента от всей жизни-планеты).

В "геоморфологической" системе в целом торжествует "уравниловка", необратимое рассеяние вещества. Что же мешает этой системе успокоиться навечно?

Мы уже говорили об этом: мешает то, что в каменной пучине нашей планеты действует иная, "тектоническая" система, где уровня с наименьшей потенциальной энергией ищут две противоборствующие силы. Тепло земных недр стремится из раскаленных глубинных слоев наружу, вверх. Сила же тяжести увлекает вещество вниз. Пока продолжается эта борьба, планета будет "жить". Одно равновесие будет нарушать другое. И в циклах все новых повторений, как отдаленный результат процесса, растут под гул землетрясений горы, выделяются континенты из океанического однообразия, создаются скопления почти чистых веществ - руд и месторождений полезных ископаемых, развивается биосфера. Накопление информации и структуры возможно там, где наинизшего для себя уровня потенциальной энергии ищет не одна, а две системы или больше.

Но убирает ли такое рассуждение оттенок загадочности в том, что развитие целого ряда систем вокруг нас (а одна из них - все живое) идет как будто целенаправленно?

"Если даже природа и обладает чем-то подобным цели, находящей свое выражение в принципе наименьшего действия, то, во всяком случае, это не может идти ни в какое сравнение с целью предпринимателя. Представление о том, что в законах природы выражена цель или стремление к экономии, есть антропоморфная нелепость, пережиток той эпохи, когда в естествознании господствовало метафизическое мышление". Так писал Макс Борн.

И когда мы говорим о целенаправленном развитии, скажем, железорудных месторождении в докембрийскую эпоху или о таком развитии приматов, которое как будто имело поставленную цель, мы подразумеваем: такое развитие было оптимальным выходом системы из сложных положений, в каких она оказывалась на пересечении многих процессов, каждый из которых стремился к своему состоянию равновесия.

Прибегая опять-таки к антропоморфным неточностям, можно сказать, что "система высшего ранга" в ситуации, сложившейся в какую-то эпоху, нашла энергетически самый оптимальный путь для примирения противоположных стремлений к равновесию. И в результате появились железорудные месторождения или человек, великий нарушитель всех равновесий.

Нетрудно быть пророком и предсказать: если человек научится сам находиться в состоянии равновесия с естественной природой и созданной им "природой вещей", он может действительно стать хозяином бытия, природой, себя познавшей. Но отсюда не следует, что в том состояла цель природы, чтобы создать человека и через него осознать себя (а так иногда в понятном восторге перед мощью разума пытаются рассуждать). Сказать так будет такой же ошибкой, как, наблюдая сложный и красивый кристалл, подумать: он был целью процесса, а не результатом оптимального сочетания и длительной устойчивости двух процессов: выпадения из раствора молекул вещества на грани нерастворимости и последующего взаимодействия этих молекул. Эволюция живого и появление человека - явления закономерные, но философского успокоения в самом этом факте нет. То, что результат оказался столь блестящим, - факт все же удивительный. Возможно, во Вселенной, имеющей в целом определенный возраст, мы одни из первых такие умные, а потому нам с еще большим уважением нужно относиться к миллиардам лет эволюции, трудившейся над нашим созданием.

Возвращаясь к проблеме прогноза, мы можем теперь сформулировать главное. Конечно, сильное землетрясение не есть "цель" какого бы то ни было процесса, но оно и не следствие всей свиты предшествующих ему прогностических предвестников.

Сильное землетрясение есть просто эпизод (причем не главный) в некоем едином, цельном, хотя и сложном явлении, имеющем протяженность как в пространстве, так и во времени. По данным выдающегося деятеля сейсмологии В. И. Кейлиса-Борока, самые сильные землетрясения с магнитудой  $M = 8,5$  - проявления каких-то планетарных процессов, они готовятся на пространстве в десятках миллионов квадратных километров, и начало готовящегося процесса улавливается порой за 15 лет до катастрофы! Оказывается, почти всегда перед сильным толчком в сейсмическом регионе "проигрывается" репетиция будущей трагедии. В течение какого-то года (какого именно, зависит от силы будущего толчка: чем сильнее, тем более заблаговременно) в регионе через землетрясения более низких энергий (на один - три порядка ниже главного толчка) выделяется примерно столько же сейсмической энергии, сколько освободится потом в главном толчке. Потом резкий спад, затишье, которое позволяет уже сделать более точный прогноз. И после затишья удар!

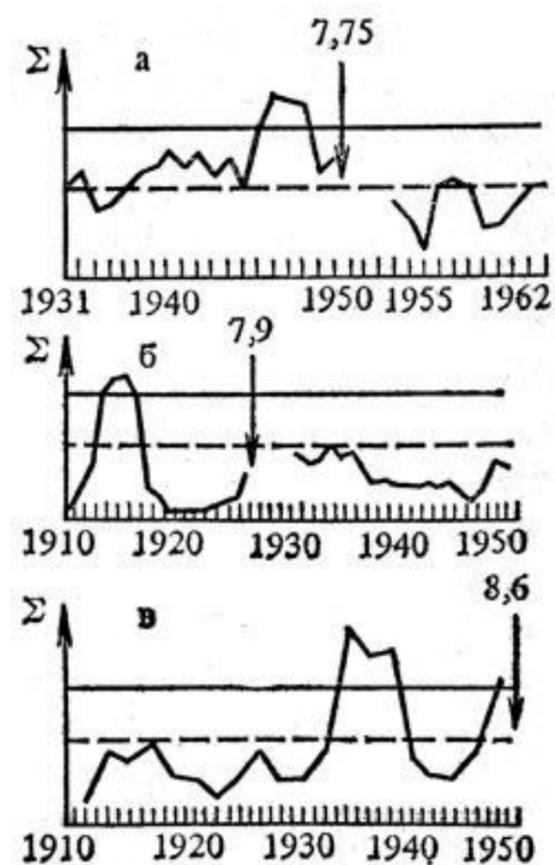


Рис. 11. 'Выход' сейсмической энергии в районах сильнейших землетрясений (по В. И. Кейлису-Бороку): а - перед Хаитским землетрясением 10 июля 1949 года и после него. Область подготовки землетрясения - весь Памир, Гиндукуш, Тянь-Шань; б - перед землетрясением в Эгейском море 26 июня 1926 года и после него. Область подготовки землетрясения - Восточное Средиземноморье; в - перед Ассамским землетрясением 15 августа 1950 года. Область подготовки - Гималаи. Стрелка с цифрой - момент землетрясения с магнитудой главного толчка. Во всех трех случаях перед сильнейшими землетрясениями

*предупреждение (за 5-15 лет) в виде волны повышенного выхода энергии через землетрясения, на три порядка менее сильные, чем прогнозируемый толчок. Во всех трех случаях после такого всплеска следует быстрое падение, затишье, непосредственно предваряющее толчок*

Такая волнообразная структура процесса пробуждает надежды на возможность заблаговременного (за годы!) предсказания сильного землетрясения. И это не будет ни мистическим пророчеством, ни механистической, детерминистской, вопреки принципу неопределенности, дерзкой вылазкой на другой конец цепочки причин-следствий. Просто процесс, с которым мы имеем дело, столь велик и медлен по сравнению с нашими мерками, что у нас есть время распознать его начало. Землетрясение как процесс начинается за годы до катастрофы!

Но долгосрочный прогноз - это всегда оценка вероятности близящейся катастрофы. Дальше нужен краткосрочный прогноз. И он-то должен быть абсолютным, жесткодетерминированным прогнозом.

Краткосрочный абсолютный прогноз не миф... Это достойная цель. Все ближе к этому идеалу прогноз цунами - огромных волн в океане, порождаемых землетрясениями на морском дне. В принципе возможен стопроцентной точности краткосрочный (за десятки минут, часы) прогноз цунами. Казалось бы, абсолютная точность предвидения исключена эффектом неопределенности, вносящим свои поправки в причинно-следственную цепочку событий. Но тут особый случай. Когда вы видите вырвавшееся из дула пушки плотное облако, вы со стопроцентной вероятностью успеете предсказать, что скоро ваши барабанные перепонки подвергнутся неприятному испытанию. Современная физика связывает принцип причинности со скоростью передачи сигнала. Здесь же два сигнала, идущие с разной скоростью.

Такая же лазейка из тисков между причинностью и неопределенностью есть и в случае с цунами. Скорость распространения этих волн 800 километров в час. Скорость сейсмических волн от землетрясений (первопричины цунами) в десятки раз

больше. Можно к тому же установить в океане систему заякоренных приборов, которая точно отметит время прохода, направление и энергию волны. А радио (скорость радиосигнала в десятки тысяч раз выше скорости сейсмической волны и в сотни тысяч раз выше скорости волны цунами) заблаговременно принесет весть о неминуемой катастрофе на берега, отмеченные судьбой на этот раз.

Подобная снисходительность природы может простираться и на процесс зарождения, подготовки и реализации сейсмической катастрофы, если изучить фазы процесса и считать их моментами прихода сигналов разной степени оперативности, из которых сам толчок - один из последних и, может быть, не главный сигнал о землетрясении как о большом геотектоническом процессе,.

Принцип же наименьшего действия послужит нам гарантией, что природа не обманет и не будет изощряться в "придумывании" другой, неведомой нам последовательности событий и пойдет прежним, удобным для этой системы путем.

## К новому единству

Изгнав в свое время Мефистофеля чистого умозрения и отдавшись практике, опыту, наука поступила правильно: свидетельство тому - ее взлет в XIX и XX веках. Значит ли это, что так пойдет и дальше? Что наше мышление все более будет обусловлено конкретными результатами и любой общефилософский взгляд в будущее (а порой и просто попытку широкого теоретического обобщения) можно отбрасывать, как не имеющий практического значения?

Были и есть в науке деятели, радеющие за простую реальность прибора и полученного результата, против "абстрактности" всяких там полей, сил и прочих теоретизмов. Одного из таких ученых (их называют позитивистами) спародировал Макс Борн в 1953 году. Представьте себе, говорил Борн, пулемет, ведущий огонь. Вот он убивает человека. И тут появляется позитивист и начинает говорить в своем духе: "Пули, мол, никто не видел, а убийство... о, я этого не знаю, достаточно знать феномены выстрела и ранения. Все, что лежит между ними, есть игра теоретической фантазии: летящая пуля есть некая *dummy* (манекен, муляж, - Л. Г.), которая была изобретена для того, чтобы связать оба явления посредством законов механики".

Что же такое реальность в науке? Реальны ли протоны и электроны, которых никто не видел и которые в принципе можно описать как волну?

"Мы представляем себе, - пишет Борн, - римлян времен Цезаря или китайцев времен Конфуция как реальных, хотя мы не имеем никакой возможности это представление проверить таким же образом, как этого требует Дингль для молекул..."

Эти давние споры мне вспоминались, когда я слышал сейсмологов, требующих не увлекаться теоретизированием, видящих задачу только в получении все лучшего материала. Приходилось слышать (и не только в сейсмологии) слова "теоретик", "гипотеза", употребляемые почти как оскорбление - позиция, удобная тем, что до поры до времени она неуязвима: скептик не брался за прогноз, значит, и не виноват в ошибке. А виноват энтузиаст, взявшийся за прогноз (хотя и знал, что может ошибиться).

Сейсмограф и его параметры - это реальность, а все остальное - фантазия? Тогда для чего сейсмограф? И тут мы оказываемся перед странным обстоятельством. Сколь часто, зная плохо и неточно детали, наука верно схватывала суть явления в теории, в целом. Вегенер плохо знал геологию, а геология тогда плохо знала Землю, да и все почти детали придуманного Вегенером механизма дрейфа материков подверглась экспериментальной переоценке. А идея в целом осталась. Она в каком-то смысле оказалась ближе к реальности, чем факты, которыми Вегенер оперировал для создания и подтверждения теории (например, представления, о расплавленной подкоровой массе).

Леверье, высчитавший орбиту Нептуна, тут же по этим вычислениям обнаруженного, серьезно ошибался в исходных данных для своих вычислений. Но путь обобщения, найденный им, обеспечил успех даже при этих исходных ошибках.

Полной аналогии с разрывом коры при землетрясении, разрывом, происходящим в сплошной среде, подготовленным напряжениями на огромном пространстве, мы в нашей обыденной жизни не найдем. В этом смысле очаг землетрясений для нас всегда окажется "не совсем реальным". Но теории, описывающие очаг, без сомнения, все ближе подходят к реальности и когда-нибудь подойдут ближе, чем самое развитое "вещественное" представление, полученное лабораторным путем.

Значит, может быть реальностью и то, что нельзя пощупать... Довольно долго сейсмологи нашей экспедиции (да и не только нашей) пытались поймать причинно-следственную связь, ведущую к прогнозу, в буквальном смысле слова с поличным. По трем-четырем толчкам, давшим как будто пониженное значение отношений скоростей сейсмических волн, пытались построить прогностическую кривую. Все усилия оказывались напрасными. В Гармском районе каждый день происходят десятки землетрясений, и при великом разнообразии природных условий и процессов, идущих в районе, три-четыре точки на кривой требуют введения стольких оговорок, поправок, дополнительных проверок, что уже просто ничего не значат. И тут доверительность, уважительность к природе не просто симпатичное свойство характера, но и лучший деловой путь к истине.

Явление не может себя не обнаружить (необходимость, детерминизм!) в статистике как будто случайного разброса всех значений отношений скоростей, какие только есть в нашем распоряжении. Мысль А. Николаева о ненасильственном, ненавязчивом подходе к объекту исследования (брать от него то, что он в настоящее время может дать) кажется глубоко философской, диалектической. Подвижная грань (отношения дополнительности между вероятностным и детерминистским подходом) обеспечивает максимально возможную на сегодня точность сейсмического прогноза, позволяет победить хорошо знакомый страх перед ответственностью предсказания.

Необходимость и случайность в сумме образуют нечто охватываемое словом "возможность". В последнее время многие исследователи очень много внимания уделяют именно понятию возможного в этом мире. И действительно, как было бы заманчиво разграничить раз и навсегда возможное и невозможное. Скольких лишних непроизводительных усилий это позволило бы избежать!

Академик Г. И. Наан несколько лет назад высказал мысль, что наша Вселенная, состоящая из частиц и античастиц, могла возникнуть из... вакуума при полном соблюдении всех законов сохранения. "Ничто действительно не может породить нечто, но оно может породить нечто и антиничто". Я не могу не отметить, что почти в тех же выражениях 160 лет тому назад представил рождение материи "Мефистофель натурфилософского умозрения" Л. Окен, исходя просто из общих соображений симметрии. Уже появилось название для будущей науки о симметрии всего сущего - симметрика. И энтузиасты этой науки из химии, биологии, геонаук и даже социологии и науковедения занялись работой, подобной той, которую проделали когда-то Д. И. Менделеев и Н. И. Вавилов: они графят листы бумаги, отмечая формы и антиформы, выделяя пустые, незаполненные клетки, еще ждущие заполнения. Все возможное в природе должно в ней появиться. "Диссимметрия творит явления", - сказал когда-то великий физик П. Кюри.

Учение о внутренних системных и симметричных закономерностях иногда оказывается во внешнем противоречии с "генетическим принципом рассмотрения" (выражение И. Гёте). Именно Гёте когда-то обвинял натурфилософов в "наглом навязывании природе" ненаблюдаемых законов, но именно он же не смог не признать некоторых блестящих результатов этого "наглого навязывания".

Вот уже пятьдесят лет, как находятся в противостоянии случайностно-вероятностная эволюция проб и ошибок Ч. Дарвина и "эволюция на основе закономерностей" (номогенез), сформулированная академиком Л. С. Бергом. Сейчас эти два

учения как бы поделили между собой историю живого мира. Первоначальная эволюция молекул, преджизни (когда не могло быть и речи о борьбе за существование) вся основана на номогенетических закономерностях (законы химических взаимодействий в растворах, кристаллографические и другие физико-химические процессы). Эволюция на основе изменчивости и случайных мутаций с последующим отбором пока держит главенство в объяснении остальной истории живого мира. Но видимо, нельзя сомневаться в диалектическом единстве, взаимной дополнительности этих двух форм эволюции.

Такие же взаимоотношения вероятностного и жесткого детерминизма есть в геонауках вообще и в проблеме геопрогноза в частности.

Кристаллографы давно уже заметили черты симметрии и асимметрии в строении земного шара. Если катать глобус по столу, то точке, в которой глобус касается стола "сушей", будет соответствовать "океаническая" противоположная точка глобуса, и наоборот. Этой антисимметричной картине кристаллографы подобрали аналогию в мире кристаллов и на этом основании с недоверием относятся к теориям мобилизма, в которых и материки, и океаны "движутся как хотят". Истина, возможно, опять лежит где-то посередине. Под законом антисимметрии океанов и континентов, видимо, кроется что-то иное, и само горизонтальное передвижение больших плит литосферы, возможно, связано с постоянным стремлением нашей планеты к этому почему-то для нее удобному состоянию. Современная антисимметрия материков и океанов - это только слабое подражание потрясающей антисимметрии Земли во времена палеозойской Пангеи (вся суша была единым островом в Мировом океане) и, видимо, в более давние, докембрийские эпохи. В этом случае к борьбе двух противоборствующих тектонических сил - вертикального воздымания и вертикального же опускания вещества - может добавляться еще и закономерность, родственная структурным законам обобщенной кристаллографии.

Ослабив когда-то интерес к познанию мира в целом, раздробившись, наука кое-что потеряла, цельный взгляд на мир, например. Но место, оставленное Мефистофелем умозрения, не может оставаться пустым. Отсюда пробуждение нового интереса к "пограничным" наукам, философии естествознания, общим законам симметрии и развития, к теории систем, вырастающей из кибернетики. В науках о Земле общий системный подход к общему предмету исследования (задаче геопрогноза) может взять на себя снова древняя география.

В отличие от прочей природы мы не можем существовать и творить без осознанной цели. Новые большие обобщения, новые теории, новый прогноз, имеющий значение для всех наук, а значит, и для всей нашей деятельности, в повестке дня. Эти открываемые общие законы, этот прогноз необходимы, ибо прогноз в человеческом обществе имеет обратную силу. Познание грядущей "судьбы" не расслабит нас пассивным ожиданием, а принудит к действию для творческого - заблаговременного вмешательства в ход грядущих событий.

Но мне не удастся закончить книгу на этой оптимистической ноте. В канун Нового года, в субботу 28 декабря 1974 года, все сейсмостанции Гармского полигона отметили сильнейшее землетрясение. Где-то близко: разность времени прихода продольной и поперечной волн была около 62 секунд. Простой пересчет показывает, что это соответствует примерно 500-600 километрам пробега сейсмических волн в коре и мантии. Примерная оценка показала:  $M = 7$ , землетрясение катастрофическое, эпицентр - в Пакистане, близ одного из разломов-рельсов, по которым движется сюда, к Гарму, индийская плита. 30 декабря радио принесло известие: разрушен населенный район, погибло более 4700 человек, около 15 тысяч ранено. Катастрофа не была предсказана. Или была: необъяснимое понижение одной из прогностических кривых мы отметили еще в ноябре, но не смогли "локализовать", указать место, над которым нависла угроза...

... Так написал я в канун нового 1975 года. Конечно, я не мог тогда предвидеть, что через полтора года нечто подобное произойдет еще раз. Дважды ударят весной 1976 года сильные толчки в Кызылкуме. Землетрясение в 9 баллов произойдет в пункте, отмеченном на карте сейсмоопасности как... 5-балльная зона! Так будет обстоять дело с прогнозом места катастрофы (таким прогнозом и является карта сейсмической опасности).

А прогноз сроков? Весной 1976 года признаки приближающегося землетрясения отметят вдали от Кызылкума, на территории Таджикистана. Землетрясения будут ждать, но не там, где оно произойдет на самом деле. (Об этом мне расскажут мои прежние коллеги-сейсмологи.) *(Нечто подобное повторится для Кызылкума еще раз в 1984 году - и опять без прогноза.)* Зона подготовки сильного толчка и, значит, появления "предвестников" огромна, гораздо больше зоны разрушений, и это еще одна проблема, требующая решения.

Так, сама действительность дописывает конец этой книги. Для решения проблемы прогноза сделано многое. Но эффективного геопрогноза нет. И большая, настоящая книга о геопрогнозе еще не написана.

В заключение я хотел бы поблагодарить тех, кто помогал мне на разных этапах работы над этой книгой идеей, советом, критическими замечаниями, поддержкой. Большое им спасибо, географу Д. Д. Квасову, геологам П. Н. Кропоткину, С. В. Мейену, В. К. Кучаю, Н. А. Фогельман, геофизикам А. В. Николаеву, Е. А. Артюшкову, Т. Г. Раутиан, В. С. Пономареву, Б. Г. Рулеву, Ю. М. Тейтельбауму, В. И. Халтурину, О. В. Соболевой, Л. Ю. Вермишевой, философу В. В. Казютинскому.

Гарм - Москва 1974-1976

## Десять лет спустя

### *Послесловие автора к переизданию*

В отличие от беллетристики научно-популярная литература имеет свойство устаревать. Как изменилась проблема геопрогноза за последние десять лет?

Книге повезло: она написана на гребне революции в науках о Земле, который пришелся как раз на начало 70-х. С тех пор шло развитие вширь и вглубь, но по тем же направлениям. И сейчас (я пишу в дни, предшествующие Международному геологическому конгрессу 1984 года в Москве) первый, общий взгляд не обнаружит заметных перемен, скажем, в круге общегеологических планетарных идей. По-прежнему тон задает новый мобилизм - глобальная тектоника плит. Она, правда, потеряла долю острой новизны, обросла подробностями, обрела черты монументальности и даже ортодоксальности, за что вынуждена в свою очередь терпеть нападки вечно спешащих "новаторов", а также попытки переименовать ее (чуть-чуть видоизменив) и в переименованном виде присвоить. Но добросовестные враги плитотектоники - и старые и новые - теперь признают, что революция в науках о Земле, переход этих наук из разряда узкоакадемических в число широко известных и массово-популярных, рост технической

вооруженности этих наук - все это происходило в огромной мере из-за простоты, увлекательности, всеохватности идей глобальной тектоники, заменить которую пока явно нечем. Да и нет необходимости. Больше того, если вдруг найдется такая ошибка в построениях плитотектонистов, которая враз перечеркнет саму идею (во что я не верю), для наук о Земле это было бы черным днем.

Самое яркое и верное здесь направление, как мне по-прежнему кажется, - это стыковка, дальнейшее соединение новой плитотектоники со старой мудростью геологии платформ и геосинклиналей, о чем в этой книге было сказано немало. Член-корреспондент АН СССР В. Е. Хаин в канун геологического конгресса указывает на то, что древние праматерики раскалывались на меньшие в истории Земли неоднократно и очередной раскол был похож на предыдущий. Это говорит не только о цикличности (а значит, и о долговременной предсказуемости) самых главных процессов на Земле, но еще и о том, что материкам, литосферным плитам вовсе не безразлично, где раскалываться. Тут есть предпочтительные, хорошо опробованные швы. По краям нынешних континентов они трассируются особыми континентальными породами - гранулитами. Именно по гранулитовым линиям (они тянутся, например, вдоль противоположащих побережий Америки и Африки, Индии и Антарктиды) дважды раскалывались гигантские материки протерозоя и палеозоя - Пангея-1 и Пангея-2 и раскалывается ныне Восточная Африка. И наоборот, наиболее древние зеленокаменные толщи (с которых когда-то начался рост континентальной литосферы) почти всегда оказываются в центрах, ядрах континентов. Здесь литосфера особенно прочна и вероятность стать материковой окраиной, берегом - наименьшая.

Попытавшись реконструировать первоначальный вид Земли, В. Е. Хаин получил поверхность, состоящую из гигантских гранулитовых колец с зеленокаменными выступами посередине. Такой, по предположениям космогонистов, была Земля по окончании бомбардировки ее последними астероидами прото-планетного облака. Выходит, самый рисунок главных геологических структур, границ суши и океанов задан еще в период становления нашей планеты.

Незыблемое в подвижном... Так опровергается одно из главных обвинений, предъявляемых к плитотектонике, обвинение в неуважении к установленным геологической традицией законам.

С другой стороны, есть признаки, что изменяются некоторые первоначально постулированные аксиомы самой плитотектоники, например представление о литосфере как воплощении жесткости и о астеносфере - как чуть ли не жидкости. Есть сведения, что "жесткая литосфера" кое-где сидит на мели: ее корни сцеплены с мезосферой - тоже "жестким" подастеносферным слоем.

Есть указания и на то, что внутри литосферных плит нет такой уж жесткости - видимо, возможно проскальзывание по другим слоям (например, по нижней поверхности земной коры - поверхности Мохоровичича). Допускают и горизонтальное перетекание вещества земной коры в ее пределах, на небольших глубинах в 10-15 километров.

А сейсмический прогноз? К списку предвестников почти ничего не прибавилось. Но есть перемены в составе "фаворитов".

В начале 70-х казалось, что успех прогноза будет в основном обеспечен наблюдениями над изменением скоростей сейсмических волн в зоне готовящегося толчка. Сейчас на первом месте - долгосрочный прогноз "по затишьям", подобный тому, что разрабатывался в Гарме В. Пономаревым и Ю. Тейтель-баумом. Еще в 1923 году энтузиаст-одиночка сейсмолог Има-мура, заметив странное молчание недр в районе Токио, пытался бить тревогу. Никто его не послушал, и 140 тысяч жертв были платой за несерьезное отношение к "чудаку-ученому", которому больше всех надо...

Затишья во времени и пространстве (на площади пустые, свободные от толчков пятна носят сейчас название сейсмических брешей) послужили главным критерием удачных долгосрочных прогнозов, начатых на Камчатке двадцать лет назад. Так же были сделаны удачные прогнозы двух сильных землетрясений в Мексике в 1978 году, многих землетрясений в КНР (но с немалым процентом ложных тревог). В КНР, где после катастрофического Тяньшанского землетрясения 1976 года прогнозом, кажется, занялись очень широко, судя по сообщениям китайских ученых, хорошо себя оправдывает также прогноз по колебаниям уровня грунтовых вод (медленное падение уровня за годы до толчка, ускоренное за месяц и резкий подъем за несколько суток). Параллельно с этими изменениями (и видимо, благодаря им) меняется вокруг готовящегося эпицентра сила тяжести. Сейчас, в отличие от времени написания книги, в печати полно прогнозов по самым разным районам Земли. В основном это прогнозы на основе затиший и брешей, и я рад, что присутствовал в Гарме при становлении этого предвестника как научного метода.

Все меньше удовлетворяет ученых старый подход к сеймотектоническим явлениям, заимствованный когда-то из механики сплошных сред. Геологическая среда - особая, несплошная, скорее дискретная, состоящая из неоднородностей, по выражению академика М. А. Садовского, "кусковатая". До последнего времени молчаливо подразумевалось, что это пассивный проводник сейсмических волн, работающий по простым линейным законам. Но все так только в первом, грубом приближении, которое устарело. Герой этой книги, теперь профессор, А. В. Николаев говорит, что Земля столь же похожа на пассивный проводник сейсмического сигнала, как нервное волокно на пассивный проводник нервного импульса.

Геологическая среда - "живая", она меняется во времени. Ее изменения перед сильным толчком и позволяют рассчитывать на прогноз. Она "нелинейна". Классические формулы, исходящие из предположения, что сейсмические лучи пронизывают сейсмическое пространство, не взаимодействуя между собой, дают лишь грубое приближение к истине. Волны взаимодействуют, и это сразу обнаружилось, как только в ход пошло сейсмовидение с помощью вибраторов. Десять лет назад были лишь первые опыты. Сейчас уже есть (и тут огромная заслуга Николаева) мощные отечественные вибраторы, освещающие "подземный космос" строго когерентным, монохроматическим (как лазеры) сейсмическим "светом".

Сейсмическая волна рисует картину подземного царства, как свет рисует нам изображение пейзажа - отражаясь и преломляясь. Но сейсмический "пейзаж" нарисован и "светящимися красками". И дело тут не только в фонарях-землетрясениях, вспыхивающих в пространстве сейсмоактивных зон. Любая область внутри литосферы "светит" мерцающим "светом" от мириад слабых тресков и скрипов (микросейсм) в такт лунным и солнечным приливам в твердой земле, под действием медленных физических и химических процессов, усиливаясь на крупных неоднородностях типа газонефтяных или рудных месторождений. Развитие техники делает возможным использование этой "сейсмолюминесценции" земных недр для уточнения их структуры, для поисков полезных ископаемых, для выявления перенапряженных зон - будущих очагов катастрофических землетрясений. Уже есть удачная работа азербайджанского сейсмолога Икрама Керимова - самый настоящий прогноз сильного толчка по предваряющей вспышке микросейсм из зоны будущего очага...

Идея А. Николаева об активной сейсмической среде явно перекликается с воззрениями другого героя этой книги, В. Пономарева, который всегда с подозрением относился к представлениям об активных внешних тектонических силах и пассивной среде. По Пономареву, каждый объем горных пород - это бомба, начиненная энергией напряжений, накопленных в геологическом прошлом, которая готова проявиться при простом снятии нагрузки сверху (при размыве и эрозии), напряжений от соседства сцементированных вместе, но разнородных по упругим и прочностным характеристикам, по коэффициенту теплового расширения и прочим свойствам минералов. Эти напряжения готовы проявиться при любом изменении температуры, напряженного состояния, проникновении растворов и флюидов. Сейчас эти, когда-то экзотические идеи В. Пономарева широко известны, они проливают новый свет на многие важные проблемы, например на проблему планетарного избыточного сжатия верхних слоев земной коры по горизонтали.

Десять лет назад объемная сейсмическая голография только снилась аспиранту Пете Троицкому. Сегодня кандидат физико-математических наук П. Троицкий - автор проведенной под руководством А. Николаева и норвежского сейсмолога Э. Хусеби работы по голографическому просвечиванию недр под Норвежской сейсмической системой (Норсар). В литосферном пространстве сейсмическая голография обнаружила вертикальные столбы, уходящие куда-то вниз (прослежены до глубины 212 километров). Возможно, это магматические канаты, подводящие мантийное вещество к Норвежскому грабену, который в прошлом был активным, вроде Байкальского рифта, нынче как будто пребывает в покое...

Десять лет назад, набрасывая эту книгу, как бы срез в истории развития геопрогноза через 1974 год, я кое в чем забежал вперед, например в рассказе об идеях А. Николаева и В. Пономарева, о работе П. Троицкого, чувствуя в этих идеях и работах перспективу. Многие были только в замысле, в мечтах, еще не вошло в стадию практической работы. Я горд тем, что сбывается сейчас этот мой небольшой литературный прогноз.

*18 июля 1984 года*

