

Член-корреспондент АН СССР И. М. ГЕЛЬФАНД, Ш. А. ГУБЕРМАН,
М. А. ИЗВЕКОВА, В. И. КЕЙЛИС-БОРОК, Е. Я. РАНЦМАН

О КРИТЕРИЯХ ВЫСОКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ

Здесь рассматривается задача — найти на востоке Средней Азии места, где возможны землетрясения с магнитудой $M \geq 6,5$. С 1885 г. по настоящее время в этом регионе было 22 таких землетрясения. Как видно из рис. 1, все их эпицентры, кроме одного, лежат в дизъюнктивных узлах с активными движениями в новейшее время (последние ~ 25 млн лет, начиная с неогена). Это нельзя считать случайным совпадением, поскольку суммарная площадь узлов намного меньше площади региона. Мы полагаем, что и в дальнейшем землетрясения с $M \geq 6,5$ могут возникать только в таких узлах — в частности, в тех 16 узлах, где они уже были (единственное исключение — эпицентр к северо-западу от узла 34 — мы объясняем ошибкой в определении эпицентра или границ узлов; это вполне согласуется с величиной возможных ошибок). Тогда задача сводится к тому, чтобы найти в каких из остальных 25 узлов также возможны землетрясения с $M \geq 6,5$. Эта задача решалась с помощью программы распознавания КОРА-3 (¹, ²). Обозначим B (высокосейсмичные) — узлы, где возможны землетрясения с $M \geq 6,5$; B^* — те из узлов B , где такие землетрясения пока неизвестны; H (низкосейсмичные) — узлы, где землетрясения с $M \geq 6,5$ невозможны. Наша задача — найти узлы B^* среди 25 узлов, относящихся к B^* или H .

Исходные характеристики узлов необходимо выбрать из широкого комплекса геолого-геофизических и геоморфологических данных. Мы использовали пока лишь простейшую часть этого комплекса — описание морфоструктур в том виде, как они сложились к настоящему геологическому времени. Полученные результаты являются неожиданно четкими; однако ничто не должно пониматься здесь как сомнение в том, что другие данные могут быть не менее или даже более важными.

Перечислим использованные характеристики (в скобках указана их дискретизация). I — тип поперечных разломов ($a - 4$ или $5, 6, 6 - 4$ и $5, 6$ на рис. 1); II — пересечение или приращение разломов; III — число разломов n ($2, 3 > 3$); IV — самая крупная морфоструктурная единица,

Таблица 1

Найденные признаки узлов

Узлы B			Узлы H		
$A > 2,5$	$S < 0,2$ или $> 0,5$	$h > 4$	$A \leq 2,5$	$S > 0,2$	VII не г VII не д IV не в VII не г
$A > 2,5$			$r > 30$		
$A > 2,5$	$r < 70$	$A \leq 2,5$	$n = 2$		
$A > 2,5$	IV не б	$A \leq 2,5$	VII не в		
$A > 2,5$	IV не г	$A \leq 2,5$	VII не г		
$n \geq 3$	IV не г	$A \leq 2,5$	$n \leq 3$		
$n \geq 3$	IV не г	$n = 2$	$h \leq 4$		
$n \geq 3$	IV не г	$n = 2$	IV не а		
$n \geq 3$	$r < 70$	$n \leq 3$	IV не в		
IV не б	$r < 70$	$r > 30$	Iа		
VII не б	$r \leq 30$	IV не а	VII не в		
		$S < 0,2$ или $> 0,5$		$h \leq 4$	

разделяемая разломами (а — горная страна, б — морфоструктурные области, в — мегаблоки, г — блоки); V — расстояние до ближайшей горной страны r , км (< 30 , от 30 до 70, > 70); VII — морфологические сочетания (а — горы с предгорными возвышенностями и подгорными равнинами, б — горы с предгорными возвышенностями, в — горы с подгорными равнинами, г — горы с горами, д — предгорные возвышенности с подгорными равнинами); VIII — абсолютные высоты h , км (< 3 , от 3 до 4, > 4); IX — перепад высот A , км ($< 1,5$, от 1,5 до 2,5, $> 2,5$); X — длина основного раз-

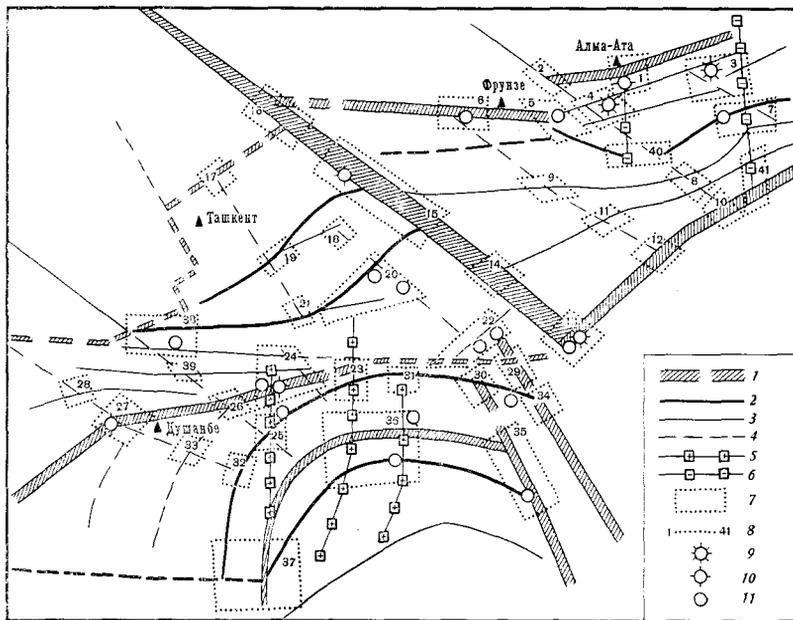


Рис. 1. Морфоструктурная схема востока Средней Азии по (2, 3, 5-9). 1-6 — Зоны глубинных разломов с активными новейшими движениями; 1-3 — Зоны, продольные относительно осей главных хребтов и котловин и непрерывно выраженные поверхностными разломами: 1 — границы горных стран и морфоструктурных областей; 2 — границы «мегаблоков»; 3 — границы «блоков». 4-6 — Зоны, поперечные относительно осей главных хребтов и котловин; разграничивают «блоки». 4 — Зоны, частично выраженные поверхностными разрывами (перерыв знаков 1-4 означает, что границы определены неточно). 5, 6 — Зоны, прослеживаемые главным образом по колебаниям абсолютных высот: 5 — по их повышению; 6 — по их снижению. 7 — Границы дизъюнктивных узлов, 8 — номера дизъюнктивных узлов. 9-11 — Эпицентры сильных нормальных землетрясений с магнитудой $M \geq 6,5$ или энергетическим классом ($K = 16-18$): 9 — $K = 18$; 10 — $K = 17$; 11 — $K = 16$

лома l , км (< 300 , от 300 до 700, > 700); XI — относительная площадь рыхлых толщ S ($< 0,2$, от 0,2 до 0,5, $> 0,5$).

Результаты распознавания даны в табл. 1 и предпоследнем столбце табл. 2. Примем, что к H относятся узлы, для которых Δ (перевес голосов за B) меньше, чем для любого из узлов B . Это приводит к выводу, что землетрясения с $M \geq 6,5$ возможны еще в 6 узлах: 37 (Файзабадский), 23 (Алайский), 31 (Заалайский), 26 (Оби-Хингоу-Сурхобский), 41 (Сарыджазский), 34 (Куньлуньский). Заметим, что по предварительным данным в узле 41 в 1969 г. уже было землетрясение с $M = 6,6$.

Надежность полученного вывода можно оценить с помощью следующего эксперимента. Попытаемся решить рассматриваемую задачу как бы в то время, когда землетрясения с $M \geq 6,5$ еще не были известны в нескольких узлах B . Тогда эти узлы, сохраняя свои характеристики, войдут в материале обучения не в B , а в $(B^* + H)$. Применим тот же алгоритм рас-

познавания и посмотрим, предскажется ли высокая сейсмичность этих узлов.

Результаты приведены в табл. 2. В каждом интервале времени мы должны отнести к B^* те узлы, для которых Δ больше соответствующего порога, поскольку такое правило было принято выше. Мы видим из табл. 2, что уже по данным, имевшимся на конец 1911 г., были распознаны все узлы, где сильные землетрясения произошли в последующие 60 лет. Это подтверждает надежность сделанных выше выводов.

Поскольку сейсмостойкое строительство необходимо ориентировать на десятки лет вперед, необходимо оценить — насколько устойчив будет состав группы B^* , определенный по полным данным — на 1971 г. Для этого эксперимент был продолжен в будущее: все 6 узлов B^* были отнесены к B , как если бы в них уже произошли сильные землетрясения. Результаты даны в последнем столбце табл. 2. Мы видим, что дополнительно к B отнесен всего один узел — № 8.

Из табл. 2 видно, что при принятом пороге отсутствуют пропуски цели (правда, при этом существенно, что землетрясения с $M \geq 6,5$ уже известны в узле 20). Начиная с 1911 г. все узлы, где сильные землетрясения произошли впоследствии, лежат выше порога, но они ниже большинства узлов B . Это может вызвать сомнения в выборе порога, хотя может объясняться и тем, что указанные узлы входили при обучении в группу ($H + B^*$). Однако сомнение отпадает, если исключить рассматриваемые узлы из обучения, тогда они получают в среднем тот же перевес голосов, что и B . Надежность полученных выводов подтверждена и другими контрольными экспериментами: поочередное исключение узлов из материала обучения; обучение на случайном материале; вариации параметров, управляющих обучением; вариации исходных характеристик.

Главную роль в распознавании узлов B (табл. 1) играют 4 характеристики: число разломов ≥ 3 ; высокий порядок разлома (граница между горными странами) в узле или на расстоянии до 30 км от него; размах высот свыше 2,5 км. Часто используются еще 3 характеристики: абсолютные высоты выше 4 км; отсутствие в узле сочетания гор с предгорными возвышенностями; большая или малая (но не средняя) площадь рыхлых толщ. В основном это — признаки интенсивных и контрастных новейших движений.

Шесть узлов B^* имеют одну общую черту — все они расположены в зонах контрастных новейших движений на границах горных стран: 26, 23, 31 — Тянь-Шаня и Памира; 41 — Тянь-Шаня и Северо-Таримского прогиба; 34 — на границе Кунь-Луния и Предкуньлуньского прогиба; 37 — Гиндукуна и Памира. Не совсем понятно — почему именно в этих шести узлах не было сильных землетрясений за последние 85 лет — казалось бы в таких зонах землетрясения должны возникать в первую очередь. Возможно, ответ следует искать в истории тектошического развития.

Мы не использовали пока те данные, на уточнение которых ориентирована современная система наблюдений: слабые землетрясения, медленные деформации, геофизические аномалии, строение земной коры, тектоническую историю. Это не ставит их важность под сомнение, поскольку здесь рассмотрена грубая частная задача. Однако она давно стоит в центре внимания и кажется странным, что ее удалось решить на основе таких простых и в основном не новых данных, как морфоструктурное описание узлов и перечень сильных землетрясений; последний к тому же можно было бы оборвать после 1911 г. Решение найдено в традиционном направлении: связь повышенной сейсмичности с дизъюнктивными узлами и с интенсивностью и контрастностью новейших движений хорошо известна. При тех силах, которые сосредоточены на этой задаче, аналогичное решение; вероятно, можно было бы сформулировать и без ЭВМ, комбинируя характеристики узлов вручную.

Возникает вопрос: почему столь простое решение не было сформулировано до сих пор, хотя бы в порядке обсуждения? Непосредственно это, возможно, объясняется уточнением постановки задачи: при подготовке материала для распознавания ее удалось свести к рассмотрению только узлов, и притом активных в новейшее время. Однако такое объяснение — лишь частичное, поскольку эта постановка сама вызывает тот же самый вопрос: почему мы не догадались без ЭВМ? Этот вопрос заслуживает специального рассмотрения.

Поступило
27 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. М. Бонгарт, Н. Н. Вайнцвайг и др., Геология и геофизика, № 6 (1966). ² В. И. Бунз, Н. А. Введенская, М. Б. Гзовский, В кн. Сейсмическое районирование СССР, Гл. II, «Наука», 1968. ³ И. П. Герасимов, Е. Я. Рандман, В кн. Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность, «Наука», 1964. ⁴ Комплексная интерпретация геофизических данных на вычислительных машинах. Тр. Московск. инст. нефтехимич. и газовой пром. им. И. М. Губкина, в. 62, 1965. ⁵ Н. П. Костенко, В кн. Рельеф горных стран. Вопросы геофизики, № 74, М., 1968. ⁶ К. Д. Помазков, Тр. Упр. геологии и охраны недр при СМ КиргССР, сборн. № 2, 1962. ⁷ А. И. Суворов, Закономерности строения и формирования глубинных разломов, «Наука», 1968. ⁸ О. К. Чедия, А. Н. Трофимов, В кн. Новейший этап геологического развития территории Таджикистана, Душанбе, 1962. ⁹ Тектоническая карта Евразии, А. Л. Яншин (ред.), 1966.