

# II. СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК

УДК 550.341

## МЕСТА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И СПОСОБ РЕШЕНИЯ

Е.Я. Ранцман

Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

## SITES OF LARGE EARTHQUAKES: FORMULATION OF THE PROBLEM AND THE METHOD OF SOLUTION

E. Ya. Rantsman

Institute of geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Известное известно немногим.  
Аристотель*

### 1. Начало

В 70-е годы за “круглым столом” Владимир Исаакович Кейлис-Борок собрал научных сотрудников – геофизиков, специалистов по прикладной математике и географа-геоморфолога. Предстояло совместно решить задачу прогнозирования мест сильных землетрясений (далее просто “Задача”).

Начало было случайным (все предопределенное всегда “случайно”). В одном доме, в одном подъезде, в 60-е годы оказались семьи двух друзей со студенческих лет – Володи Барласа и Володи Борока. Однажды Барлас рассказал Бороку (В.И. Кейлис-Бороку) о работе своей жены (геоморфолога Е.Я. Ранцман) о связи эпицентров сильных землетрясений на Тянь-Шане и Памире с особенностями тектонических движений последнего этапа геологической истории. “Интересно”, – сказал В.И. и призвал Е.Я. для разговора. Шел 1970 год.

Я была знакома с В.И. много лет, знала о его мощном интеллекте, о том, что он крупный ученый, и была польщена возможностью совместной работы.

Появились молодые сотрудники В.И. – Е.Вилькович, А.Прозоров, В.Подгаецкая, и мы все вместе – математики, геофизики и геоморфологи – поехали смотреть места, где на Тянь-Шане были сильные землетрясения (последнее из них – в 1968 году). Позднее к нам присоединился Ш.А.Губерман.

В.И. предложил мне составить карту тектонических активных разломов Тянь-Шаня и Памира. К этому времени я уже работала в горах около 20 лет и могла быстро ее составить.

На карте выделялись линейные зоны – продольные и поперечные. Ранги зон определялись в соответствии с уровнем однородности территорий, разграниченных зонами. Территории с однородным рельефом были названы блоками; границам блоков присваивался третий ранг, границам мегаблоков – второй ранг, горные страны с общей историей формирования рельефа, объединявшие несколько мегаблоков, ограничивались тектоническими зонами первого ранга. Места пересечений зон – узлы – были обведены кругами.

Понятие узла возникло у меня в 1956 г. после исследования эпицентральной зоны катастрофического Хаитского землетрясения (1949 г.,  $M = 7,5$ ), при котором под обвалом был погребен город. Эпицентр приходился на пересечение трех линейных зон, четко выраженных в рельефе подножий южных склонов Гиссарского хребта.

На вновь составленную карту масштаба 1: 2 500 000 были нанесены эпицентры сильных землетрясений (с магнитудой  $M = 6,5$ ). Из 20 эпицентров 19 оказались в местах пересечения продольных и поперечных зон, ограничивающих блоки. В дальнейшем границы блоков были названы по предложению И.П.Герасимова – основателя учения о морфоструктурах – морфоструктурными линеаментами, пересечения границ – морфоструктурными узлами, вся система в целом – морфоструктурным районированием (МСР).

В.И. удалось заинтересовать решением Задачи И.М.Гельфанда и его коллегу Ш.А.Губермана. И.М.Гельфанд сразу определил, что при решении Задачи существенна достоверность карты МРС; измерив меня строгим взглядом, спросил: “Владимир Исаакович, она не авантюристка?”. “Нет!” – сказал В.И., и вопрос о моей добропорядочности больше не поднимался.

Итак, объект распознавания был определен – морфоструктурные узлы, выделяемые на схемах МСР. Выбрана алгоритмическая обучающаяся программа распознавания – Кора-3. Составленный геоморфологом длинный список характеристик узлов обсуждался и был сокращен Ш.А.Губерманом. Были отобраны признаки узлов. С помощью ЭВМ получены характеристики узлов:  $B$  – высокосейсмичных и узлов  $H$  – низкосейсмичных. Для распознавания характеристики узлов определялись в пределах окружности радиуса 40 км с центром в точке пересечения осей линеаментов.

В итоге всех трудов появилась первая статья в Докладах АН СССР – “О критериях высокой сейсмичности” [1].

Дальнейшая работа шла так. В.И. выбирал новый район (после Тянь-Шаня и Памира были: Малая Азия, Балканы, затем Калифорния), геоморфологи – Е.Я. с коллегами – составляли схему МСР, на это уходило 4–6 месяцев. Ш.А.Губерман с коллегами совершенствовались и проводили процедуру распознавания. Каждый раз мы волновались при нанесении эпицентров на схему МСР – сколько окажется “бродяг”, не попавших в узлы? Каждый раз повторялось “чудо” – в узлах располагалось более 80% эпицентров землетрясений (с магнитудой, определявшей Задачей для данного региона).

В.И. собирал нас всех раз в неделю, по четвергам, обсуждалась текущая работа. Как-то И.М.Гельфанд, рассматривая одну из схем МСР, спросил: “Можно ли границы блоков провести иначе?” Был вынесен вердикт – пока методика МСР не формализована, “у вас не карты, а бардак!”. А я-то так ими гордилась! И.М.Гельфанд поручил своим ученикам обсуждать со мной формализацию, и почти год мы формулировали характеристики единиц МСР, устанавливали их количественные показатели, последовательность процедуры МСР [2]. Все последующие схемы морфоструктурного районирования были составлены с учетом формализованных признаков единиц районирования.

К работе над Задачей привлекались геологи и геофизики тех стран, для которых проводилось распознавание; это были известные ученые США, Италии, Франции, Индии. В конце 70-х годов сотрудничество с И.М.Гельфандом, а позднее и с Ш.А.Губерманом закончилось. В решении Задачи для новых территорий участвовали коллеги-ученики В.И. – В.Кособоков, А.Габриэлов, И.Ротвайн, А.Гвишиани, А.Соловьев, позднее географ А.Горшков и другие.

Систематически проводились экспедиционные работы – сначала в горах Тянь-Шаня, затем на Большом Кавказе и в Армении. В поездках, наряду с географами, работали сейсмологи и

математики, несколько раз и В.И. Участие В.И. в наших отрядах создавало стиль, при котором мужской состав отряда берет на себя всю тяжелую работу – погрузки, разгрузки – невзирая на звание и возраст.

Расскажу об одной из таких экспедиций – самой невероятной и примечательной – на Камчатку и Командорские острова (август-сентябрь 1974 г.).

После месяца наших полевых работ на Камчатку прилетели “академики” (по терминологии нашего постоянного шофера с автобазы АН СССР Владимира Сергеевича). Мы встретили ночью в аэропорту В.И. и Ш.А.Губермана и привезли их прямо к нашим палаткам, на берегу небольшого ручейка в 50–60 км от Петропавловска-Камчатского. На следующее утро все отправилось на ближайшую гору, с которой был хороший обзор – “смотреть линеаменты”.

После нескольких маршрутов в разных направлениях удалось арендовать самолет для обзора и перелета на сейсмостанцию Ключи. Из Ключей нас повезли к подножию вулкана Ключевская Сопка, вершина которого ночью светилась малиновым цветом. По возвращении в Ключи катер отвез нас в Усть-Камчатск, оттуда на корабле мы должны были попасть на Командорские острова. Приплыли в Усть-Камчатск, и рано утром выяснилось, что корабль стоит далеко на рейде, а всех пассажиров уже отвезли. Наши “академики” ушли на пристань и там договорились с высоким местным начальством – нам предоставили “крейсерский катер” с белоснежными чехлами на креслах и капитаном в полной парадной форме. Мы погрузились на катер со своими рюкзаками и спальными мешками и поплыли к кораблю. Посадка шла полным ходом – мощный подъемный кран цеплял огромную сетку с твердым дном и перевозил пассажиров с баржи на палубу. Перевезли и нас.

Поздним вечером следующего дня приплыли в Никольское – главный порт Командор. Вместе с нами плыл начальник местной милиции. Расспросив нас – кто мы и зачем плывем к ним, разрешил поселиться в здании милиции (до нас там жил геолог из ГИНа АН СССР, поскольку нарушителей порядка в поселке не было). Нас пригласили поехать на вездеходе смотреть лежбище котиков. Узкие длинные дощечки вели к месту обзора, куда люди допускались по двое и только молча. Зрелище и звуковое сопровождение впечатляющее – моржи, котики, птицы веселились, грелись и купались на берегу Тихого океана.

Пять дней мы бродили по острову, и следующим рейсом корабля вернулись в Петропавловск. Камчатку рассмотрели и в маршрутах, и с самолета, и с океана. “Жаль, что я мало был в маршрутах” – говорил В.И. Была составлена карта МСР, математики проверили распознавание. Результаты вошли в диссертацию М.П.Жидкова – начальника нашего отряда (на нем были все организационные дела).

## 2. Результат

За 30 лет проведено распознавание мест возможного возникновения сильных землетрясений более, чем в 10 сейсмоопасных регионах мира. В последующие годы в узлах, распознанных как высокосейсмичные, произошло 68 землетрясений (см. статью А.И.Горшкова, В.Г.Кособокова, Е.Я.Ранцман, А.А.Соловьева, в этом сборнике). По работам над Задачей защищено несколько кандидатских и докторских диссертаций.

Думаю, что Задачу, поставленную В.И. в 1970 г., следует признать решенной – классификация узлов на высоко- и низкосейсмичные, решаемая алгоритмом распознавания Кора-3 на основе схем МСР, оказалась эффективной.

Задача решалась нетрадиционными методами сеймотектоники – разрабатывалась и проверялась гипотеза приуроченности эпицентров сильных землетрясений к морфоструктурным узлам – местам пересечений тектонически активных линейных зон. Положение узлов определялось картографическим моделированием современной блоковой структуры земной коры, которое проводилось с помощью специально разработанной методики – морфоструктурного районирования по формализованным признакам, основанной на целенаправленном анализе рельефа поверхности Земли [3].

Все элементы блоковой структуры образуют единую систему и не могут рассматриваться изолированно – морфоструктурные линеаменты определяют границы блоков, положение узлов зависит от места пересечения морфоструктурных линеаментов.

Решение Задачи применимо для географически различных территорий и разнообразных масштабов. Способ решения Задачи сохранился при снижении порога сейсмичности до магнитуды  $M = 5,0$  и при повышении порога до  $M = 7,5$ .

Признаки высокосейсмичных узлов, распознанные для одного сейсмоактивного региона, оказались приемлемыми для выделения высокосейсмичных узлов в других регионах.

Экспедиционные исследования показали, что морфоструктурные узлы разных регионов имеют общие природные черты. Для узлов характерна мелкоблоковая структура – линеаменты в узлах теряют линейность и разбиваются на отрезки разных простираний. Природные процессы в узлах обладают повышенной активностью. К территории некоторых узлов приурочены экстремальные природные явления – эпицентры землетрясений, скопления углеводородов, оруденения, геохимические аномалии.

Успешность решения Задачи можно объяснить тем, что каждый из участников коллектива, собранного и руководимого В.И., или представлял в своей области знаний крупнейшую величину, или обладал большим опытом работ в своей сфере знаний. Объединяла всех значимость задачи, взаимоуважение и доверие к личности В.И.Кейлис-Борока.

Совместимость столь высоких интеллектов способствовала быстрому решению Задачи, и уже к концу 70-х годов Задача в целом была решена. Коллектив распался, сохранились только личные связи, которые оказались прочными. Исследования сейсмоопасных регионов в рамках найденного решения Задачи продолжаются до сих пор, и в них включились новые молодые ученые – геоморфологи и сейсмологи.

### 3. Развитие

Методика, разработанная при решении Задачи, нашла применение и к некоторым другим областям. На схему МСР горного пояса Анд, составленную ранее для распознавания мест сильных землетрясений (масштаб схемы 1: 9 000 000), были перенесены сведения о 17 гигантских месторождениях нефти и газа. Оказалось, что 16 месторождений расположены в морфоструктурных узлах – на территории в радиусе 75 км от точки пересечения морфоструктурных линеаментов. С помощью распознавания проводилась классификация узлов и были выделены узлы, перспективные для поисков залежей гигантских запасов нефти и газа [4]. В двух из них позднее были обнаружены крупные месторождения (не знаю, использовались ли при этом наши публикации).

Дальнейшие работы были связаны с составлением схем МСР для равнинных территорий. Приемы МСР сохранились, добавились новые характеристики блоков, связанные с отражением тектонических структур в рисунке речных долин.

Схемы МСР были составлены для Западной Сибири [5], некоторых других нефтегазоносных бассейнов, а также для Русской равнины (центр и юг) и Предкавказья [6,7].

Двухгодичные исследовательские работы совместно с геологами и геофизиками Индии завершились распознаванием мест возможного возникновения сильных землетрясений Гималаев. Впервые опубликована многокрасочная карта МСР Индии и сопредельных территорий [8].

При решении Задачи и в дальнейших исследованиях подтвердилось – целенаправленный анализ рельефа поверхности Земли методом МСР позволяет получить картографическую модель современной блоковой структуры земной коры. Глубинное заложение элементов блоковой структуры – блоков и линеаментов – определило связь с морфоструктурными узлами экстремальных природных явлений – эпицентров сильных землетрясений и крупных скоплений углеводородов и других полезных ископаемых.

Системная связь элементов современных блоковых структур – блоков, морфоструктурных линеаментов и морфоструктурных узлов – существует на разных масштабных уровнях: от круп-

ноблоковых структур горных поясов и платформенных равнин до мелкоблоковой структуры морфоструктурных узлов. Следующий, вероятно, последний уровень, составит мелкоблоковая структура “внутренних” узлов.

Было установлено, что элементы современной блоковой структуры земной коры определяют пространственную организацию компонентов географической оболочки Земли: положение границ природных зон, ландшафтов, типов почвенного покрова близки или совпадают с зонами линейментов разных рангов [6,9]. В морфоструктурных узлах расположено большинство крупных городов Русской равнины [6].

Повышенная активность природных процессов способствует тому, что на территории узлов увеличивается количество аварийных событий на нефтегазопроводах, полотнох железных дорог, долговременных сооружениях и других технических объектах. На детальной схеме МСР Большого города – мегаполиса Москвы – наибольшее число аварий технических объектов произошло на пересечениях границ мелких блоков – во внутренних узлах Московского морфоструктурного узла [10].

Исследования, которые проводились методами, разработанными при решении Задачи, постоянно обсуждались с В.И. Кейлис-Бороком, докладывались на семинарах руководимого им института (МИТРАН’а).

Одно из возможных продолжений применения Задачи мы видим в организации работ по распознаванию мест будущих землетрясений на территориях с большой плотностью населения и технических объектов – на платформенных равнинах.

#### 4. Итог

Методы исследования природных процессов, разработанные при решении Задачи, определили развитие новых направлений в системе наук о Земле. Совместные усилия ученых разных специализаций – геофизиков, географов, математиков, решавших задачу прогноза мест землетрясений, – создали методические приемы, не только активно используемые для решения других Задач, но и позволившие по-новому рассматривать влияние глубинных процессов на формирование различных аспектов географической оболочки Земли. Продолжение исследований в данном направлении представляется весьма перспективным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гельфанд И.М., Губерман Ш.А., Извекова М.Л., Кейлис-Борок В.И., Ранцман Е.А. О критериях высокой сейсмичности // ДАН СССР. 1972. Т.202, №6. С.28–35.
2. Алексеевская М.А., Габриэлов А.М., Гвишиани А.Д., Гельфанд И.М., Ранцман Е.А. Морфоструктурное районирование горных стран по формализованным признакам // Распознавание и спектральный анализ в сейсмологии. М.: Наука, 1977. С.33–49. (Вычисл. сейсмология; Вып.10).
3. Ранцман Е.А. Места землетрясений и морфоструктура горных стран. М.: Наука, 1979. 170 с.
4. Губерман Ш.А., Жидков М.П., Пиковский Ю.И., Ранцман Е.А. О некоторых критериях нефтегазоносности морфоструктурных узлов (Анды Южной Америки) // ДАН СССР. 1986. Т.291, №6. С.1436–1440.
5. Ранцман Е.А. Морфоструктурное районирование Западно-Сибирской равнины по формализованным признакам в связи с локальным прогнозом нефти и газа // Геоморфология. 1989. №1. С.30–39.
6. Гласко М.П., Ранцман Е.А. Географические аспекты блоковой структуры земной коры // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. №1. С.5–19.
7. Гласко М.П., Ранцман Е.А. Морфоструктурные узлы – места активизации природных процессов // ДАН. 1996. Т.350, №3. С.397–400.
8. Rantsman E.Ya. (Ed.), Chetty T.R.K., Rao M.N., Glasko M.P., Zhidkov M.P., Gorshkov A.I. Map of morphostructural zoning of the Himalayan Belt, Himalayan Foredeep and the Indian Shield (scale 1:5 000 000). Hyderabad, India. 1994.
9. Ромашкевич А.И., Ранцман Е.А., Михеев Г.А. Эндо- и экзогенез в формировании почвенного покрова горных стран // Почвоведение. 1996. №4. С.442–453.
10. Гласко М.П., Козлов К.А., Ранцман Е.А. Места активизации природных процессов на территории Большого города – Московский морфоструктурный узел // ДАН. 1999. Т.369, №3. С.393–395.