

ЖИВЫЕ РАЗЛОМЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В. Г. ТРИФОНОВ

Геологический институт Российской Академии наук, Москва

ACTIVE FAULTS OF EARTH CRUST

V. G. TRIFONOV

Active faults are the faults in the Earth's crust which show traces of movement during the last several ten thousand years, and are expected to move in the near future. The features of such faults include offsets and deformation of young geological deposits, as well as high seismicity. The largest active faults are concentrated inside wide belts along boundaries of the lithospheric plates which move relative to each other. Activity of the faults lead to strong earthquakes and other natural disasters, as well as mutational and morbidic effects on living beings. The active faults are the sources of underground waters and contribute to formation of landscapes favorable for living.

Живыми или активными называют разломы земной коры, по которым обнаружены следы движений в последние десятки тысяч лет и можно ожидать их в ближайшем будущем. Признаки таких разломов – смещения молодых геологических образований и повышенная сейсмичность. Крупнейшие живые разломы сосредоточены в широких поясах вдоль границ литосферных плит. С активностью разломов связаны сильные землетрясения и другие стихийные бедствия, мутагенные и патогенные воздействия на живые организмы. Живые разломы служат источниками подземных вод и участвуют в формировании ландшафтов, благоприятных для обитания.

www.issep.rssi.ru

ЧТО ТАКОЕ ЖИВОЙ РАЗЛОМ

Со школьной скамьи мы знаем, что земная кора нарушена многочисленными разломами. До недавнего времени геологи полагали, что имеют дело с образованиями далекого геологического прошлого, и, как правило, даже не искали способа убедиться в их современной активности. Вместе с тем уже давно специалисты обратили внимание на трещины и смещения земной поверхности при катастрофических землетрясениях. Чаще всего их считали приповерхностными нарушениями грунта от сейсмических сотрясений. Но еще в конце XIX века И.В. Мушкетов предположил, что такого рода разрывы являются выходами на поверхность разлома, подвижка по которому и была причиной землетрясения. Впоследствии его догадка подтвердилась, и потребность прогнозирования мест возможных будущих землетрясений заставила обратить на живые разломы особое внимание.

Термин “живой” или “активный” разлом появился в геологической литературе в конце 40-х годов XX века для обозначения разломов, проявляющих подвижность сейчас и способных проявлять ее в ближайшем будущем. Однако понятие “сейчас” в геологии, имеющей дело с событиями, нередко длящимися миллионы лет, неоднозначно. По одним разломам, например на границе Памира и Тянь-Шаня или в Калифорнии, движения земной коры происходят почти непрерывно, сопровождаясь частыми, но относительно слабыми землетрясениями, и фиксируются смещениями стен, заборов и дорожных покрытий на сантиметры в несколько лет. Другие разломы могут не обнаруживать признаков активности сотни и даже тысячи лет, а затем при сильном землетрясении дать импульс смещения амплитудой в метры. Таковы крупнейшие разломы Монголии и отдельные сегменты гигантского разлома Сан-Андреас в Калифорнии. Наконец, есть живые разломы, и их большинство, которые совмещают сильные сейсмические импульсы с медленными движениями в промежутках между ними. Таков, например, Северо-Анатолийский разлом Турции.

Следовательно, необходимо исследовать определенный временной интервал жизни разлома, чтобы установить его активность и определить ее параметры:

интенсивность (среднюю скорость, рассчитываемую по амплитуде смещения в установленный промежуток времени), направление и режим движений. К. Аллен посчитал таким интервалом последние 10–12 тыс. лет, а А.А. Никонов [2] расширил его до сотен тысяч лет. Дальнейшие исследования показали, что в подвижных поясах Земли для оценки параметров активности разлома достаточно изучить его жизнь в течение позднего плейстоцена и голоцена, то есть последних 100–150 тыс. лет, а в равнинных областях с вялыми движениями и редкими землетрясениями следует принимать во внимание и среднеплейстоценовую активность разлома, то есть его поведение в последние 700 тыс. лет [3–5].

КАК ИЗУЧАЮТ ЖИВЫЕ РАЗЛОМЫ

Для обнаружения активности разлома используют комплекс геолого-геоморфологических, геофизических и геодезических методов. Наиболее широко применяют геолого-геоморфологические методы – выявление смещений и деформаций в зоне разлома молодых отложений и форм рельефа: русел, морских и речных террас (рис. 1). Особенно надежно определять движения вдоль разломов по смещениям современных и древних сооружений (зданий, ирригационных систем), поскольку в таких случаях более точно устанавливаются возраст и соответственно скорость подвижки. Так, вдоль Главного Копетдагского разлома на юге Туркменистана обнаружены горизонтальные смещения на несколько метров древних подземных оросительных галерей и даже стены средневековой крепости. Длительность выявленных подвижек оценивается по возрасту геологических образований и сооружений, смещенных разломом и перекрывающих смещение. Хорошие результаты дают радиоизотопные методы (радиоуглеродный по отношению $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ и уран-иониевый по отношению изотопов урана), а также исторические и археологические оценки. Широко применяют методы

геологической и геоморфологической корреляции смещений с удаленными датированными объектами.

О современных подвижках по разлому можно судить по изменению относительного положения пунктов повторных геодезических измерений, расположенных в его крыльях. Многолетние исследования показали, что более устойчивы горизонтальные перемещения вдоль разлома (сдвиги) и поперек к нему (надви́г одного крыла на другое или их раздвигание), тогда как вертикальная компонента перемещений подвержена частым вариациям, иногда намного превосходящим многовековой тренд. Поэтому наилучшие результаты



Рис. 1. Примеры живых разломов: а – аэрофото- снимок Таласо-Ферганского разлома в Центральном Тянь-Шане, Кыргызстан: горизонтальное смещение мелких водотоков на величину до 35 м; б – ветвь Левантской зоны разломов на западном берегу Мертвого моря в Израиле: при землетрясении 31 г. до н.э. по разлому произошла подвижка, сместившая на величину до 0,3 м ступени водного бассейна в Кумране; в – разлом, активизированный при Спитакском землетрясении 1988 года в Северной Армении: при землетрясении по разлому произошла подвижка, выразившаяся в образовании уступа поверхности высотой до 1,8 м; г – Дарваз-Алайская зона разломов на северо-западной окраине Памира в Таджикистане: горизонтальное смещение на 50 м краевых морен последнего оледенения на левобережье р. Муксу

дают космогеодезические наблюдения с помощью спутников, приемников и средств обработки данных так называемой GPS-системы, у которой точность измерений горизонтальных перемещений достигает первых миллиметров. Сущность системы в том, что спутник с точно определяемыми параметрами орбиты посылает сигналы, прием которых позволяет измерить координаты наземных пунктов наблюдений. Сравнение результатов измерений разных лет показывает относительное перемещение пунктов, то есть деформацию в зоне разлома, которая может сразу сниматься движением по нему, а может накапливаться и по прошествии многих лет реализоваться сильным землетрясением.

Косвенными признаками активности разломов являются расположенные вдоль них цепочки эпицентров землетрясений, вулканов, термальных источников. О поведении разлома на глубине удается судить по результатам сейсмопрофилирования, показывающего смещения поверхностей глубинных слоев, отражающих и преломляющих сейсмические волны. На характер подвижек по разлому могут указывать особенности происходивших вдоль него землетрясений. Совместное применение перечисленных методов выявляет сложную картину жизни разлома с изменениями его параметров вдоль разлома и на глубину, а также с временными вариациями их проявлений.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЖИВЫХ РАЗЛОМОВ

Большое значение, которое имеют живые разломы прежде всего для оценки сейсмической опасности, побудило Международную комиссию по литосфере инициировать в 1989 году проект “Карта крупных активных разломов мира”. Этот проект, послуживший вкладом Международной программы “Литосфера” в объявленное ООН десятилетие уменьшения опасности природных бедствий, возглавлял автор настоящей статьи, проект объединил усилия 70 ученых из 50 стран. Сейчас он близок к завершению. Созданы компьютерные базы данных и карты крупнейших активных разломов континентов, а в наиболее подвижных и жизненно важных регионах выполнены и более детальные исследования. Их результаты использованы при составлении карт сейсмической опасности различных регионов.

Проведенные в рамках этого проекта исследования выявили общие закономерности активного разломообразования. Живые разломы распределены на поверхности Земли неравномерно. Большая их часть находится в подвижных поясах, отличающихся контрастностью рельефа и высокой сейсмичностью. Эти пояса разграничивают крупные литосферные плиты, охватывающие земную кору и самую верхнюю часть мантии. В зависимости от направлений относительного перемещения

плит в таких поясах могут происходить их раздвигание (рифтовые системы на срединно-океанических хребтах), их сближение (островные дуги, активные континентальные окраины и области коллизии, то есть столкновения континентальных частей плит) или сдвиг вдоль их границ (например, между Анатолийской и Евразийской плитами по Северо-Анатолийской зоне разломов). На территории Евразии и Африки расположены два крупнейших подвижных мегапояса: Притихоокеанский и Альпийско-Гималайский. Первый приурочен к границе Евразийской плиты с Тихоокеанской и на севере с Северо-Американской плитами, а второй охватывает область сближения Евразийской плиты с плитами южного ряда: Австралийской, Индийской, Аравийской и Африканской.

Подвижки по активным разломам подвижных поясов отражают направления современного относительного перемещения плит. Вместе с тем они охватывают не только границы плит, но и обширные смежные области шириной в сотни, а в Центральной Азии более 1000 км (рис. 2), разделяя микроплиты и блоки земной коры, расположенные между главными плитами. Их рисунок напоминает картину ледохода на реке, когда между крупными льдинами возникает крошево более мелких кусков льда. Перемещения между блоками иногда лишь немногим уступают перемещениям на границах главных плит, хотя в целом убывают с удалением от них. Так, средние скорости сдвига на западном и северо-восточном флангах Аравийской плиты достигают 7–10 мм/год, а по расположенным севернее крупнейшим межблоковым разломам Малого и Большого Кавказа близки к 5 мм/год. На флангах Индийской плиты скорости современных движений составляют 10–30 мм/год, а по крупнейшим разломам более северных и восточных областей Альпийско-Гималайского пояса – в Южном Тибете, на его северной и восточной границах, в Тянь-Шане и Монголии – они местами достигают и иногда превосходят 10 мм/год. Таким образом, распределение смещений внутри пояса оказывается сложным и неравномерным. Давление, первоначально возникшее на границе сближающихся главных плит, вызвало последовательное дробление все более удаленных от нее участков, и сейчас все они вовлечены в относительное перемещение. При этом большинство крупных активных разломов Евразии имеют сдвиговую компоненту движений, которая равна или чаще больше вертикальной компоненты. Сдвигами являются почти все разломы со скоростями движений более 10 мм/год. Обусловлено это тем, что горизонтальный сдвиг – наиболее энергетически экономная форма перемещения континентальных масс, поскольку не требует преодоления силы тяжести.

Сложность современного развития подвижных поясов и относительного перемещения плит не исчерпывается подвижками по разломам. Так, вдоль

Северо-Анатолийской зоны разломов между Евразийской и Анатолийской плитами скорость современного сдвига составляет, по геологическим и космогеодезическим данным, 13–20 мм/год, но, по тем же космогеодезическим данным, общая величина относительного перемещения этих плит достигает 30 мм/год, прирастая за счет деформации приразломной полосы шириной более 100 км. Иначе говоря, плиты (по крайней мере, в тех их частях, где перемещения особенно велики и контрастны) ведут себя не как бетонные монолиты, а как куски вара, способные медленно течь в результате давления друг на друга. Такое крупномасштабное течение особенно ярко выражено на Тибете, который под давлением Индийской плиты, движущейся к северо-востоку, укорачивается в поперечном направлении, вздымается и одновременно выдавливается на восток и юго-восток.

Совместный анализ геологических и геофизических данных о поведении активных разломов на глубине и современных деформациях глубинных горизонтов литосферы показал, что в разрезе литосферы подвижных поясов наблюдается тектоническая расслоенность — столь же сложное зонально-ячеистое распределение деформаций и смещений, как и на поверхности Земли. Разные горизонты литосферы могут деформироваться в разной степени, смещаться по зонам нарушений разных направлений и даже местами двигаться с разными скоростями. Литосферная плита в подвижном поясе более напоминает деформированный с боков торт “наполеон”, чем монолитную пластину. В слабо подвижных равнинных областях потенциальные возможности тектонического расслоения сохраняются, но реализуются в существенно меньшей степени.

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ И ЖИЗНЬ ЛЮДЕЙ

Треть человечества живет в сейсмически активных областях, где время от времени случаются разрушительные и изредка катастрофические землетрясения и где сосредоточено большинство крупных живых разломов. Для обеспечения безопасности населения, планирования землепользования, подходящих мест для возведения тех или иных сооружений и средств их защиты важное, а возможно, и решающее значение имеет не столько предупреждение отдельного сейсмического события в конкретном месте и в конкретное время, сколько определение уровня сейсмических воздействий от возможных будущих сильных землетрясений. Чтобы рассчитать этот уровень, надо знать места, максимальную возможную энергию (магнитуду M_{\max}) и повторяемость будущих землетрясений. Места и максимальная магнитуда определяют комплексным анализом параметров уже случившихся в регионе землетрясений и активных разломов. Связь этих явлений очевидна, поскольку подавляющее большинство землетрясений земной коры приурочено к зонам живых разломов.

Изучение живых разломов дает возможность, во-первых, уточнить сейсмические характеристики региона, по которым определяются места, M_{\max} и повторяемость будущих землетрясений максимальной магнитуды, и, во-вторых, получить эти характеристики независимым путем. Важность активных разломов как источника сейсмологической информации обусловлена тем, что для оценки M_{\max} нужно знать сейсмическую историю региона за максимально длительный срок, в течение которого случались землетрясения больших магнитуд и проявилась их повторяемость. Но инструментальная регистрация землетрясений проводится немногим более 100 лет, а исторические сведения о более ранних сейсмических событиях прерывисты и во многих местах отсутствуют. Изучение живых разломов восполняет этот пробел.

На рис. 3 представлен разрез канавы, прорытой поперек зоны активного Казерунского разлома в горах Загроса (Иран). Видно, что зона имеет сложное строение. Отдельные разрывы нарушают некие слои речных наносов, но перекрыты другими слоями, то есть возникли после первых и до вторых. По крупнейшему разрыву более молодые слои смещены по вертикали на меньшее расстояние и менее деформированы, чем более древние. Следовательно, было несколько импульсов движений — сильных землетрясений. По соотношению отдельных разрывов со смещенными и перекрывающимися слоями, возраст которых, как удалось установить, охватывает последние 12 тыс. лет, выявлено шесть таких землетрясений, то есть они повторялись в среднем через 2000 лет.

Независимый способ оценки мест и M_{\max} землетрясений по данным об активных разломах основан, во-первых, на самом факте приуроченности большинства сильных землетрясений к таким разломам и, во-вторых, на их длине и амплитудах выявленных сейсмогенных подвижек. Хотя очаги современных сильных землетрясений могут располагаться в любой части зоны живого разлома, выявлены места, где они возникают особенно часто. Это пересечения и сочленения разнонаправленных разломов и участки, где кулисно расположенные сегменты разломов надстраивают друг друга. Именно там непрерывное движение по разлому затормаживается и происходит накопление упругой деформации, приводящее к сейсмогенерирующему срыву.

Использование для оценки M_{\max} данных о длине разлома L и величине сейсмогенных подвижек D основано на уравнениях регрессии типа $M = a + b \lg L$ и $M = c + d \lg D$, где a , b , c и d — коэффициенты, эмпирически определенные по данным о подвижках при современных землетрясениях, а M — их амплитуды. При разделении разлома на отдельные сегменты, развивающиеся сейсмически независимо, L — не общая длина разлома, а длина сегмента. Изучение палеоземлетрясений



Рис. 2. Карта живых разломов Евразии и Африки: 1–3 – возраст последних доказанных проявлений активности: 1 – исторический; 2 – последние 100 тыс. лет; 3 – 700–100 тыс. лет назад;



4–7 – скорость движений, мм/год: 4 – $V \geq 5$, 5 – $1 \leq V < 5$, 6 – $V < 1$; 7 – $V \ll 1$, 8 – разлом предполагаемый; 9 – глубинный разлом, выраженный на поверхности косвенными признаками

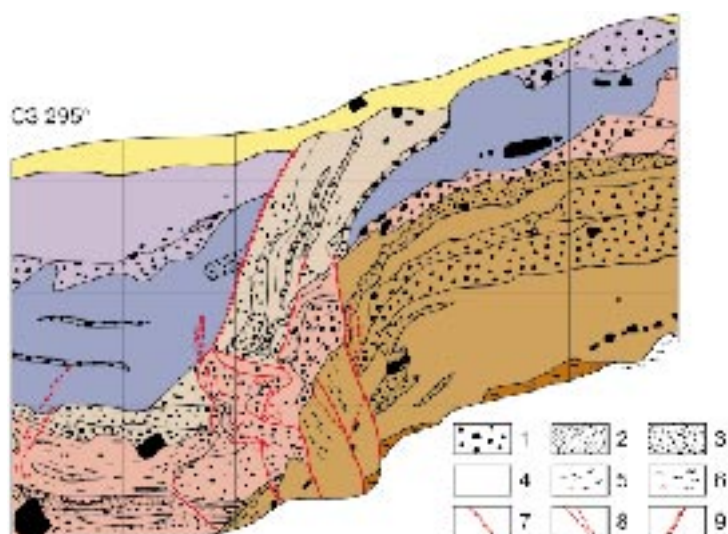


Рис. 3. Разрез канавы через Казерунский разлом, горы Загрос, Иран: 1 – камни, щебень и галька; 2 – гравий; 3 – песок с галькой или гравием; 4 – песок и суглинок; 5 – слоистость в песке или суглинке; 6 – гипс; 7 – ветви живого разлома; 8 – мелкие живые трещины; 9 – эродированный уступ живого разлома. Разным цветом показаны разновозрастные слои; верхний слой – современная почва. Вертикальные и горизонтальные линии проведены через 1 м

показывает, что границы сегментов устойчивы во времени. Следует иметь в виду разную сейсмическую активность живых разломов подвижных поясов и равнинных областей, а также направления движений по разломам и возможный вклад медленных движений в общее смещение, вводя на это поправку в соотношения L , D и M_{\max} . Внося такие поправки в величины смещений, установленные в канаве (см. рис. 3), мы определили магнитуды вызвавших их палеоземлетрясений величинами 7–7,3, то есть оценили эти землетрясения как катастрофические.

Влияние активных разломов на жизнь людей не исчерпывается сейсмическими воздействиями, причем это влияние может быть не только отрицательным, но и положительным. На рис. 4 представлена карта активных разломов Ближнего Востока, на которую нанесены пункты, где археологи обнаружили следы зарождения древнейшего земледелия – важнейшего шага в истории человечества, называемого неолитической революцией и ознаменовавшего переход к производящей экономике. Древнейшее земледелие возникло в так называемом плодородном полумесяце, протягивающемся дугой от Израиля через Ливан, Сирию, Южную Турцию к пограничной полосе между Ираком и Ираном.

Всякий минимально знакомый с земледелием знает, что для него нужны: 1) простейшая инфраструктура (постоянное жилище, коммуникации); 2) средства для возделывания земли и хранения урожая; 3) благоприятные климатические условия; 4) хорошая почва на подходящих землях; 5) полив; 6) посевной материал. Первые два условия были подготовлены социально-техническим развитием населения региона на стадии собирательства диких растений. Улучшение климатических условий было связано с окончанием ледниковой эпохи. А три последних условия обеспечили... жи-

вые разломы. И это видно уже из того, что почти все пункты со следами древнейшего земледелия находятся в зонах живых разломов и связанных с ними структур (см. рис. 4). Именно их активностью в течение последних 1–3 млн лет обусловлено сочетание горных хребтов с долинами и предгорными равнинами, покрытыми речными наносами, где и сейчас почвы наиболее благоприятны для земледелия. Хребты задерживали средиземноморские влажные тучи, обеспечивая выпадение дождей. С них в долины и на равнины сбегали мелкие речки, орошая почву. Вдоль живых разломов тогда, как и сейчас, выходили родники пресной воды, обеспечивая потенциальных земледельцев водой в засушливые сезоны и годы. И это не все: раздробленные породы в зонах разломов создавали пониженные прямые участки местности, которые использовались реками или представляли удобные места для прокладки троп и караванных путей, то есть становились трассами древнейших коммуникаций. Так было в прошлом на Ближнем Востоке, и так же, кстати, было в Древней Руси. Вероятно, именно с этим проявлением живых разломов связано то, что к ним и особенно к их пересечениям приурочено большинство городов Русской равнины, возникших до 1300 года и достигших сейчас численности населения не менее 100 тыс.

Однако вернемся к последней предпосылке древнейшего земледелия – наличию посевного материала. Великий русский ботаник и генетик академик Н.И. Вавилов установил, что ближневосточный центр зарождения земледелия попадает в юго-западно-азиатский ареал распространения диких предков культурных растений, в котором произрастали пшеница-однозернянка, эммер, ячмень, горох, чечевица в сочетании с миндалем и фисташкой как потенциальными источниками масла. Вместе с тем Н.И. Вавилов отметил в этом ареале

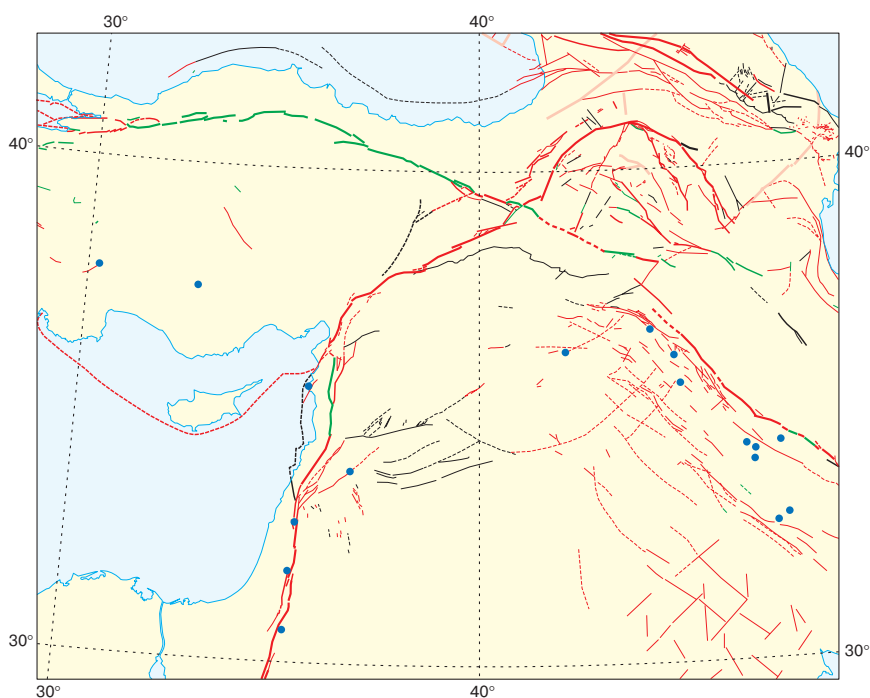


Рис. 4. Живые разломы и места находок следов древнейшего земледелия на Ближнем Востоке. Типы разломов те же, что на рис. 2. Синие точки – места находок следов древнейшего земледелия

участки, где указанные растения встречались совместно, давая большое количество разновидностей, что позволяло первым земледельцам выбрать формы наиболее продуктивные и пригодные для воспроизведения. Такие участки, как оказалось, приходится на зоны активных разломов. В чем дело?

Н.Н. Воронцов и Е.А. Ляпунова [1] обнаружили в высоко сейсмически активной зоне разломов на границе Памира и Тянь-Шаня у *Ellobius talpinus*, одного из надвидов слепушей (мелкие грызуны), характерные изменения набора хромосом – так называемые робертсоновские транслокации. Подобные мутагенные изменения были выявлены у слепушей в зонах живых разломов Болгарии, Югославии, Сирии, Ливана и Израиля, а у других мелких грызунов, в частности полевок и домашней мыши, – также в активных зонах Апеннин, Альп, Пиренеев, Динарида, Малого Кавказа, Тянь-Шаня, Алтая, Байкала, Курил, Японии и запада США. Можно полагать (и сейчас появились тому доказательства), что подобные мутагенные воздействия оказывали активные разломы и на диких предках культурных растений, обусловив их разнообразие, использованное первыми земледельцами.

Причиной мутагенных изменений могли быть химически своеобразные эмонации активных зон. В ходе аэро-космо-геологического эксперимента “Тянь-Шань–

Интеркосмос-88” нам удалось установить выделение в зонах живых разломов радона и некоторых тяжелых металлов (рис. 5). Особенно показательным было изучение однотипных полей люцерны в зоне Файзабадского разлома на южном фланге Тянь-Шаня и вне ее. В зоне разлома люцерна оказалась обогащенной в три раза и более железом, марганцем, мышьяком, цирконом, ниобием и другими тяжелыми металлами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, наша планета до сих пор сохраняет тектоническую активность, наиболее наглядно проявляющуюся в динамике живых разломов. Их большая часть и почти все разломы со скоростями движений ≥ 1 мм/год сосредоточены в подвижных поясах. Однако и равнинные территории типа Восточно-Европейской и Сибирской платформ также нарушены живыми разломами, заметное дыхание которых дополняется лишь ничтожными направленными движениями. Исключение среди “вялых” регионов составляют Фенноскандия и другие подобные области, 10–12 тыс. лет назад покрывшиеся мощным ледником. Здесь снятие ледовой нагрузки привело к общему воздыманию и некоторому ускорению подвижек по разломам.

Живые разломы оказывали и продолжают оказывать влияние на жизнь и деятельность людей. Это влияние

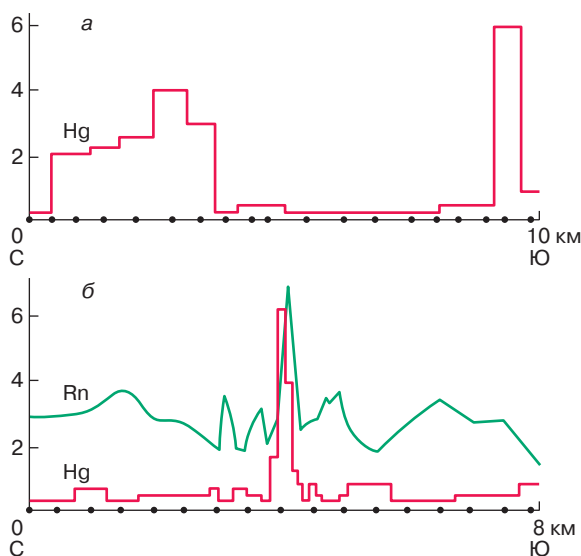


Рис. 5. Аномальные содержания ртути и радона в зонах Таласо-Ферганского разлома, Центральный Тянь-Шань (а) и Чонкурчакского разлома, Северный Тянь-Шань (б): по горизонтальной оси точками показаны пункты измерений поперек разломов; по вертикальной оси – содержания ртути (в 10^{-12} г/л) и радона (в условных единицах). Зона Чонкурчакского разлома неширока, и аномальные содержания почти совпадают с его выходом на поверхность; небольшой сдвиг пиков аномалий друг относительно друга может быть обусловлен тем, что разлом наклонен и радон поступает на поверхность с большей глубины, чем ртуть. Зона крупнейшего Таласо-Ферганского разлома шире, и ее раздробленная часть промывается водой. Поэтому аномальные содержания ртути приурочены к краям зоны, тогда как в центре они близки к фоновым

бывало и отрицательным и положительным. Живые разломы были и остаются источником природных бедствий, иногда катастрофических. Таковы прежде всего сильные землетрясения, а также извержения связанных с разломами вулканов, аварии скважин и трубопроводов, выделение радиоактивных элементов и соединений тяжелых металлов, некоторые вредные для здоровья геофизические аномалии, в частности электромагнитные. С вертикальными смещениями по разломам связаны изменения береговых линий, нарушающие эксплуатацию портовых и других прибрежных сооружений, усиление эрозии воздымающихся территорий, концентрация оползней и обвалов вдоль разломных уступов. Особенно опасны, хотя порой и незаметны при жизни одного поколения, многолетние эпохи усиления активности, проявляющиеся более частыми сильными землетрясениями. Крупнейшие социально-политические кризисы в истории Средиземноморья и Ближнего Востока (XIII–XI вв. до н.э., IV–VII вв. н.э. и вторая половина XVI–XIX столетие) совпадают с

эпохами ухудшения климата и частых сильных землетрясений.

Вместе с тем активность разломов определяла создание ландшафтов, благоприятствовавших становлению и развитию земледелия. Зоны разломов были источниками водоснабжения и естественными трассами речных и сухопутных коммуникаций. Двойственно воздействие разломов на живые организмы. С одной стороны, их мутагенный эффект обеспечил разнообразие диких предков культурных растений, позволившее древним земледельцам выбрать формы, наиболее продуктивные и пригодные для воспроизводства. С другой стороны, даже более слабые воздействия живых разломов равнинных территорий могут оказывать патогенное влияние на человека и биоту. Так, в зонах молодых разломов района Санкт-Петербурга работами Е.К. Мельникова, В.А. Рудника и Ю.И. Мусийчука выявлены повышенные выделения радона, увеличение числа раковых заболеваний и болезненные изменения деревьев, причем разломы влияют больше, чем промышленное загрязнение.

Мы не можем изменить активность живых разломов и связанных с ней землетрясений и других опасных явлений, но можем и обязаны уменьшить их отрицательные воздействия путем разумного планирования строительства и землепользования и обеспечения защитных мероприятий. Следует использовать и положительные эффекты активного разломообразования как источников подземных вод, в частности минеральных, а также мест организации заповедников и национальных парков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов Н.Н., Ляпунова Е.А. // Докл. АН СССР. 1984. Т. 277, № 1. С. 214–218.
2. Никонов А.А. Голоценовые и современные движения земной коры. М.: Наука, 1977. 240 с.
3. Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с.
4. Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Науч. мир, 1999. 254 с.
5. Трифонов В.Г. Активная тектоника и геоэкология // Проблемы геодинамики литосферы. М.: Наука, 1999. С. 44–62.

Рецензенты статьи Д.Ю. Пушаровский, М.Г. Ломизе

Владимир Георгиевич Трифонов, доктор геолого-минералогических наук, профессор, лауреат Государственной премии, действительный член РАЕН, руководит Лабораторией неотектоники и современной геодинамики в Геологическом институте РАН, возглавляет проект «Карта крупных активных разломов мира» Международной программы «Литосфера». Область научных интересов – общая геотектоника, неотектоника, современная геодинамика, сеймотектоника, геоэкология, влияние геодинамических процессов на историю. Автор 220 научных работ, в том числе 14 монографий.