

УДК 551.242+551.243

© 1995 г. А. А. НИКОНОВ

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ

Предлагается унифицированное определение понятия «активный разлом», учитывающее не только его возраст, но и интенсивность смещений по нему. Выделяются признаки идентификации активных разломов — прямые (4 группы, 9 признаков) и косвенные (11 групп, 32 признака). Предлагается достоверные разломы определять только по прямым признакам. Кратко обсуждаются основные научные проблемы, связанные с изучением активных разломов.

Постановка вопроса

Хотя «живой тектонике», «живущим разломам» исследователи начали уделять внимание по крайней мере с 1950-х годов, собственно название «активные разломы» появилось, насколько известно, впервые в 70-х годах в США [3, 22] и в Японии [12, 26, 28].

Американские исследователи определяли активные разломы как «разломы, которые повторно оживлялись в недавнее геологическое время (голоцен) и, возможно, проявят себя в будущем» [3, 22]. Близко к этому другое определение: «Активные разломы и активные тектонические деформации — это такие структуры или процессы, которые происходят в настоящее время и, вероятно, будут случаться или продолжаться в будущем» [39, стр. 5].

Специально образованная в Японии группа по разработке данной проблемы и созданию карты приняла, что «активными называются разломы, вдоль которых движения имели место в течение четвертичного времени (последние 2 млн. лет)» [28, стр. 63]. Такое определение аналогично понятию «четвертичные разломы» (т. е. разломы четвертичного периода) [26].

Составители «Карты активных разломов СССР» понимали под активными «разломы с признаками тектонических движений в течение голоцена, в том числе в историческое время» [6, стр. 3]. Но в дальнейшем расширили интервал до 100 тыс. лет [25].

Иначе трактует данное понятие другая группа российских исследователей: «Активными считаются современные (в отличие от четвертичных и новейших. — А. Н.) разрывы, смещения по которым происходят в настоящее время и зафиксированы инструментально геофизическими или геодезическими методами или документально при сопоставлении разновременных карт, исторических материалов и т. п.» [13].

Китайские специалисты, занятые составлением Атласа активных разломов страны, ограничились постулатом о том, что в качестве активного рассматривается разлом четвертичного времени (около 1 млн. лет), или обновленный разлом, или разлом с перемещениями в течение неотектонического этапа (с плиоцена) [30].

Приведенными упрощенными и несогласованными определениями можно было бы удовлетвориться, пока проблема разрабатывалась в отдельных странах. Однако предпринятые в последние годы специальные разработки по проблеме в более широком масштабе также не предварены обсуждением понятий, уточнением терминологии [1, 7, 18, 24, 32, 41]. Отсутствие четкого, согласованного

определения, как и общемативности признаков в при переходе к составу основных активных разломов осуществляться в 1989 г. [35]. Не менее важно установить для прикладных исследований

Стремясь заполнить пробелы в порядке предложения для введением, наметить систему для их последующей классификации, необходимо определить, сколько определений, сколько определений, базируясь на количественных признаках, практического использования

Активным разломом считается нарушение геологического строения, которое несет признаки разделения им блоками, величину не менее 0,5—1 м со среднерасчетной скоростью

Предлагаемое определение активного разлома в разрывном нарушении в геологическом разрыве (реже уязвимости). Ясно, что рассматриваемые разломы эндогенными, но не экзогенными, выражены на поверхности (например, гидротектонического характера) разломов. В нашем определении возможность проявления тектонически активными разломами геодинамически обусловленного с направленным перемещением разломов, являющаяся перемещений разломов

Из критериев выделения активных разломов поставив интенсивность их проявления. Оба критерия важны. Длительность проявления временной, но при интенсивности разломов считается активными разломами сотни тысяч лет суммарного превышения намеченной скорости. Весьма значимы также более ранними и масштабы

Применительно к разломам (не говоря о глубинных разломах) активных дизъюнктивных разломов, новообразованных, разломов, т. е. о дизъюнктивных разломах нарушения, выделяемых разломами, относятся именно к оценке участков строите

ПРОБЛЕМЫ ВЫДЕЛЕНИЯ

ивный разлом», учитывая-
ему. Выделяются признаки
признаков) и косвенные (11
еделять только по прямым
ы, связанные с изучением

едователи начали уделять
азвание «активные разло-
одах в США [3, 22] и в

разломы как «разломы,
е время (голоцен) и, воз-
ому другое определение:
ации — это такие струк-
время и, вероятно, будут

ботке данной проблемы и
разломы, вдоль которых
(последние 2 млн. лет)»
вертикальные разломы» (т. е.

нимали под активными
ие голоцена, в том числе
ширили интервал до 100

ийских исследователей:
ртичных и новейших. —
в настоящее время и
одезическими методами
карт, исторических ма-

активных разломов стра-
ивного рассматривается
новленный разлом, или
а (с плиоцена) [30].

еделениями можно бы-
в отдельных странах.
работки по проблеме в
чением понятий, уточ-
еткого, согласованного

определения, как и общепринятого перечня распределенных по степени информативности признаков выделения активных разломов, становится недопустимым при переходе к составлению общемировой карты по проекту «Мировая карта основных активных разломов», который под руководством В. Г. Трифонова начал осуществляться в 1989 г. в рамках Международной Литосферной Программы [34, 35]. Не менее важно установить унифицированное понимание активных разломов для прикладных исследований по инженерной геологии.

Стремясь заполнить указанный выше пробел, автор предпринял попытку (в порядке предложения для обсуждения) дать определение понятия с его обоснованием, наметить систему признаков активных разломов и представить материал для их последующей классификации. Выдвигаемые предложения [37] исходят из необходимости определять активность разлома не столько по времени ее проявления, сколько определенными, доступными для фиксации современными способами количественными величинами, к тому же удобными и значимыми для практического использования.

Определение и его обсуждение

Активным разломом предлагается называть такое дизъюнктивное тектоническое нарушение геологических тел на поверхности (в рельефе) и/или в недрах, которое несет признаки направленного перемещения (они приводятся отдельно) разделяемых им блоков (крыльев) в течение последних сотен тысяч лет на величину не менее 0,5—1 м на базе (поперек нарушения) не более 0,5—1 км, т. е. со среднерасчетной скоростью не менее сотых долей мм/год [37].

Предлагаемое определение подразумевает, что речь идет прежде всего о разрывном нарушении в геологических телах со всеми стандартными признаками дизъюнктива (реже узкой флексуры), как он определяется в структурной геологии. Ясно, что рассматриваются тектонические движения, т. е. обусловленные эндогенными, но не экзогенными процессами, сколь бы ярко последние ни были выражены на поверхности. Немалое число разрывов поверхностного происхождения (например, гидроразрывы, морозобойные, оползневые, сейсморазрывы вторичного характера) могут попасть под большинство вышеприведенных определений. В нашем определении они исключаются, но, конечно, допускается возможность проявления этих вторичных разрывов в связи с первичными тектонически активными и вдоль них. Таким образом, речь идет о тектонических, геодинамически обусловленных и/или контролируемых, разрывах пород и рельефа с направленным перемещением крыльев, независимо от того, какая составляющая перемещений преобладает.

Из критериев выделения активных разломов на первое место мы предлагаем поставить интенсивность перемещений по разлому и время (продолжительность) их проявления. Оба критерия, а не один, как принималось ранее, одинаково важны. Длительность установленных смещений по разлому может быть кратковременной, но при интенсивности выше определенного порога он все равно должен считаться активным. И наоборот, даже при малой скорости перемещений за сотни тысяч лет суммарное смещение окажется столь значительным, что при превышении намеченного возрастного порога разлом будет признан активным. Весьма значимы также размерность и глубинность разломообразования в связи с более ранними и масштабными разломами в земной коре.

Применительно к древним, долгоживущим и хорошо проработанным разломам (не говоря о глубинных) справедливо употребление термина разлом. Для активных дизъюнктивов четвертичного периода или его отрезков, особенно для новообразованных, правильнее было бы говорить о разрывах, а не о разломах, т. е. о дизъюнктивах меньшего ранга. Во всяком случае многие тектонические нарушения, выделяемые в результате непосредственного картирования на местности, относятся именно к разрывам. Последние имеют прикладное значение при оценке участков строительства и микрозонировании [21]. Группирование разрывов в

разломы — это чаще всего операция экстраполяционного характера и предмет генерализации. Однако для сохранения преемственности и чтобы избежать разно толков, по-видимому, целесообразно сохранить словосочетание «активный разлом».

Как и всякий тектонический разрыв, активный разлом может быть: 1) явным, выходящим на поверхность, 2) выраженным на поверхности опосредованно или 3) слепым, скрытым в толще рыхлых отложений. Поэтому геоморфологические признаки, несомненно весьма важные, не всегда могут служить определяющими.

Проблема разделения сквозных и скрытых разломов и выделения последних с использованием не прямых признаков поставлена и рассматривалась в работах В. И. Макарова [10, 11].

Ввиду широкого развития на поверхности Земли рыхлых или малосвязных отложений четвертичного возраста априори ясно, что не все активные разломы (особенно с криповым характером и небольшой скоростью перемещения) проявятся на поверхности по прямым и ясным признакам. Это ведет к необходимости уделять внимание признакам косвенным (см. ниже) и допускать при картировании экстра- и интерполяции как неизбежный способ прослеживания активных разломов по простиранию.

Вопрос о длительности периода, необходимого и достаточного для того, чтобы считать разлом активным, как уже отмечено в первом разделе, не получил однозначного решения. Интервал времени от любого настоящего момента в глубь геологического времени может быть выбран достаточно широким в зависимости от цели рассмотрения и удобства фиксации искомых признаков.

Одно из ранних подразделений молодых разломов по возрасту, еще до введения понятия об активных разломах, осуществлено в США при составлении карты разломов Калифорнии [40]. На этой карте выделены (цветом) разломы со смещениями в историческое время (последние 200 лет), разломы четвертичного времени (до 2 млн. лет, но без последних 200 лет) и более древние — дочетвертичные. Такое деление не получило широкого распространения, возможно, из-за уникальности ситуации и особых возможностей картирования разломов в Калифорнии.

Последующий опыт составления специализированных карт именно активных разломов обнаружил сильные расхождения в выбираемых интервалах возраста для определения разломов как активных. Так, японские специалисты выбрали интервал в 2 млн. лет, охватывающий в их понимании четвертичный период [12, 28, 29]. То же по существу принято при исследованиях активной тектоники в Калифорнии [38]. В Китае при составлении атласа активных разломов страны временной промежуток ограничен 1 млн. лет [30].

Совсем иное понимание активных разломов сформировалось в бывшем СССР [2, 6], где вслед за Б. Болтом [3] их возраст ограничивали голоценом (10 тыс. лет). Позднее выбранный период удлиннили до 100 тыс. лет [1, 25], а в варианте для «Мировой карты основных активных разломов» — до 700 тыс. лет [42]. В то же время некоторые исследователи считают активными разломы, заложившиеся и проявившиеся в кайнозой [4, 5]. При этом строгого обоснования принятой продолжительности обычно не приводится. Имеются даже публикации, где термин «активный разлом» употреблен вообще безотносительно ко времени [20].

При выборе предлагаемого нами интервала в несколько сотен тысяч лет применительно к решению поставленной задачи мы исходили из следующих общих соображений. Период в 2—1 млн лет слишком велик и неоднороден в отношении тектонического режима, чтобы рассчитывать, что в большинстве районов мира поле напряжений, кинематика и реальная скорость смещений по разрывам сохранялись неизменными. При таком решении реален риск потери специфики активности конкретных разломов именно в ближайшее к современному и более важное для реалистических прогнозных оценок время. С другой стороны, отрезок времени порядка 10 тыс. лет, как бы ни был привлекателен для выбора, во многих регионах оказывается недостаточно длительным для того, чтобы движения по разломам проявились отчетливо, а не фрагментарно в рыхлых отложениях и рельефе, и оказались бы достаточными для расчета интенсивности перемещений.

Наше предложение (примерно до 400) тыс. Во-первых, строгие активизации отсутству в любом случае в глоб пасаденской фазы тект глобальный характер и Время проявления это рассматриваемый пери ломы, насколько изве разломы, развивавшие в видимому, именно в с произошли последние т траекторий перемеще более коротких и позд перемещений не обне Интересно, что неза активны смещений по к выделению именно

Но даже если не распространенного р жения об удобстве активности разломов ного возраста было логии и создавало бы

В дальнейшем по инструментальных и активные разломы н (тысячи лет), голоцен лет) и среднечетверт

С другой стороны ется проблемой не интенсивности движе поддающихся фикса

Ввиду весьма суш в зонах разломов в : как активного пред должительностью ра но значимой (заметн мации в зоне разлом заметной (поддающ ширины разрывной пойдет о величинах общем случае можно техники и приборов. ном аспекте [13]. И получена в качестве тонически активном

Выбор ширины картирования (для с реальными размера даже в просто устр скольких, субпаралл тости, дробления. В породы имеют суще ширине редко пре

ого характера и предмет и чтобы избежать разно- тание «активный разлом». м может быть: 1) явным, сти опосредованно или 3) ому геоморфологические лужить определяющими. и выделения последних с сматривалась в работах

ыхлых или малосвязных е все активные разломы о перемещения) проявят- о ведет к необходимости лускать при картировании кивания активных разло-

аточного для того, чтобы азделе, не получил одно- оящего момента в глубь широким в зависимости знаков.

возрасту, еще до введения составлении карты разло- разломы со смещениями в ичного времени (до 2 млн. тичные. Такое деление не икальности ситуации и ии.

х карт именно активных ых интервалах возраста не специалисты выбрали четвeртичный период [12, х активной тектоники в ивных разломов страны

овалось в бывшем СССР голоценом (10 тыс. лет). 1, 25], а в варианте для 00 тыс. лет [42]. В то же зломы, заложившиеся и снования принятой про- публикации, где термин ко времени [20].

олько сотен тысяч лет или из следующих общих еоднороден в отношении нстве районов мира поле о разрывам сохранялись ификации активности конк- лу и более важное для рроны, отрезок времени бора, во многих регионах жения по разломам про- ниях и рельефе, и ока- смещений.

Наше предложение определить рассматриваемый период в несколько сотен (примерно до 400) тысяч лет, без строгого ограничения, исходит из следующего. Во-первых, строгие временные границы внутри этапа неотектонической активизации отсутствуют и чем дальше от современности, тем хуже известны, во всяком случае в глобальном масштабе. Границей удобно было выбрать начало пасаденской фазы тектонической активности среднечетвертичного времени, хотя ее глобальный характер и синхронность, вполне вероятные, предстоит еще доказывать. Время проявления этой фазы (400—200 тыс. лет назад) имеет смысл включить в рассматриваемый период и потому, что активные в среднечетвертичное время разломы, насколько известно, чаще проявляли активность и позднее, чем подобные разломы, развивавшиеся в позднем плиocene и начале четвертичного периода. По-видимому, именно в среднечетвертичное время, во время пасаденской фазы, могла произойти последняя значительная перестройка региональных полей напряжений и траекторий перемещений крупных блоков земной коры во многих районах. Для более коротких и поздних отрезков четвертичного периода заметные изменения этих перемещений не обнаружены, хотя величины скорости изменялись существенно. Интересно, что независимый опыт неотектонических исследований и изучения активных смещений по разломам в Средней Азии [14] и Средиземноморья [36] привел к выделению именно этого рубежа.

Но даже если не принимать начало пасаденской фазы в качестве широко распространенного рубежа тектонической активности Земли, остаются соображения об удобстве и значимости периода в сотни тысяч лет для фиксации активности разломов. Установление более точного рубежа в значениях абсолютного возраста было бы искусственным при нынешних возможностях геохронологии и создавало бы лишь обманчивую видимость точности.

В дальнейшем по мере накопления материала о возрасте смещений и развития инструментальных измерений, по-видимому, будет целесообразным разделять активные разломы на современные (за годы — десятки лет), позднеголоценовые (тысячи лет), голоценовые (до 10 тыс. лет), позднечетвертичные (до 100—150 тыс. лет) и среднечетвертичные (до 400 тыс. лет).

С другой стороны, проблема идентификации активных разломов представляется проблемой не столько возраста, как ее обычно трактуют, сколько интенсивности движений или величины суммарных перемещений (деформаций), поддающихся фиксации.

Ввиду весьма существенных различий в масштабах, типе и скорости смещений в зонах разломов в любой измеренный отрезок времени для выделения разлома как активного представляется целесообразным оперировать не столько продолжительностью рассматриваемого отрезка времени, сколько некоей минимально значимой (заметной визуально, измеряемой) величиной смещения или деформации в зоне разлома. В обычных масштабах 1 м смещений является величиной, заметной (поддающейся измерению) на местности. При реальных величинах ширины разрывной зоны (базы измерения) от нескольких до сотен метров речь пойдет о величинах скорости $V \geq 0,01 - 0,02 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$, т. е. таких, которые в общем случае можно измерить даже без использования высокоспециализированной техники и приборов. Несомненна также значимость приведенных величин в прикладном аспекте [13]. Интересно, что именно такая скорость $V = 0,1 - 0,01 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ получена в качестве минимальной, фиксируемой на разломах в столь тектонически активном регионе, каким являются Японские острова [28].

Выбор ширины зоны не свыше 0,5—1 км связан, во-первых, с масштабом картирования (для обзорных карт обычно не менее 1 : 1 000 000), а во-вторых, с реальными размерами самих дизъюнктивных нарушений (зон). Дело в том, что даже в просто устроенных зонах имеются подзоны сместителя (одного или нескольких, субпараллельных, возможно разного масштаба) и подзоны трещиноватости, дробления. Возможно также развитие подзон пластического течения, если породы имеют существенно глинистый состав. При этом подзона сместителя по ширине редко превышает сантиметры — десятки сантиметров, но зоны дроб-

ления, трещиноватости измеряются уже метрами и десятками метров в ширину. Обычные в природе сложные зоны молодых тектонических нарушений достигают сотен метров в ширину, но лишь в исключительных случаях превышают эту величину [14, 21, 23]. Именно поэтому определение перемещений на базе в сотни метров (до 1 км) поперек зон представляется для молодых разломов наиболее приемлемым.

Другой характеристикой, показательной для интенсивности перемещений по разломам (особенно при инструментальных измерениях за годы и десятилетия), могла бы быть величина деформации. При принятых значениях смещений в 0,5—1,0 м на базе 0,5—1,0 км формально рассчитываемая величина относительной деформации оказывается выше 10^{-4} . При таких деформациях любая горная порода испытывает разрыв. Следовательно, и с этой точки зрения выбранные пороги оставляют нас в рамках рассматриваемой задачи. В то же время это не означает, что отрицаются или остаются неучтенными пластические (пликативные) перемещения в зоне разлома, ибо, сосредоточиваясь только в его подзонах (фрагментарно и периодически), они имеют подчиненное значение.

Если предлагаемые количественные критерии окажутся приемлемыми, остается для обсуждения вопрос о том, как классифицировать фиксируемые разломы (разрывы) со смещениями с $V < 0,01 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ и суммарной шириной, например, меньшей либо равной 0,1 м. В специальных случаях, тем более если смещения фиксируются инструментально, такие разрывы могут иметь существенное прикладное значение [9, 13, 16] и на картах крупного масштаба, особенно для инженерных целей, должны выделяться.

Признаки активных разломов

Самые общие признаки активных разломов: морфологическая выраженность в виде нарушений рельефа, фиксация молодых разрывов и деформаций в отложениях, сейсмические нарушения (сейсмодислокации) — отмечаются всеми авторами, так или иначе затрагивающими рассматриваемую тему [3—5, 10—12, 21, 31, 33, 43]. Целый ряд признаков и конкретных примеров молодых смещений по разрывам приведен в публикациях В. Г. Трифонова [23], В. С. Имаева [4] и других авторов [7, 28]. Преимущественно это признаки морфологического характера, отражающие видимые нарушения рельефа.

Однако при столь обширной и ответственной работе, какой требуют и инженерные решения, и составление мировой карты активных разломов, необходимы всесторонне продуманные и обсужденные подходы к унифицированному набору признаков для последующего отражения их на карте. Остро ощущается потребность в полном перечне классифицированных по значимости и рангу признаков выделения активных разломов. Ниже такой перечень предлагается в качестве основы для последующего обсуждения.

Одна из основных специфических особенностей изучения активных разломов состоит в том, что приходится иметь дело, во-первых, с результатами тектонических процессов в виде необратимых (но подчас незначительных с точки зрения общей тектоники) нарушений и деформаций геологических тел и форм рельефа, а во-вторых, с постоянно протекающими, но не всегда однонаправленными процессами, признаки которых не столь сосредоточены в пространстве и времени, а величины не всегда уловимы существующими методами. Поэтому активный разлом выделяют как по обычным геологическим и геоморфологическим признакам, фиксирующим накопленные необратимые деформации и смещения, так и по ряду других (геофизических, геодезических, флюидодинамических и пр.), отражающих текущую активность. Последняя может быть направленной и обратной, постоянной и прерывистой. Поэтому тип смещений и режим движений, сколь бы они ни были важны для последующей интерпретации, в определение в число ведущих признаков для идентификации

активного разлома весьма желательно.

Целесообразными являются и косвенные, т. е. активные разломы можно и измерять, и наблюдать по наглядным признакам. А. Прямые признаки, что все они выражены в числе образований

1. Наличие плоскостей, брекчированных включений, так и четвертичных.
2. Смещение концы возрасту вдоль в дислокации в узких

1. Выраженные возрасту.
2. Отчетливые в ных элементов рел

Линейные вулканическими продуктами

Непосредственные строительных объектов объясняются локальными званы деятельностью

1. Резко линейные движений по разрывные структуры
2. Регулярные разных крыльях л
3. Резко полярные предполагаемого

Косвенные признаки именно: на поверхности и идет их по К первой группы

сятками метров в ширину. таких нарушений достигают в случаях превышают эту ремещений на базе в сотни лодых разломов наиболее

сивности перемещений по х за годы и десятилетия), х значениях смещений в мая величина относительно- еформациях любая горная точки зрения выбранные чи. В то же время это не чтенными пластические едоточиваясь только в его одчиненное значение. гутся приемлемыми, оста- ть фиксируемые разломы рной шириной, например, тем более если смещения туть иметь существенное о масштаба, особенно для

огическая выраженность в в и деформаций в отло- — отмечаются всеми авто- тему [3—5, 10—12, 21, 31, в молодых смещений по В. С. Имаева [4] и других рологического характера,

е, какой требуют и инже- х разломов, необходимы ифицированному набору остро ощущается потреб- мости и рангу признаков предлагается в качестве

ения активных разломов их, с результатами тек- незначительных с точки ологических тел и форм е всегда однонаправлен- точены в пространстве и ими методами. Поэтому огическим и геоморфо- обратимые деформации и ческих, геодезических, вность. Последняя может истой. Поэтому тип сме- для последующей интер- ов для идентификации

активного разлома не входят. Однако, естественно, на картах их отражение весьма желательно.

Целесообразным представляется прежде всего подразделить признаки на прямые и косвенные, что необходимо для определения степени надежности фиксации активных разломов. К прямым признакам можно относить видимые непосредственно и измеряемые инструментально, к косвенным — определяемые опосредованно по наглядным и/или логически выводимым чертам.

А. Прямые признаки подразделяются нами на пять групп. Их объединяет то, что все они выражены на поверхности, в приповерхностных отложениях, в том числе образовывались при известных землетрясениях.

1. Геологические признаки

1. Наличие плоскостей разрывов с глинками трения, штрихами, зонами дробления, брекчирования, милонитизации, рассланцевания, остеклования, деформации включений, переориентация первичных форм отложений как коренных, так и четвертичных пород.

2. Смещение комплексов пород, отложений, отдельных слоев соответствующего возраста вдоль вытянутых линий, плоскостей, открытых трещин, пликативные дислокации в узких зонах.

II. Геоморфологические признаки

1. Выраженные в рельефе уступы, скалпы, микрограбены, рвы фиксированного возраста.

2. Отчетливые разрывные или пликативные деформации линейных и площадных элементов рельефа соответствующего возраста.

III. Вулканические

Линейные вулканические трещины, открытые или заполненные вулканическими продуктами.

IV. Архитектурные и археологические

Непосредственные разрывы со смещениями или линейные деформации строительных объектов, комплексов, конструкций, коммуникаций, если они не объясняются локальными геологическими условиями и/или процессами и не вызваны деятельностью человека.

V. Геодезические

1. Резко линеаризованные изменения в знаке и/или скорости современных движений по результатам повторных измерений (тем более через известные разрывные структуры).

2. Регулярные и ориентированные изменения расстояний между пунктами на разных крыльях линейной структуры (разлома, линеамента).

3. Резко поляризованные векторы смещений по разные стороны реального или предполагаемого тектонического нарушения.

Б. Косвенные признаки

Косвенные признаки целесообразно группировать по среде их проявления, а именно: на поверхности, в недрах, в атмосфере и под водой. В этой последовательности и идет их перечисление.

К первой группе относим признаки, наблюдаемые на поверхности (Пов).

I. Геологические

1. Линейные зоны повышенной трещиноватости, сланцеватости, минерализации, гидротермальных изменений пород соответствующего возраста.
2. Трещины, кластические дайки, заполненные вышележащим рыхлым материалом, линейные системы таковых.
3. Резкие линейные контакты (в плане и разрезе) отложений и пород, не поддающиеся объяснению за счет литологии, избирательной денудации, эрозионных процессов.

II. Геоморфологические

1. Линейное сосредоточение вытянутых (параллельно и субпараллельно) элементов и граней рельефа, в том числе объединяемых в линеаменты на аэрофотоснимках и космических снимках.
2. Резкие линейные контакты различных элементов рельефа или отчетливые скачкообразные изменения наклона поверхностей, не объяснимые без допущения тектонических движений по разрыву.
3. Линейная приуроченность и вытянутость крупных гравитационных образований на склонах.
4. Линеарность полых элементов молодого рельефа — карстовых и суффозионных воронок, ложбин стока и т. п.

III. Вулканические

1. Линейность расположения вулканических конусов или продуктов трещинных излияний.
2. Линейность фумарольной, гейзерной активности.

IV. Ландшафтные

1. Линеарность отдельных форм и элементов микрорельефа — соров, такыров, мочажин.
2. Полосовое расположение растительности, особенно в аридных равнинных районах.

V. Геодезические

1. Линейные высокоградиентные полосы смещений, выявленные по результатам повторных измерений.
2. Расположение экстремальных вариаций или амплитуд смещений в узких полосах (зонах).
3. Отчетливые изменения наклонов по некоей граничной линии.

VI. Флюидодинамические, геохимические и радиометрические

1. Линейное проявление и/или ориентировка участков повышенной (аномальной) активности минеральных вод, гидрогеологических феноменов, гидротерм, газовых эманаций.
 2. То же для геохимических, геотермических, температурных аномалий флюидов.
 3. То же для радиогенных эманаций.
- Другая группа косвенных признаков объединяет те признаки, что проявляются глубоко под земной поверхностью, хотя могут фиксироваться и на ней (Гл.).

1. Линеарность в числе слабых.

2. Отчетливо в трехмерном пространстве.

3. Ясная вытянутость в сечениях, выделение волн.

4. Определение как дипольного ра

1. Резкое по л аномалий при одн по положению и п турами.

2. Выявление г характеризуют за ных методов прос идр.).

Третья группа в атмосфере ил

Линейные ано

Линейное расп нами разломов.

Линейные или волн в атмосфере

Наконец, четв быть распознавае. Большею частью возможно выделе требует специаль

Предлагаемый Он открыт для уто аномалий, значим и водной среде, г Ряд признаков ещ

Степень надеж дении несколько относится к груп признаков с прямы мысль о том, ч активности и возр чение сотен тыс

VII. Сейсмологические

1. Линейность расположения гипоцентров (эпицентров) землетрясений, в том числе слабых.
2. Отчетливо линейное или полосовое развитие афтершокового процесса (в трехмерном пространстве).
3. Ясная вытянутость осей изосейст высоких баллов при сильных землетрясениях, выделение линейных аномалий (отклонений) в затухании сейсмических волн.
4. Определение фокального механизма землетрясения (группы землетрясений) как дипольного разрыва в согласии с геологическими и другими данными.

VIII. Геофизические

1. Резкое по линии или полосе разграничение геофизических полей и/или аномалий при однократных или повторных съемках, особенно при согласовании по положению и простираию с известными разрывными тектоническими структурами.
2. Выявление геофизических признаков на разломах, аналогичных тем, какие характеризуют заведомо активные разломы (с прямыми признаками), путем разных методов просвечивания (например, электрического, магнитотеллурического и др.).

Третья группа косвенных признаков выделяется для тех, что могут проявляться в атмосфере или ионосфере, во всяком случае над сушей (Ат).

IX. Приземно-атмосферные

Линейные аномалии газовых эманаций в приземном слое воздуха.

X. Атмосферные

Линейное расположение облаков (аномалий облачности) над известными зонами разломов.

XI. Электромагнитные

Линейные или даже участковые аномалии в распространении электромагнитных волн в атмосфере (ионосфере), особенно над известными зонами разломов.

Наконец, четвертая группа признаков должна объединять те, которые могут быть распознаваемыми в водной среде, главным образом на дне водоемов (Вод). Большею частью они будут повторять характерные для наземных условий, но возможно выделение и ряда специфических. Перечень признаков этой группы требует специальной разработки.

Предлагаемый перечень признаков, по-видимому, не является исчерпывающим. Он открыт для уточнений и дополнений. Опыт выделения характерных признаков и аномалий, значимых с точки зрения распознавания активных разломов в воздушной и водной средах, гораздо беднее, чем для сухопутных районов, и явно недостаточен. Ряд признаков еще только выявляется и критерии вырабатываются.

Степень надежности выделения активных разломов возрастает при совпадении нескольких признаков по положению и протяжению. Это особенно относится к группе косвенных признаков и к случаям согласования косвенных признаков с прямыми, пусть даже на отдельных участках. Уже высказывалась мысль о том, что достоверность выделения разлома зависит от степени активности и возраста [27]. Действительно, высокоактивный и длительно (в течение сотен тысяч лет) развивающийся разлом имеет гораздо больше шансов

явственно проявиться на поверхности и в приповерхностных отложениях прямыми признаками и потому быть выделенным в качестве достоверного.

Вообще по степени надежности (уверенности) выделения активные разломы, как и разломы вообще, могут быть подразделены на три градации, а именно достоверные (1), не (достаточно) уверенно выделяемые (2) и выделяемые предположительно (3). Уверенное выделение производится только при наличии прямых признаков. Для выделения неуверенного можно считать необходимым наличие не менее 2—3 косвенных признаков, иначе разлом (участок разлома) попадает в градацию выделяемых предположительно.

Степень дифференцированности по этим градациям в целом и по протяжению разломов может зависеть от используемого масштаба.

Некоторые проблемы выделения и интерпретации активных разломов

Несомненно, что, даже имея в руках набор признаков для выделения активных разломов и их классификации, исследователи будут сталкиваться в конкретной работе по картированию с целым рядом трудностей методического и технического характера. Все их предусмотреть невозможно, но на некоторые важные имеет смысл указать заранее и прокомментировать их, не претендуя на преодоление трудностей.

О проблеме различения объектов на разломы и разрывы выше уже говорилось. Добавим, что термин разлом приобретает полную значимость, когда доказывается его не локальное, но региональное протяжение, проникновение в глубь земной коры и/или выделяется серия параллельных или эшелонированных разрывов.

Особого рассмотрения заслуживают проблемы выделения скрытых разломов и соотношения разломов и линейamentов, которые трактуются в работах В. И. Макарова [8, 10, 11].

Проблема сегментации разлома включает вопросы о длине, единичности или множественности, разной сложности сопряжения разрывов, несколько различающихся по протяжению и (часто) сочленяющихся. Разделение сочленяющихся под острыми углами и продолжающих один другой разломов может быть проведено только путем тщательных исследований с учетом кинематики и скорости смещений, ранга и соподчинения отрезков, возможно глубинности и возраста. Решение этого вопроса зависит в первую очередь от возможности снятия эффекта неравномерной изученности вдоль протяжения разлома. Дело в том, что одинаковая или равномерная информация о разломе вдоль его протяжения редко может быть достигнута ввиду широкого распространения на поверхности рыхлых четвертичных отложений, в которых признаки перемещений или не проявляются, или проявляются невыразительно. Выход из этого затруднения может лежать на пути особо тщательных наблюдений (в том числе с помощью горных выработок), использования косвенных и вторичных признаков, с одной стороны, и введения масштабного шага экстра- и интерполяции при прослеживании и рисовке разлома от более надежных участков к менее надежным — с другой.

В случае сравнительно равномерной изученности проявлений активности вдоль протяжения разлома исследователи столкнутся с проблемой сегментации по существу. Главными при этом окажутся, во-первых, вопросы существования барьеров литологического и структурного характера и, во-вторых, изменения направления, позиции и кинематики самого разлома. Другой аспект той же проблемы — это идентификация (или разбраковка) разломов одного района (полосы) с признаками активизации на поверхности и глубине. От конкретного решения вопроса будет зависеть определение ширины и глубины, т. е. масштаба, разломной зоны, позиции в трехмерном пространстве и кинематики и, возможно, степени активности.

Серьезные трудности вызывает решение вопроса о том, относить ли к

активным разломом ряд районов и включая инструментально зафиксированы) признакам, например проявления, газовой проницаемости в зоне появляется инструментальных возрастных перерывами и разлом

Единое решение мени и пространстве фиксируемых за геос категорию активны перемещении крыл причинами. Однако с направленными см суммарных смещени тысяч лет в будущем случаях признаки п могут существовать заслуживают специа ных целях. Предста рушений (зон прони соответствующим в

Из более общих ным, чем начальны унаследованности более древним. Пр ванности положени истории развития с

На решение так можно рассчитывать исследований, под Сан-Андреас в Кал

Представленные чения активных ра в начале статьи зад активных разломов тью будут решать разломов. Но путя представлений, ун объекта исследова

Автор признае. В. И. Макарову, С поставленных воп

Работа выполн исследований (код

1. Активные разломы: М. СССР, 1989. Ч. I. 4
2. Аэрокосмическое изу
3. Болт Б. А., Хорн У.

ностных отложениях пря-
ве достоверного.

еления активные разломы,
а три градации, а именно:
е (2) и выделяемые предпо-
лько при наличии прямых
ь необходимым наличие не
сток разлома) попадает в

в целом и по протяжению

ия
омов

в для выделения активных
талкиваться в конкретной
одического и технического
некоторые важные имеет
ретендуя на преодоление

разрывы выше уже го-
полную значимость, когда
яжение, проникновение в
ых или эшелонированных

ления скрытых разломов
актуются в работах В. И.

о длине, единичности или
ывов, несколько различа-
ление сочленяющихся под
ов может быть проведено
ематики и скорости сме-
бинности и возраста. Ре-
ожности снятия эффекта
Дело в том, что одинако-
протяжения редко может
поверхности рыхлых чет-
ний или не проявляются,
днения может лежать на
щью горных выработок),
ной стороны, и введения
ивании и рисовке разлома
гой.

влений активности вдоль
й сегментации по сущест-
существования барьеров
изменения направления,
той же проблемы — это
на (полосы) с признаками
решения вопроса будет
азломной зоны, позиции в
ени активности.

о том, относить ли к

активным разлом без выявленных признаков необратимых перемещений. В це-
лом ряде районов имеются сведения только о признаках современной активности,
включая инструментальные измерения, но не зафиксированы (или не могут быть
зафиксированы) признаки активности в голоцене и позднем плейстоцене. К таким
признакам, например, могут относиться линейная трещиноватость пород, водо-
проявления, газовые эманации и вообще признаки повышенной современной
проницаемости в зоне известного (или предполагаемого) разлома. Все больше
появляется инструментальных измерений, свидетельствующих о кратковремен-
ных возрастных перемещениях в узких линейных зонах, обычно над известными
разрывами и разломами [14, 15, 17, 19].

Единое решение по этому вопросу найти трудно ввиду ограниченности (во вре-
мени и пространстве) данных о такого рода разрывах — типа диаклазов. Разрывы без
фиксируемых за геологическое время (направленных) перемещений не попадают в
категорию активных по определению, тем более что обычно знакопеременность в
перемещении крыльев разломов обусловлена вторичными, не тектоническими
причинами. Однако если по ним наблюдаются только признаки текущей активности
с направленными смещениями ниже принятых величин скорости ($< 0,01$ мм/год) и
суммарных смещений ($< 0,5$ м), то нельзя быть уверенным, что за тысячи и десятки
тысяч лет в будущем они не обнаружат значимых смещений. К тому же в таких
случаях признаки перемещений, отсутствующие (не фиксируемые) на поверхности,
могут существовать в той же зоне на глубине. Поэтому такие подвижные разломы
заслуживают специального изучения и картирования как в научных, так и в приклад-
ных целях. Представляется наиболее рациональным выделение подобного рода на-
рушений (зон проницаемости и/или подвижности) в особую группу подвижных зон с
соответствующим выделением на картах.

Из более общих проблем, решение которых относится скорее к заключитель-
ным, чем начальным фазам исследования, можно указать *проблему определения*
унаследованности (новообразованности) активных разломов по отношению к
более древним. Проблема включает определение времени заложения, унаследо-
ванности положения, размеров, кинематики, степени активности, режима, т. е.
истории развития структуры.

На решение такого рода проблем в индивидуальном или региональном аспекте
можно рассчитывать только в результате длительных специализированных
исследований, подобных тем, которые проводятся, например, в зоне разлома
Сан-Андреас в Калифорнии [38], в Китае [30] и некоторых районах Японии [29].

Представленные выше соображения и предложения охватывают вопросы изу-
чения активных разломов только в той мере, в какой соответствуют изложенной
в начале статьи задаче. Более существенные проблемы изучения и интерпретации
активных разломов частью рассматриваются в цитированных публикациях, час-
тью будут решаться в процессе дальнейшего интенсивного изучения активных
разломов. Но путь их решения неизбежно лежит через согласование исходных
представлений, унификацию понятий, типизацию и классификацию признаков
объекта исследований.

Автор признателен Т. П. Белоусову, В. С. Буртману, В. Зухевичу, Ю. Г. Леонову,
В. И. Макарову, С. А. Несмеянову, В. Г. Трифонову, С. В. Энман за обсуждение
поставленных вопросов и рекомендации по усовершенствованию статьи.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных
исследований (код проекта 94-05-16828а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Активные разломы: методы, изучения, морфология, кинематика, геодинамика. Москва; Иркутск: АН СССР, 1989. Ч. I. 43 с.; Ч. II. 58 с.
2. Аэрокосмическое изучение сейсмоопасных зон. М.: Наука, 1988. 134 с.
3. Болт Б. А., Хорн У. Л., Макдональд Д. А., Скотт Р. Ф. Геологические стихии. М.: Мир, 1978. 438 с.

4. Имаев В. С., Имаева Л. П., Козьмин В. М. Активные разломы и сейсмоструктура северо-восточной Якутии. Якутск: Якут. НЦ СО АН СССР, 1990. 148 с.
5. Исследования земной коры и верхней мантии сейсмоопасных зон территории СССР//Отв. ред. Е. В. Карус. М.: Наука, 1984. 200 с.
6. Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий, м-б 1 : 8 млн. Объяснит. зап./Под ред. В. Г. Трифонова. М.: ГИН, 1987. 48 с.
7. Карта и количественные характеристики зон активных разломов СССР//Тез. докл. XXV Всесоюз. тект. совещ. Тектоника океанов и палеоокеанов. М.: Наука, 1991. 28 с.
8. Космическая информация в геологии/Под ред. В. Г. Трифонова, В. И. Макарова, Ю. Г. Сафонова, П. В. Флоренского. М.: Наука, 1983. 535 с.
9. Коштак Б., Никонов А. А., Передерин В. П. и др. Мониторинг микросмещений по разрывам на Гармском геодинамическом полигоне//Изв. РАН. Физика Земли. 1992. № 9. С. 41—58.
10. Макаров В. И. Проявление современного глубинного тектогенеза в Средней Азии по комплексу геолого-геофизических данных//Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М.: Наука, 1984. С. 67—80.
11. Макаров В. И. Активные глубинные деформации и сейсмичность литосферы новейших подвижных поясов//Основные проблемы сейсмоструктуры. М.: Наука, 1986. С. 36—39.
12. Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии/Под ред. Н. В. Шебалина. М.: Недра, 1984. 312 с.
13. Несмеянов С. А., Ларина Т. А., Латынина Л. А. и др. Выявление и прогноз опасных разрывных тектонических смещений при инженерных изысканиях для строительства//Инж. геология. 1992. № 2. С. 17—32.
14. Никонов А. А. Голоценовые и современные движения земной коры. М.: Наука, 1977. 240 с.
15. Никонов А. А. Современные движения земной коры на территории СССР//Основные проблемы неотектоники. М.: Наука, 1986. С. 25—35.
16. Печерский Д. М., Сафонов В. А., Диденко А. Н. Магнитно-тектоническое изучение голоценовых отложений в районе Казантипского залива//Изв. АН СССР. Физика Земли. 1991. № 5. С. 89—100.
17. Рихтер В. Г. Методы изучения новейшей и современной тектоники шельфовых зон морей и океанов. М.: Недра, 1965. 244 с.
18. Современная геодинамика, активные разломы и сейсмическое районирование//Тез. докл. XXIII Всесоюз. тект. совещ. Геодинамика и развитие тектоносферы. М.: Наука, 1990. 41 с.
19. Современная геодинамика и нефтегазоносность/Под ред. Н. А. Крылова, В. А. Сидорова. М.: Наука, 1989. 200 с.
20. Современная динамика литосферы континентов. Платформы/Под ред. Н. А. Логачева, В. С. Хромовских. М.: Недра, 1991. 280 с.
21. Тектонические разрывы на участках сейсмического микрорайонирования. М.: Наука, 1982. 136 с.
22. Толковый словарь английских геологических терминов/Под ред. М. Гери, Р. Мак-Афи мл., К. Вульфа. Т. 1. М.: Мир, 1977. 588 с.
23. Трифонов В. Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с.
24. Трифонов В. Г. Особенности развития активных разломов//Геотектоника. 1985. № 2. С. 16—26.
25. Трифонов В. Г., Кожурин А. И., Лукина Н. В. Изучение и картирование активных разломов//Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ, 1993. Вып. I. С. 196—207.
26. Уфимцев Г. Ф., Онухов Ф. С., Тимофеев Д. А. Терминология структурной геоморфологии и неотектоники. М.: Наука, 1979. 256 с.
27. Чипизубов А. В. Классификация активных разломов по степени активности, возрасту активизации и достоверности//Тез. докл. XXV Всесоюз. тект. совещ. Тектоника океанов и палеоокеанов. М.: АН СССР, 1991. 28 с.
28. Active Faults in and around Japan: the distribution and the degree of activity//J. Natur. Disas. Sci. 1980. V. 2. No. 2. P. 61—99.
29. Active Fault Map of Japan. Scale 1 : 1 000 000. Tokyo, 1991.
30. Atlas of active faults in China. Editor-in-Chief Ding Guoyu//Seismol. Press. 1989. 123 p.
31. Berberian M. Active faulting and tectonics of Iran, Zagros, Hindu Kush, Himalaya Geodynamic evolution//Geodynam. Ser. Wash. 1981. V. 3. P. 33—69.
32. Characteristics of active faults//Spec. Issue J. Struct. Geol. 1991. V. 13. No. 2. 240 p.
33. Ding Guoyu. Active faults and seismicity and earthquakes in China. Beijing, 1989.
34. International Lithosphere Map. Scale 1 : 1 000 000. Paris, 1989.
35. Inter-Union Commission on the History of the Earth's Crust. Neotect. Commis. 1990.
36. Neotectonic Map of Italy. Scale 1 : 1 000 000. Rome, 1989.
37. Nikonov A. A. Active faults in the Caucasus Mountain Systems. Leningrad, 1989.
38. The San Andreas fault system. A review of its geology and tectonics. Santa Monica, 1989.
39. Slemmons A. B. 100 years of paleoseismology. Decatur, 1989.
40. State of California. Prehistoric Geology. Scale 1 : 750 000. Sacramento, 1989.
41. Trifonov V. G., Ma G. Geodynam. 1988. V. 3. P. 33—69.
42. Trifonov V. G. World Geodynam. 1988. V. 3. P. 33—69.
43. Vita-Finzi C. Recent developments in the study of active faults. London, 1989.

ейсмотектоника северо-восточной
 территории СССР//Отв. ред. Е. В.
 : 8 млн. Объяснит. зап./Под ред.
 СССР//Тез. докл. XXV Всесоюз.
 28 с.
 И. Макарова, Ю. Г. Сафонова,
 микросмещений по разрывам на
 1992. № 9. С. 41—58.
 в Средней Азии по комплексу
 ивность Земли и сейсмичность.
 итосферы новейших подвижных
 , 36—39.
 ред. Н. В. Шебалина. М.: Недра,
 и прогноз опасных разрывных
 ельства//Инж. геология. 1992.
 М.: Наука, 1977. 240 с.
 и СССР//Основные проблемы
 ическое изучение голоценовых
 а Земли. 1991. № 5. С. 89—100.
 ельфовых зон морей и океанов.
 онирование//Тез. докл. XXIII
 аука, 1990. 41 с.
 ова, В. А. Сидорова. М.: Наука,
 д. Н. А. Логачева, В. С. Хромо-
 ния. М.: Наука, 1982. 136 с.
 . М. Гери, Р. Мак-Афи мл.,
 4 с.
 ика. 1985. № 2. С. 16—26.
 отирование активных разло-
 Евразии. М.: ИФЗ, 1993.
 руктурной геоморфологии и
 ности, возрасту активизации
 янов и палеоокеанов. М.: АН
 у//J. Natur. Disas. Sci. 1980.
 1989. 123 p.
 Kush, Himalaya Geodynamic
 2. 240 p.

33. Ding Guoyu. Active faults of China//A collection of papers of International Symposium on continental seismicity and earthquake prediction. Beijing: Seismol. Press, 1984. P. 225—242.
34. International Lithosphere Program. Report No 13. Newsletter. 1990. P. 6.
35. Inter-Union Commission on the Lithosphere Task group: World map of active faults//Bull. INQUA Neotect. Commis. 1990. N 13. P. 39—41.
36. Neotectonic Map of Italy. Director F. Barbery. Scale 1 : 500 000. 6 sheets. Firenze, 1983.
37. Nikonov A. A. Active faults: definition and identification criteria//Abstr. Internat. Sympos. Geodin. Europe Mountain Systems. Lviv — Yaremcha. April 10—17, 1994. P. 4.
38. The San Andreas fault system, California//Ed. R. E. Wallace. Wash., 1990. 283 p.
39. Slemmons A. B. Paleoseismicity and fault segmentation//Proceed. 1st National Workshop on paleoseismology. Dec. 11—13, 1989, Roma, Italy. Rendiconti Soc. Geol. It., V. 13. Roma, 1990. P. 5—8.
40. State of California. Preliminary fault and geologic map//Compil. W. Jennings. San Francisco, 1973. 2 sheets. Scale 1 : 750 000.
41. Trifonov V. G., Makarov V. I. Geologo-geomorphological study of modern tectonic movements//J. Geodynam. 1988. V. 10. No 2—4. P. 309—320.
42. Trifonov V. G. World map of active faults//Quatern. Internat. Spec. Issue. 1995. № 25. P. 3—16.
43. Vita-Finzi C. Recent Earth movements. L.: Acad. Press, 1986. 226 p.

ОИФЗ РАН

Поступила в редакцию
 23.XII.1993