

УДК 563.12

Т.П. БЕЛОУСОВ, В.П. ЧИЧАГОВ

О СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ФАЦИЯХ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В многочисленных разрезах плейстоценовых и голоценовых отложений сейсмоактивных горных областей Центральной Азии, Закавказья и Кавказа, в частности эпицентральной зоны Рачинского землетрясения 1991 г., встречаются разнообразные включения горных пород: обвалы и осыпи скальных образований, блоки и крупные глыбы, скопления обломочного материала в трещинах, отдельные обломки в покровных суглинках и т.д. На поверхности этих районов местами просматриваются тектонические и сейсмотектонические трещины. В зонах современного трещинообразования нередки линейные палеосейсмодислокации, а в их пределах – зоны дезинтеграции горных пород. Включения скальных обломков и молодой катаклазированный материал могут рассматриваться как специфические сейсмотектонические фации четвертичных отложений (Белоусов, Чичагов, 1992, 1993а, б). Фация в первичном значении – это облик, разновидность осадочных пород. Это термин широкого понимания, не исключающий введения новых разновидностей, связанных со специфическим генезисом новообразований, в данном случае сейсмотектоническим. К тому же сейсмогенные включения с момента их внедрения в исходный тип четвертичных отложений подвергаются тем же изменениям, что и последние, становясь таким образом их действительными фациями.

Н.А. Флоренсов в 1960 г. впервые ввел термин “палеосейсмодислокации” и “палеосейсмогеологический” метод их распознавания. Он писал: «...“палеосейсмодислокации” обнаруживаются в разрезах молодых осадочных толщ с завершённым слоеобразованием – преимущественно неогеновых и антропогеновых, носящих признаки молассоидных формаций, т.е. признаки коррелятивной связи с бывшими или доселе существующими соседними горными возвышенностями, что имеет место повсюду в межгорных впадинах Средней и Центральной Азии... палеосейсмодислокации могут быть со значительной достоверностью установлены, во всяком случае “заподозрены” по фактам вторжения грубообломочных образований – крупноглыбовых конглобрекчий, гигантобрекчий, фангломератов – в ритмически построенный разрез неогеновых и плейстоценовых отложений. Линзы таких образований, представляющих фации горных подножий и обвалов, нередки в разрезах молодых молассоидов Северной и Центральной Азии... Во всех таких случаях поступление в осадок очень грубого материала происходило, очевидно, внезапно, отмечая катастрофически резкую границу в ходе тектонических движений области размыва... Лучший известный автору пример явлений подобного рода – громадная линза гигантобрекчий в ритмично построенном разрезе нижнемеловых угленосных отложений гусиноозерской свиты в Забайкалье...» (Флоренсов, 1979, с. 208).

Вопросы ранжирования, стадийности, динамики и энергетики этих образованных рассматриваются с позиций классической термодинамики. В ее канонах горные кристаллические породы – типичный пример равновесной термодинамической системы, а тектонические землетрясения – термодинамическая модель типа тепловой машины.

В.И. Шаров (1992) разработал теоретические основы сейсмической деструкции горных пород. Согласно классической термодинамике, кристаллическая горная порода – типичный пример равновесной термодинамической системы, внутренняя энергия которой определяется соотношением $E = F + TS$, где F – свободная энергия, T – температура и S – энтропия системы. Энтропия – функция состояния термодинамической системы. Изменение энтропии в равновесном процессе равно отношению количества теплоты, сообщенного системе или отведенного от нее, к термодинамической температуре системы. Неравновесные процессы в изолированной системе сопровождаются ростом энтропии, они приближают систему к состоянию равновесия, в котором энтропия максимальна. В то же время энтропия, согласно принципу Больцмана, – это мера вероятности пребывания системы в данном состоянии.

Тектоническое землетрясение – весьма сложное эндогенное явление. По предположению В.И. Шарова, в нем отчетливо распознаются две неравнозначные стороны: скрытая внутренняя активная – очаг землетрясения и внешняя – поле упругих колебаний среды, распространяющихся из очага как сейсмического источника. Сущность очаговой стороны выражает процесс разрушения горных пород – необратимый физический процесс. Вторая сторона – производная от первой и представляет собой механическую колебательную систему, являясь обратимым процессом.

Поскольку причина землетрясения и его следствие не эквивалентны, очаг тектонического землетрясения может рассматриваться как термодинамическая модель типа тепловой машины, которая не просто передает или трансформирует механическое движение среды, а сама его производит. Необратимые минеральные превращения определяются изменением энтропийного члена, ответственного за производство энтропии внутри термодинамической системы. И. Пригожин и И. Стенгерс (1966) считают, что в термодинамической системе приращение энтропии допускает разложение в сумму двух членов: $d_e S$, связанного с обменом между системой и внешней средой, и $d_i S$, описывающего производство энтропии вследствие необратимых процессов внутри системы.

В постулатах классической термодинамики часто встречаются термодинамические системы, в которых производство энтропии существенно обгоняет ее энергетические потери, т.е. $d_e S \gg d_i S$. Это сильно неравновесная область нелинейной термодинамики, удивительные свойства которой положены И. Пригожиным в основу нового диалога человека с природой (Пригожин, Стенгерс, 1966; Шаров, 1992). Поведение неравновесных систем специфично, неустойчиво, может приводить к формированию новых динамических состояний – диссипативных структур. В таких состояниях возникающие флуктуации не только не затухают, но усиливаются и, завладевая всей системой, заставляют ее эволюционировать к новому режиму, отличному от режима стандартных слабонеравновесных систем.

Вслед за В.И. Шаровым авторы выделили два основных типа механизма разрушения пород.

1. Если скорость производства энергии $d_e S$ или скорость разрушения связей атомов в кристаллической решетке минералов может быть скомпенсирована упругой отдачей со звуковой скоростью, то в системе устанавливается режим с предельной скоростью разрушения, не превышающей скорости упругих колебаний в среде. Это широко распространенная форма разрушения – трещинообразование, когда в системе не меняется величина энтропии ($d_i S = 0$) и устанавливается слабонеравновесный режим разрушения. Трещинообразование – довольно сложный динамический процесс, приводящий к делимости отложений и горных пород на систему блоков разных порядков и закладывающий основы дифференцированных тектонических движений блоков земной коры.

2. Если скорость производства энергии $d_1 S$ не может быть скомпенсирована процессом упругой отдачи, т.е. $d_1 S > d_2 S$, то развивается новый режим разрушения, протекающий со скоростью, превышающей скорость звуковых упругих волн, но не достигающий скорости ударной волны. При $d_1 S \gg d_2 S$ разрушение завершается формированием детонационного процесса – взрыва, имеющего качественно иную, т.е. химическую, природу. Согласно модели детонации ЗНД (Зельдовича–Неймана–Деринга), ударная волна, распространяясь в среде, мгновенно сжимает и нагревает ее до такой степени, что в ней инициируются химические реакции, при которых в течение нескольких наносекунд высвобождается колоссальная энергия.

Термодинамика разрушения горных пород допускает реализацию четырех стадий процесса.

Первой стадии присущи малые скорости процесса разрушения, при которых система близка к равновесию. Поскольку физическое состояние системы определяется теплопроводностью среды и ее температурой, может происходить переход кристаллической фазы в жидкое и газообразное состояние. Закладывается и под действием процессов выветривания развивается система литологически и тектонически ослабленных зон, намечается блоковая организация субстрата.

На основании полученных нами данных можно заключить, что на развитие зияющих трещин огромное влияние оказывают, с одной стороны, экзогенные процессы, с другой – тектонические явления, способствующие их раскрытию, возникновению новых трещин, микрограбенов и более сложных разрывных структур. Особенно активно процессы протекают в эпицентральных зонах сильных землетрясений в афтершоковый период, подтверждением служит обследованная нами область проявления Рачинского землетрясения на юге Большого Кавказа в 1991 г. При этом развитие трещин в осевых частях поднятий, в их бортах и на уступах происходит далеко не однозначно. Оригинально поведение трещин на земной поверхности и на глубине. Стереотип, согласно которому все трещины с глубиной затухают, сходит на нет, в свете новых данных требует пересмотра. Согласно результатам наших наблюдений, существуют трещины, ширина которых с глубиной увеличивается. По достижении некоторого предела они могут переходить в полости, подверженные интенсивным обрушениям (Белоусов и др., 1993).

Вторая стадия имеет скорость разрушения сопоставимую, но не превышающую скорость звуковых колебаний в среде. Для нее характерен линейный, трещинный тип разрушения. В некоторых областях оформляется система сейсмостектонических трещин, вдоль которых развиваются разнообразные деформации. Наиболее типичным примером второй стадии можно назвать процесс вспарывания в очаге сильного землетрясения. Особенности его проявления и геоморфологическая результативность зависят от многих причин, прежде всего от расчлененности рельефа, литологии горных пород и некоторых других факторов. Для процесса характерны эшелонированность и кулисообразность заложения трещин, образование пар субпараллельных разрывных нарушений, вдоль которых закладываются микрограбены.

Третья стадия проявляется при скорости выше скорости звука. Разрушение приобретает объемный характер и происходит в условиях высокого направленного сжатия деформируемой среды. Характерны горизонтальные деформации – надвиги, взбросы, сдвиги, приводящие к крупным обрушениям, отседаниям скальных пород, обвалам и блоковым оползням. Особенно результативны процессы третьей стадии вдоль тектонических и сейсмостектонических уступов.

Четвертая стадия сопровождается возникновением детонационного процесса – взрыва, развивающегося со скоростью равной (слабая детонация) или большей (сильная детонация) скорости ударной волны. Разрушение на этой стадии, согласно модели детонации ЗНД, происходит в форме мгновенной химической реакции, изменяющей минеральный состав горных пород и качественно преобразующей исходную среду; сопровождается процессами дезинтеграции горных пород. Системы

типа четвертой стадии деформаций – неравновесные, их поведение крайне неустойчиво и, как отмечалось ранее, может приводить к формированию новых деструктивных динамических состояний – диссипативных структур. К деформациям данной стадии можно отнести разрушения коренных пород на глубине. Так, в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения, в пределах хребта Хихата, крупнозернистые песчаники и мергели на глубине были превращены в рыхлые, сыпучие пески, создающие значительную общую неустойчивость всего поднятия, особенно его скальной кровли.

Проявление детонационного процесса может, по-видимому, приводить к образованию замкнутых, нередко достаточно крупных пустот на глубине в результате резкой, скачкообразно протекающей дезинтеграции карстующихся пород, активизации карстовых процессов и в итоге – значительного уменьшения объема горных пород (первоначально из-за необратимых физико-химических преобразований). Пустоты создают реальную опасность возможных обрушений их кровли. В ряде публикаций (Белоусов, Чичагов, 1992, 1993а, б) авторы упоминали, что крупнейшие обрушения в карстовых областях южного склона Большого Кавказа могут иметь такой генезис.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Сейсмотектонические процессы способны существенно видоизменять четвертичные отложения. Наиболее яркое тому подтверждение – особенности строения палеосейсмодислокаций, а также некоторые закономерности сейсмотектонической эволюции областей развития карстующихся пород и формирования карстового рельефа, что было продемонстрировано нам на примере эпицентральной зоны Рачинского землетрясения.

Проявление сейсмотектонических процессов зачастую приводит к внедрению включений чуждого материала в поверхностные горизонты рыхлых отложений, например, в результате сейсмовыбросов крупных глыб известняков в толщу четвертичных суглинков (Белоусов, Чичагов, 1992, 1993а–в).

Эти процессы также ответственны за образование новых фаций четвертичных отложений. Так, в основании одной из палеосейсмодислокаций в осевой части упоминавшегося хребта Хихата нами вскрыт шурфом своеобразный “псевдоэлювий”. Под нормальным крупноглыбовым элювием позднемеловых тонкозернистых песчаников и мергелей на глубине ~2 м залегают *in situ* рыхлые пески, образовавшиеся в результате дезинтеграции указанных коренных пород. Дезинтеграция в обширной зоне палеодислокаций, скорее всего, была сейсмогенной. Она связана с неоднократной (не менее 4–5 раз) проявлявшимися здесь интенсивными вибрационными и наряду с ними, возможно, детонационными процессами. Эти типы деформаций, по-видимому, могут проявляться в парагенетическом единстве.

Важно отметить, что сейсмотектонические процессы могут приводить к формированию новых сейсмогенных генетических типов четвертичных отложений и форм рельефа, не свойственных природной обстановке отдельных регионов. Нами установлено, что по мере сейсмогенного отступления южного уступа плато Хихата у подножия образовалась серия крупных скальных обвалов, которые за определенный период были перекрыты чехлом склоновых и элювиальных отложений. По существу, эти образования представляют собой своеобразные молодые сейсмогенные олистостромы. Одновременно сформировались новые типы и комплексы рельефа: у южного подножия известнякового плато возник рельеф сейсмогенных холмов.

Удалось обнаружить в пределах островных массивов равнинной, асейсмичной, семиаридной Восточной Монголии своеобразные селеподобные грязекаменные и песчаные потоки сейсмотектонического происхождения (Чичагов, 1993).

Применяя основы термодинамики можно полагать, что в процессах разрушения горных пород и рельефа при сильных землетрясениях возникают мощные физико-химические преобразования, порождающие внезапное взрывоподобное выде-

ление огромной энергии в очаге тектонического землетрясения. На фоне этих энергий известными энергетическими вариациями, например, при перемещениях по надвигам, сдвигам и разломам (15:5:1) можно пренебречь.

В противовес механическому принципу упругой отдачи напряжений К. Касахары (1985) авторы отдают предпочтение термодинамическому механизму, согласно которому выделяемая в очаге энергия – результат необратимого преобразования внутренней энергии деформируемой среды твердого тела. Представляется прогрессивным и новое важное предположение: очаг сильного тектонического землетрясения возникает при объемном, а не линейном разрушении среды, когда область разрушения превышает некоторый критический объем.

Применение нового термодинамического аспекта анализа зарождения, развития, реализации и последующей эволюции зон формирования сейсмогенных фаций четвертичных отложений коррелируется с развитием нового направления современной сейсмологии (Страхов, 1989) и позволяет по-новому представить механизм образования сейсмогенного рельефа и слагающих его отложений.

ЛИТЕРАТУРА

Белоусов Т.П., Чичагов В.П. Макросейсмические проявления Рачинского землетрясения 1991 г. в рельефе южного склона Большого Кавказа // Докл. РАН. 1992. Т. 325, № 4. С. 780–786.

Белоусов Т.П., Чичагов В.П. Сейсмодислокации и природа очага Рачинского землетрясения 1991 г. на юге Большого Кавказа // Изв. РАН. Физика Земли. 1993а. № 3. С. 53–63.

Белоусов Т.П., Чичагов В.П. Геоморфологические последствия Рачинского землетрясения 1991 г. на юге Большого Кавказа // Геоморфология. 1993б. № 3. С. 32–49.

Белоусов Т.П., Чичагов В.П. Эколого-геоморфологические последствия сильных землетрясений // Изв. РАН. Сер. геогр. 1993в. № 5. С. 125–142.

Белоусов Т.П., Мухамедиев Ш.А., Чичагов В.П. Деформации разгрузки в эпицентральной зоне Рачинского землетрясения 1991 г. на юге Большого Кавказа // Докл. РАН. 1993. Т. 333, № 6. С. 775–779.

Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.

Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1966. 197 с.

Страхов В.Н. К новой парадигме сейсмологии // Наука и жизнь. 1989. № 12. С. 39–47.

Флоренсов Н.А. Очерки структурной геоморфологии. М.: Наука, 1979. 256 с.

Чичагов В.П. О роли дефляции в формировании рельефа островных гор Восточной Монголии (на примере массива Дархан-Ула) // География и природ. ресурсы. 1993. № 3. С. 102–105.

Шаров В.И. Тектоническое землетрясение как неравновесный термодинамический процесс разрушения горных пород: (К проблеме смены парадигмы сейсмологии) // Изв. РАН. Физика Земли. 1992. № 5. С. 121–127.

ABSTRACT

Seismotectonics can change the composition of Quaternary deposits. Some results are presented which are obtained in geological and geomorphological field studies in the epicentral zones of many strong earthquakes in Asia. Karst-forming processes in the seismic regions, for example, on the Great Caucasus southern slope, are to be recognized as a special variety-seismotectonic karst deposits and seismotectonic karst deposits. Seismic vibration, stirring up and strikes can challenge, for example, formation of sand and debris streams on arid plains of the Central Asia. Seismotectonic facies connected with paleoseismic dislocations.