

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.24

**ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКТОР ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ПОПЕРЕЧНЫХ РАЗЛОМОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

С.Я. СЕРГИН, А.Л. РЕУТОВ, А.Ф. ПРОХОРЕНКО

*Российский государственный гидрометеорологический университет
352800, Россия, г. Туапсе, ул. Морская, 4; e-mail: s.sergin@bk.ru*

Для Северо-Западного Кавказа характерны поперечные глубинные разломы. Их возникновение удаётся объяснить термомеханическими процессами на поздней геосинклинально-орогенной стадии геологического развития района. Эти процессы включают: понижение температуры верхней коры, термическое сжатие горных пород, появление напряжений растяжения и разрывов в земной коре. По расчётам, внутрикоровое раскрытие трещин составляет от 1 до 2 м на 1 км осевой линии орогена. Преобладание в районе землетрясений с очагами на глубинах 5–15 км соответствует термомеханической природе.

Ключевые слова: Северо-Западный Кавказ; альпийский тектогенез; термомеханические дислокации; глубинные разломы; землетрясения.

**THERMO-MECHANICAL FACTOR IN GENESIS
OF THE TRANSVERSE FAULTS ON THE NORTH-WESTERN CAUCASUS**

S.YA. SERGIN, A.L. REUTOV, A.F. PROCHORENKO

*The branch of the Russian State Hydrometeorological University in Tuapse
352800, Russia, Krasnodar region, Tuapse, Morskaya street, 4; e-mail: s.sergin@bk.ru*

The transverse deep faults are inherent for the North-Western Caucasus. Their genesis can be explained by thermo-mechanical processes on the late geosyncline-orogenic stage of the geological evolution of the district. These processes include: the cooling of the upper core, thermal contraction of the rocks, appearance of tensile stresses and ruptures in the Earth's crust. The calculations show that inner-core opening of the cracks is from 1 to 2 meters per 1 kilometer of axis line of the orogene. The dominance of the earthquakes with hypocenters at depths of 5–15 kilometers in the investigated region corresponds to its thermos-mechanical nature.

Key words: North-Western Caucasus; the Alpine tectogenesis; thermo-mechanical dislocations; deep faults; earthquakes.

Северо-Западный Кавказ — это причерноморский горный район Западного сегмента Большого Кавказа. Он протягивается от основания Таманского п-ова до горного массива Фишт-Оштен [2]. Высота района увеличивается по его простиранию в виде нескольких ступеней. Со значительной схематизацией выделяются Новороссийская, Афипская и Лазаревская ступени [1]. Между ними имеются поперечные уступы, связанные с глубинными разломами. В [3, 8] эти уступы называются флексурано-разрывными зонами, а в [5] — поперечными шовными зонами.

Анапский уступ расположен на переходе от Таманской периклинальной зоны новейших опусканий к Новороссийской ступени; Геленджикский — между Новороссийской и Афипской ступенями; Туапсинский — между Афипской и Лазаревской ступенями; Пшехско-Адлерский — на переходе от Лазаревской ступени к Абхазо-Рачинской ступени Западного Кавказа [1]. В [3, 5, 8] выделяется подобный набор флексурано-разрывных зон. Разломы возникли под влиянием растягивающих напряжений и ориентированы главным образом по нормали к оси горной зоны. Они имеют форму макротре-

щин с небольшими субвертикальными смещениями блоков коренных пород. Каждый разлом представляет собой совокупность из нескольких разрывов. Между зонами разломов встречаются и обособленные разрывы.

При объяснении природы тектонических структур Северо-Западного Кавказа преобладают идеи тектоники плит [9]. По мнению Е.А. Рогожина с соавторами [7], складчатые и разрывные деформации Большого Кавказа обусловлены скорее не внешними механическими воздействиями, а внутренними процессами. Эта позиция соответствует концепции В.С. Пономарёва [6] о собственном энергетическом потенциале тектонических систем литосферы. Мы придерживаемся подобных взглядов и предлагаем объяснение генезиса поперечных разломов Северо-Западного Кавказа на основе анализа термомеханических событий в его пределах.

В позднем кайнозое завершился альпийский цикл геосинклинально-орогенного развития Большого Кавказа. В западном его сегменте по геологическим данным имели место и на тот момент прекратились верхнекоровые процессы регионального метаморфизма пород, интрузивного и эффузивного магматизма, складкообразования. Мы полагаем, что в условиях охлаждения верхней коры возникла цепь событий термомеханического характера: понижение температуры горных пород их термическое сжатие (температурная усадка) появление напряжений растяжения и разрывов земной коры. Проведём количественную оценку этих изменений.

По данным У.И. Моисеенко и А.А. Смыслова [4], современная температура горных пород на различных глубинах Западного Кавказа составляет: 20–30 °C (1 км); 100–150 °C (5 км); 200–300 °C (10 км); 500–600 °C (20 км). Это распределение температур соответствует геотермическому градиенту от 20 до 30 К/км. На стадии орогенеза температура верхней коры была выше. В этом отношении будем ориентироваться на современные подвижные пояса. Геотермические градиенты составляют там 30–60 К/км [4]. Они свойственны, например, областям современного орогенеза в Дальневосточном регионе России. Для последующих оценочных расчётов примем, что характерный градиент температуры в верхней коре Западного Кавказа был равен 45 К/км на стадии завершения инверсионной стадии развития геосинклинали и понизился до 25 К/км к настоящему времени. В таком случае на глубине 5 км произошло понижение температуры от 225 до 125 °C (на 100 К), а на глубине 10 км — с 450 до 250 °C (на 200 К).

Охлаждение верхней коры орогена повлекло за собой термическую усадку горных пород. Если выделить кубический объём пород с длиной ребра l , то в случае физической изотропии пород линейная деформация сжатия ϵ составляет (по главным осям):

$$\epsilon = \alpha \Delta T, \quad (1)$$

где α — коэффициент линейной термической деформации горных пород, ΔT — понижение их температуры.

Сжатие пород вдоль вертикальной оси обуславливает некоторое оседание орогена (если нет факторов его воз-

дымания). Сжатие по горизонтальным осям сопровождается появлением в верхней коре напряжений растяжения (σ), поскольку положение окаймляющих горных пород фиксировано. Для случая идеально упругих деформаций величину σ можно определить с помощью формулы Гука, подставляя в неё выражение (1):

$$\sigma = E \epsilon / l = E \alpha \Delta T, \quad (2)$$

где E — модуль Юнга. Характерные значения E для пород верхней коры составляют около 10^{11} Па. Значения коэффициента α заключены в пределах от $5 \cdot 10^{-6}$ до 10^{-5} 1/К [11]. При таких значениях α и E находим, что (модуль растягивающих напряжений) варьирует:

от $5 \cdot 10^7$ до 10^8 Па,
если $\Delta T = -100$ К (на глубине 5 км);
от 10^8 до $2 \cdot 10^8$ Па,
если $\Delta T = -200$ К (на глубине 10 км).

В условиях стандартной температуры (25 °C) у большинства горных пород предел прочности на разрыв (σ_n) находится в диапазоне от $3 \cdot 10^6$ до 10^7 Па [11]. Таким образом, при охлаждении орогена выполняется соотношение $\sigma > \sigma_n$ и возникновение разрывов становится неизбежным. Этот вывод не изменится, если расчёт провести по параметрам, свойственным глубинной зоне верхней коры. В [4] отмечается, что в этой зоне $E = 3 \cdot 10^{11}$ Па и $\alpha = 3 \cdot 10^{-5}$ 1/К. При ΔT , равном -100 и -200 К, значения модуля E составляют $9 \cdot 10^8$ и $1,8 \cdot 10^9$ Па. Предел прочности пород на разрыв находится в диапазоне 10^7 – 10^8 Па [4].

Разрывы снимают напряжения в верхней коре. Наибольшее число разрывов должно возникать по нормали к простиранию горно-складчатой структуры, поскольку протяжённость орогена больше его ширины. Другая (ортогональная) система разрывов должна быть продольной и снимать напряжения по ширине орогена. Однако мы не будем рассматривать появление продольных разломов, поскольку оно связано с дополнительными причинами.

С помощью (1) оценим линейную деформацию верхней коры в осевой зоне Северо-Западного Кавказа. Будем полагать, что $\alpha = 10^{-5}$ 1/К. Величину ΔT примем равной -100 и -200 К (на глубинах 5 и 10 км). При протяжённости региона $l = 200$ км находим, что ϵ составляет -200 м на глубине 5 км и -400 м на глубине 10 км. Эти значения ϵ отражают суммарное внутрикоровое раскрытие поперечных разрывов (на отмеченных глубинах). В расчёте на 1 км осевой линии орогена внутрикоровое раскрытие трещин составляет от 1 до 2 м.

Относительно крупные трещины способны распространяться в сплошной среде, где имеются хотя бы слабо выраженные растягивающие напряжения [6]. В слое 0–5 км верхней коры горные породы подвержены существенной термической усадке. Вследствие этого они рассекаются разрывами снизу-вверх вплоть до земной поверхности. Подобным образом трещины уходят ниже уровня 10 км до глубин, где проявляется охлаждение и усадка пород. Однако вопрос о термической истории глубинных слоёв коры Северо-Западного Кавказа

остаётся дискуссионным. Опираясь на выводы работы [10], мы полагаем, что после накопления геосинклинальной осадочной толщи и её саморазогрева в подстилающей земной коре произошло уменьшение вертикального градиента температуры и ослабление восходящего теплового потока. В то же время радиогенная теплогенерация в нижележащей области литосферы и астеносферы осталась прежней. Как следствие там возникло и ещё сохраняется глубинное повышение температуры. Сопутствующее разуплотнение материала вызвало неотектоническое воздымание орогена, продолжающееся в современную эпоху.

По понятным причинам разломы способствовали вертикальным смещениям земной коры Северо-Западного Кавказа, возникновению разновысотных ступеней и флексуровидных уступов между ними. Разрывы и смещения пород верхней коры должны сопровождаться землетрясениями, преимущественно мелкофокусными. Современное преобладание на Северо-Западном Кавказе землетрясений с очагами на глубинах 5—15 км [8] можно считать фактическим подтверждением их термомеханической природы. Конечно, имеются и другие причины проявления сейсмичности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варшанина Т.П., Плисенко О.А., Солодухин А.А., Коробков В.Н. Структурно подобная геодинамическая модель Краснодарского края и Республики Адыгея. Москва-Майкоп: Издат. Дом «Камертон», 2011. 128 с.
2. Ефремов Ю.В., Панов В.Д., Лурье П.М. и др. Орография, оледенение, климат Большого Кавказа: опыт комплексной характеристики и взаимосвязей. Краснодар: Кубан.гос. ун-т, 2007. 338 с.
3. Маринин А.В., Расцветаев Л.М. Структурные парагенезы Северо-Западного Кавказа // Проблемы тектонофизики. М.: Изд-во. ИФЗ РАН, 2008. С. 191–224.
4. Моисеенко У.И., Смыслов А.А. Температура земных недр. Л.: Недра, 1986. 180 с.
5. Несмеянов С.А. Детальное морфоструктурное районирование и новейшие шовные зоны Большого Кавказа // Проблемы геоморфологии и геологии Кавказа и Предкавказья. Краснодар, Кубан.гос. ун-т, 2001. С. 72–78.
6. Пономарёв В.С. Энергонасыщенность геологической среды // Труды Геологического института РАН. Вып. 582. М., 2008. 379 с.
7. Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю. и др. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015. № 2. С. 26–49.
8. Севостьянов В.В. Уточнение исходной сейсмичности территории городов Туапсе и Новороссийск Краснодарского края. Том 1. М.: ПНИИС, 2000. 272 с.
9. Сергин С.Я., Реутов А.Л. Факторы геологического развития Западного Кавказа: постановка системного анализа // Вестник Краснодарского регионального отделения Русского географического общества. В. 7. Краснодар, 2013. С. 103–107.
10. Сергин С.Я. Системная организация процессов геологического развития Земли. Белгород: Изд-во БелГУ, 2008. 360 с.
11. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород / Сост. М. М. Протоdjяконов, Е. И., Ильницкая, Р. И. Тедер; под ред. Н. В. Мельникова. М.: Недра, 1975. 279 с.

УДК 553.495 + 622.775(574.24)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ КИСЛОТНО-БАКТЕРИАЛЬНОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ СЕМИЗБАЙ

А.К. НАРАВАС

*Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: gazon91@list.ru*

Рассмотрена история открытия и разведки уранового месторождения Семизбай. Определены основные параметры литолого-фильтрационной неоднородности, а также геотехнологические свойства рудовмещающих пород для скважинного подземного выщелачивания урана. Работы по кислотнo-бактериальному подземному выщелачиванию урана дали положительные результаты на двух опытных ячейках. Карбонатные руды не оказали заметного влияния на процесс подземного выщелачивания.

Ключевые слова: подземное выщелачивание урана; коэффициент фильтрации; серная кислота; железобактерии.