

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофаров М. Ю., Болотов И. Н., Кутинов Ю. Г. Ландшафты Беломорско-Кулойского плато: тектоника, подстилающие породы, рельеф и растительный покров. Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 167 с.
2. Зыков Д. С., Колодяжный С. Ю., Балуев А. С. Горизонтальные неотектонические перемещения в районе Беломорья // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Матер. XLI Тектон. совещ., Т. 1. М.: ГЕОС, 2008. С. 340-344.
3. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Разломно-блоковая тектоника и ее роль в эволюции литосферы // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. – Под ред. Ф. Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 68-113.
4. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Геоэкологические аспекты изучения платформенных тектонических структур // Сергеевские чтения. М.: ГЕОС, 2002. С. 543-547.
5. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО «ИПП «Правда Севера», 2004. 283 с.
6. Кутинов Ю. Г., Чистова З. Б. Особенности структуры барического поля в узлах тектонических нарушений // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им. В. В. Федынского. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007 С. 125-132.
7. Чистова З. Б. Выявление геофизических признаков рудного поля, куста и трубки взрыва с целью совершенствования методики поисков коренных источников алмазов на Европейском Севере // Геология и полезные ископаемые севера Европейской части СССР. Архангельск, 1991. С. 161-171.
8. Чистова З. Б., Кутинов Ю. Г. Использование метеопараметров для изучения тектонических узлов // Геофизика XXI столетия: 2005. Сборник трудов Седьмых геофизических чтений им. В. В. Федынского. М.: Научный мир, 2006 С. 430-435.
9. Экология человека в изменяющемся мире // Колл. Авторы. Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 570 с.

НОВЕЙШАЯ РАЗРЫВНАЯ ТЕКТНИКА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ В ФОРМИРОВАНИИ ЛАДОЖСКОГО ГРАБЕНА

Чувардинский В. Г.

Кольский филиал Петрозаводского государственного университета, г. Апатиты, costina@arcticsu.ru

Озерная впадина крупнейшего в Европе Ладожского озера (его площадь 18 тыс. км²) расположена в зоне контакта южного склона Балтийского щита и Русской плиты. Северное Приладожье и северная часть озерной впадины сложены метаморфическими и интрузивными породами архея и протерозоя, а центральная и южная являются областью развития осадочно-вулканогенных среднепротерозойских и рифейских осадочных образований.

На происхождение озерной впадины, а ее глубина в северной части Ладоги достигает 236 м, существует несколько точек зрения. Сторонники первой наиболее известной концепции считают, что впадину Ладоги выпалал ледник. По другой точке зрения эта впадина является возрожденным грабеном и имеет неотектоническое происхождение [1,2,3]. Но при этом не отрицается ледниковое воздействие на коренные породы, которое выразилось в формировании шхерно-фиордового побережья озера, рельефа бараньих лбов, штриховки и полировки кристаллических пород. Концепция ледникового выпалывания котловины Ладоги, других многочисленных озерных котловин в кристаллических породах Балтийского и Канадского щитов получила широкое распространение. Ее активно поддерживают сторонники ледникового учения – географы, палеогеографы, озероведы, многие геологи, популяризаторы науки.

С другой стороны, изучение физики и динамики современных ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии (аналогов гипотетических четвертичных ледников), разбуривание этих мощнейших ледниковых покровов до коренного основания дало новые ценнейшие материалы. Оказалось, что нижние, базальные слои покровных ледников неподвижны и не участвуют в общем движении ледниковых масс. Тем самым они не только не выпалывают ложе, но и консервируют рельеф. Тщательное изучение ледяного керка скважин, насквозь пробуривших ледниковые покровы, показало отсутствие в них моренных включений, если за них не считать тонких прослоев льда, содержащих вулканический пепел и частицы космической пыли [4,5]. Имеются и другие поразительные факты. Под мощными толщами льда в Антарктиде и Гренландии обнаружены древнейшие доледниковые озера [4,5,6]. Наиболее известно из них озеро Восток в районе Полюса недоступности. Озеро выполняет крупный грабен и по площади превышает Онежское озеро, а его глубина по геофизическим данным достигает 700 м [4], а в отдельных точках максимальная зарегистрированная толщина водного озерного слоя даже достигает 1200 м [6], что всего на 400 м уступает Байкалу. Как видим, материковые льды не только не выпалывают горные породы, но и не могут выпалывать или выдавить даже водные массы.

Что касается точки зрения о тектоническом происхождении впадины Ладожского озера, то ее можно при-
нять, но с существенной оговоркой: все типы «экзарационного» рельефа имеют разломно-тектонический генезис

[7,8] Наиболее информативной и доступной для полевого изучения является северо-западная часть грабена – зона сосредоточения тектонического шхерного и фиордового рельефа. Эта часть грабена характеризуется высокой, местами сплошной, обнаженностью коренных пород как на побережье, так и на многочисленных островах в акватории озера.

Осевыми структурами, формирующими северо-западную часть Ладожского грабена, являются сдвиги близ-меридионального и северо-западного простирания и многочисленные субпоперечные надвиги и сбросы. Разрывные нарушения формируют типичный блоково-тектонический рельеф, известный как шхерно-фиордовый. Это крутопадающие разломы, они разрывают архейские, протерозойские и четвертичные образования и выражены в рельефе суши и озерного дна как линейно-ориентированные депрессии – ущелья, фиорды, узкие подводные жолоба. Сместители сдвигов достаточно хорошо документируются в крутостенных бортах фиордов и фиордообразных проливов. Как правило, на их близвертикальной или наклонной скальной поверхности развиты зеркала скольжения и система параллельных борозд и штрихов, ориентированных вдоль сместителей. Для сместителей сдвигов характерны поперечные ступени скола и дугообразные выемки, на поверхности зеркал скольжения наблюдаются примазки тектонита.

Не менее широко развиты надвиги. Повсеместно документируются лежащее крыло этих приповерхностных структур скалывания. Сместители надвигов обычно пологие – до $20-25^\circ$, но их лобовые части имеют крутизну до $60-70^\circ$, т.е. по существу, являются взбросами. На поверхности сместителей развиты зеркала скольжения с весьма выразительными параллельными и субпараллельными бороздами и штрихами, объединяемые в систему борозд и штрихов. Нередко наблюдаются примазки милонита, а поверхность зеркал скольжения, развитых на сланцах ладожской серии, иногда покрыта почти сплошной пленкой милонитизированных пород. Надвиговые структуры Ладожского грабена сопряжены с региональными сдвигами, однако, их главной особенностью является однонаправленное смещение дислоцированных элементов (крыльев, блоков) надвигов с общим сдвиговым смещением. (В отличие от геодинамики ладожского типа в Кандалакшском грабене надвиговые структуры обычно ориентированы под углами $30-45^\circ$ по отношению к осевым сдвигам [7]).

Для структурной геологии и решения ряда важных проблем палеогеографии является вопрос о происхождении и механизме формирования экзарационного рельефа, широко развитого в северо-западной части Ладожского грабена. Исследования автора показали, что неотектонические разломы и «экзарационный» рельеф образует единые парагенезисы и этот рельеф на самом деле имеет не ледниковое, а разломно-тектоническое происхождение [7,8]. Имеются следующие доказательства этому. В крупных обнажениях, представляющих собой группы бараньих лбов, устанавливается непосредственное продолжение полированных, штрихованных скальных поверхностей под блоки коренных пород. Это наблюдается в бортах фиордов и, особенно, в полосе развития шхерного рельефа – везде, где имеются крупные уступообразные площадные обнажения кристаллических пород. Подобное структурное залегание отполированных и штрихованных скальных поверхностей показывает, что мы имеем дело с тектоническими зеркалами скольжения. Механизм их образования известен давно и заключается в следующем: при скольжении блоков вдоль линии разрыва плоскости сместителей притираются, полируются, на породах образуются штрихи, борозды, ориентированные по направлению смещения блоков. Происходящие при этом приразломные срывы пород дают материал для брекчии трения, глыбы и валуны в которой полируются, штрихуются и нередко приобретают уплощенную и утюгообразную форму.

Имеется еще один важный признак тектонического формирования поверхности бараньих лбов и курчавых скал: независимо от состава пород, слагающих «лбы», все породообразующие минералы, линзовидные и жильные включения (в том числе жилы мономинерального кварца), срезаны под один уровень. Ни один экзогенный природный процесс, кроме тектонического срезания – скалывания, не может формировать такие поверхности. Сместители разных типов разрывных дислокаций различаются по морфологии и другим признакам. Наиболее выразительный, эталонный рельеф бараньих лбов и курчавых скал формируется в результате взбросо-надвиговых смещений. Сместители взбросов и надвигов, обычно имеют выпуклую форму, хорошо отполированы и почти всегда покрыты системой параллельных или близпараллельных штрихов и борозд. На их поверхности нередко развиты другие тектоглифы – ступени скола, дугообразные и подковообразные выемки, а также шевроны. В качестве учебного неотектонического полигона в этом плане можно рекомендовать о. Путсаари. Характерной чертой многих надвигов являются структурные волны, которые моделируют поверхность сместителей автохтонного крыла пологих надвигов.

Полировка коренных пород, штрихи и борозды на них присущи также сместителям сдвигов. В сдвиговых структурах малых порядков тектонический генезис полировки, штрихов, борозд, шрамов, шевронов более очевиден, так как эти тектоглифы гораздо чаще, чем в надвигах, прослеживаются вглубь тектонического шва шириной иногда 0,5 м и развиты на обоих бортах сместителей. Ледниковый язык, каким бы он не был узким и длинным, не состоянием проникнуть вглубь такого тектонического шва и нанести стенки разлома борозды и штрихи.

В интрузивных и глубоко метаморфизованных породах морфология и сам способ формирования бараньих лбов и курчавых скал обусловлены блочностью пород. Система трещин-отдельностей образует в таких породах

матрацевидные, пластовые, утюгообразные (клиновидные), яйцеобразные и чушковидные отдельности. Нередко пласты и отдельности имеют чешуйчатое (или черепитчатое) залегание и частично перекрывают друг друга. Обнажаясь от перекрывающих или смежных блоков, породы предстают в облике типичных, бараньих лбов, с отполированной поверхностью. На Ладожском озере крупные бараньи лбы гравитационного происхождения развиты на гранитных куполах островов Хонкосало, Путсаари, на гранодиоритовом массиве мыса Импииями и прилежащих шхерах. Сползание блоков пород с поверхности интрузивных массивов видимо связано с их «ростом».

Парагенетическая сопряженность «экзарционного» рельефа с разрывными дислокациями, особенно ярко проявляется в крупных разломных зонах, характеризующихся развитием систем кулисообразных сдвигов – глубинных и региональных (северо-западная часть Ладожского грабена). В таких структурах в зонах динамического влияния сдвигов формируются многочисленные взбросы, надвиги, сколы, а также сбросы, срывы, вторичные сдвиги. Они-то, в первую очередь надвиги и взбросы, формируют наиболее типичный рельеф бараньих лбов и курчавых скал. Отполированные и изборожденные уплощенные скальные поверхности это ни что иное, как тектонические сместители и зеркала скольжения лежащих блоков разрывных структур, верхний надвинутый фрагмент которых разрушился на глыбовый материал.

Результаты дешифрирования аэрофото- и космофотоматериалов района Северного Приладожья в совокупности с наземными исследованиями определенно доказывают, что и более крупные «экзарционные» типы рельефа имеют разломно-тектоническое происхождение. Фиорды, шхерный рельеф, озерные котловины в коренных породах заложены по системе глубинных и региональных неотектонических разломов – сдвигов, раздвигов, сбросов и надвигов. Что касается якобы ледниковой обработки разломов – наличия в их контуре систем борозд и штрихов, полировки скальных пород, то это индикаторы тектонических дислокаций по разломам, тектонические зеркала скольжения. Все типы экзарционного рельефа – от бараньих лбов и озерных котловин до шхерного рельефа и фиордов образуют единые ансамбли парагенетических структур, которые порождены самим процессом разломообразования. Неучет этих обстоятельств ведет к тупиковым ситуациям в геодинамике и даже к «утере» разломов по простиранию: вместо продолжения ущелевидных разломов взору вдруг предстают уплощенные бараньи лбы и курчавые скалы – «явная работа ледника, срезавшего разлом» – так это трактуется в ряде недавних публикаций. Но достаточно перевести эти «следы ледника» в разряд надвиговых структур, которые в своей массе формируются на окончаниях сдвигов, как геодинамический тупик исчезнет.

Станет понятным и скопление здесь массы глыбового материала за счет распада надвинутых крыльев.

В широкой геолого-географической литературе постулируется, что пологие, отполированные склоны бараньих лбов и курчавых скал обращены в сторону движения ледника и это является важным подтверждением правильности ледниковой теории. Имеются ли закономерности в ориентировки «лбов»? Имеются, но они связаны с механизмом образования структур скалывания в зонах динамического влияния региональных сдвигов. Это сопряженная система, в ней развиты как «лбы», ориентированные согласно с осевыми сдвигами – а в Северном Приладожье – это сдвиги северо-западного простирания, так и «лбы» субсогласные по отношению к ним. И в том и в другом случае пологие, отполированные склоны указывают на вектор тектонического скалывания и смещения блоков пород. При этом в других системах разломов сдвигового типа – северо-восточного и широтного простирания, своя ориентировка «лбов» – соответственно северо-восточная и широтная. Кстати отметим, что в устоявшихся терминах «бараньи лбы» и «курчавые скалы» изначально заложена несущая. Это абсолютно лысые скалы, в них нет никакой бараньей кудрявости и курчавости (кто видел лысых баранов?). К тому же их «лысенкование» и скальпирование произвел не ледник, а тектонические процессы скалывания и дислоцирования. Коль скоро утверждается, что ориентировка «лбов» важное доказательство их ледниковой природы, отметим, что в Северном Приладожье довольно широко развиты бараньи лбы и курчавые скалы, отполированные склоны которых обращены на юг и юго-восток, словно ледник двигался из Новгородской и Вологодской областей. Такие «лбы», например, развиты на южных берегах островов Хонкосало, Путсаари, Маркатсимансаари, Руотсинсари, на мысе Импииниemi. Подобные парадоксы наблюдались Г.С. Бискэ [9] на о. Валаам, на юго-восточных берегах которого бараньи лбы своим пологим, отполированным склоном обращены на юго-восток, а северные и северо-западные берега острова наоборот, представляют собой вертикальные тектонические уступы.

Подводя итог рассмотрению азрывных структур, можно подчеркнуть, что неотектоническая активизация Ладожского грабена выразилась в морфоструктурном оформлении котловины озера, в активизации движений по глубинным разломам, ориентированным вдоль простирания котловины – с северо-запада на юго-восток. Произошло также возрождение поперечных разломов, выраженных в рельефе в виде сбросовых уступов. В позднем кайнозое и, особенно, в четвертичном периоде, имела место фаза наиболее интенсивного разломообразования, которая продолжается и ныне, о чем свидетельствуют маломagnitude землетрясения в северной части грабена. Развитие Ладожского грабена, во всяком случае его северной половины, на неотектоническом этапе происходило в режиме горизонтального тектонического сжатия. На это прежде всего указывает доминирующее развитие сдвигов (и подчиненных им оперяющих надвигов). Новейшие смещения по сдвигам и надвигам привели к образованию тектонических желобов в северной части Ладожского озера. Поперечные тектонические уступы, разделяющие котловину

озера на несколько частей [2], следует относить к разломам сбросового типа. Что касается южной половины Ладожского грабена, то она, скорее всего, являлась областью разгрузки и скупивания тектонически смещенных – из северной половины грабена, обломочных масс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Милановский Е.Е. Рифтогенез и его роль в мезокайнозойской геодинамике // Геотектоника, 1991, №1, С. 3-20.
2. Лукашов А.Д. Морфоструктура Северного Приладожья // Геоморфология и геология четвертичного периода северо-европейской части СССР. Петрозаводск: изд-во Карелия, 1974. С. 50-59.
3. Ладожское озеро (ред Г.С. Бискэ); Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1978, 203 с.
4. Зотиков Н.А., Даксбери Н.С. О генезисе озера Восток // Доклады Академии наук 2000, т. 374, № 6. С. 824-826.
5. Талалай П.Г. Первые итоги бурения самой глубокой скважины во льдах Гренландии // Природа, 2005, № 11, С. 32-39.
6. Масолов В.Н., Лукин В.В., Шереметьев А.Н., Попов С.В. Геофизические исследования подледникового озера Восток в Восточной Антарктиде // Доклады Академии наук. 2001, т. 379, № 5, С. 680-685.
7. Чувардинский В.Г. Неотектоника восточной части Балтийского щита. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 287 с.
8. Чувардинский В.Г. Букварь неотектоники. Новый взгляд на ледниковый период. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. 85с. (2-е издание – 2008).
9. Бискэ Г.С. Четвертичная геология и геоморфология Карелии. Петрозаводск: Изд-во Карельской АССР, 1959, 307 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ НИЗКОЧАСТОТНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА (на примере Архангельской области)

Шахова Е.В.¹, Капустян Н.К.²

ИЭПС УрО РАН, г. Архангельск, shahovaev@yandex.ru
ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта, г. Москва, nkapustian@gmail.com

Сотрудниками Института экологических проблем Севера УрО РАН совместно с учеными Института физики Земли РАН в последние годы разрабатывается экспресс-методика для определения сейсмической активности платформенных территорий, основанная на статистическом анализе эндогенного микросейсмического волнового поля [4, 5]. Как известно, сопоставление результатов, полученных с применением существенно различных методик, увеличивает надежность интерпретации. Именно поэтому для полученных ранее карт (рис. 1) было применено низкочастотное микросейсмическое зондирование – методика выделения неоднородностей в верхней части земной коры, успешно применяемая А.В. Горбатиковым [1]. Эта методика, в отличие от разрабатываемой нами, базируется на просвечивании с использованием поверхностных волн. При обработке анализируется пространственное распределение амплитуд вертикальной компоненты микросейсмического поля в допущении, что амплитуды для частот 0,02-1,0 Гц в основном определяются вкладом фундаментальной моды поверхностных волн Рэлеевского типа. Если в месте исследований вертикальная компонента будет содержать большой процент объемных волн, то последние будут представлять собой помеху. Высшие моды, как и объемные волны, также будут являться помехами в данной методике, т.е. для комплексной интерпретации мы извлекаем из поля микросейсм еще один тип независимой информации. Поверхностные волны Лява для анализа не используются и автоматически отфильтровываются при измерениях ввиду их субповерхностной поляризации. Допущение относительно преобладания в вертикальной компоненте микросейсмического поля волн Рэлеевского типа основывается на большом количестве экспериментальных исследований, выполняемых в мире, и в настоящее время может считаться обоснованным и хорошо известным [1, 6]. Некоторые исследователи выявляют в низкочастотном микросейсмическом поле присутствие высших Рэлеевских гармоник, хотя анализ опубликованных случаев показывает, что первая гармоника выявляется в очень редких случаях даже для сравнительно высоких частот сигналов, а вторая и выше – практически никогда.

В районе нашего исследования (Приморский р-н Архангельской области) многие пункты наблюдений находятся в местах относительной близости от береговой линии, т.е. подвержены морскому приливу. Это обуславливает для микросейсм сравнительно низких частот $f < 0,2-0,3$ Гц следующие известные механизмы генерации – воздействие прибоя, а также передача вариаций давления через водную толщу на дно с последующим распространением на сушу. Кроме того, существенным является передача вариаций атмосферного давления непосредственно в земную кору. Такие микросейсм могут распространяться от источников в виде поверхностных волн на расстоянии в сотни и тысячи километров. Существенно, что нами измерения проводились примерно при одинаковых метеорологических условиях.

Ниже приведен пример применения метода низкочастотного микросейсмического зондирования на исследуемой нами территории. По методике А.В. Горбатикова рекомендуется вести обработку для значений