

ГЕОЛОГИЯ И СТРАТИГРАФИЯ

УДК 551.248+551.433(282.256.341)

**РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИЕ КОЛЛИЗИОННЫЕ СТРУКТУРЫ
В СОВРЕМЕННОМ РЕЛЬЕФЕ ОЛЬХОНСКОГО РЕГИОНА**
(Байкальская рифтовая система)

Т.М. Сквитина, В.С. Федоровский*

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

** Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия*

Ольхонский регион Западного Прибайкалья — составная часть современной Байкальской рифтовой системы. Рельеф этой площади обнаруживает яркие черты унаследованности от раннепалеозойской структурной матрицы, возникшей в результате многоэтапной коллизии. Во многом скульптурные композиции современного рельефа отражают и различия в породном составе фундамента. В целом генеральный стиль рельефа можно определить как тектонический с элементами денудационного при почти полном отсутствии явлений эрозии. Именно это последнее обстоятельство и определило значительные масштабы сохранности тектонических компонентов рельефа, корреляции структуры раннепалеозойского фундамента и кайнозойской структуры.

Сдвиговый тектогенез, ранний палеозой, коллизионная структура, кайнозойский рельеф, Байкальский рифт.

**EARLY PALEOZOIC COLLISIONAL STRUCTURES IN THE MODERN ELEVATION PATTERN
OF THE OL'KHON REGION (Baikal rift system)**

T.M. Skovitina and V.S. Fedorovsky

The Ol'khon area in the western Baikal region belongs to the Baikal rift system. The terrain bears strong imprint of the Early Paleozoic structural framework produced by a multistage collision. The today's elevation pattern records the main features of inhomogeneous basement lithology. The topography of the area is generally governed by the tectonic style, and tectonic landforms remain weakly denuded and almost uneroded. Thus, the Cenozoic geomorphic framework can be correlated to the Early Paleozoic basement structure.

Strike-slip tectonics, Early Paleozoic, collisional structure, Cenozoic elevation pattern, Baikal rift

ВВЕДЕНИЕ

Выяснение коллизионной природы метаморфического комплекса Ольхонского региона Западного Прибайкалья, определение его палеозойского возраста и обнаружение морфологически разнообразных структур, возникших в процессе реализации такой геодинамики [Федоровский и др., 1993, 1995], открыли новые возможности для изучения соотношений современного рельефа этой части Байкальской рифтовой системы и структуры кристаллического фундамента, на котором он развивается. Детальное геологическое картирование (с использованием аэрофотоматериалов м-бов 1:5000, 1:12 000, 1:25 000 и 1:100 000) обеспечивает не только высокую точность нанесения геологических и геоморфологических границ, но и позволяет объективно оценивать степень корреляции древних и молодых структур, корректность сравнительного анализа в целом. Немаловажный аспект — применение в работе космических снимков среднего (15 и 30 м/пиксель), высокого (2.5 и 4 м/пиксель) и сверхвысокого (1 м/пиксель) разрешения, а также цифровых моделей рельефа, составленных по результатам радарных космических 30- и 3-секундной съемок. Степень дешифрируемости всех дистанционных материалов очень велика.

Тектоника фундамента определяется как коллизионный коллаж покровных и сдвиговых пластин. Картируемый в современном срезе структурный каркас территории составляют многочисленные сдвиговые пластины. Вместе с тем сдвиговый тектогенез проявился здесь в раннем палеозое лишь на самых поздних стадиях коллизии. Более ранние деформации (покровные, гнейсово-купольные) были не менее мощными; они отражают последовательные эпизоды столкновений типа дуга—террейн и сопровождались возникновением многоэтапного покровного и купольного структурных парагенезисов. Такие ансамбли

сохранились лишь фрагментарно: они были интенсивно переработаны в связи с экспансией сдвигового тектогенеза, господствовавшего на финальных этапах косо́й коллизии, когда Ольхонский террейн вместе с обдущированными на него островодужными аллохтонами столкнулся с Сибирской континентальной плитой [Розен, Федоровский, 2001]. Скольжение террейна вдоль края Сибирского континента привело к формированию коллизионного шва на границе террейна (микроконтинента) и континента. Здесь возник специфический меланж с обломками и крупными блоками палеозойских гранулитов, погруженных в бластомилонитовый матрикс [Федоровский и др., 1997]. Тотальное проявление сдвигового тектогенеза свойственно и самому террейну. В современном рельефе вскрыт глубинный срез коллизионной системы (неизобарический метаморфизм отвечает глубинам 12—25 км). Большое значение при формировании структурных комбинаций имели контрастные различия в реологии пород и, как следствие, — эффекты роллинга жестких геологических тел, погруженных в пластифицированный метаморфический матрикс, масштабное проявление синметаморфического мраморного меланжа, протрузии которого насыщают тектонизированный разрез. Но самые контрастные компоненты картируемого ансамбля — сдвиговые пластины. Их протяженность составляет 10—50 км при ширине в плане всего 0.5—1 км. Часть сдвиговых пластин образована гранитогнейсовым—мигматитовым комплексом, остальные — пестрым по составу комплексом, включающим гнейсы основного состава, амфиболиты, кварциты, мраморы, тела базитов и гипербазитов (при полном отсутствии гранитогнейсов и мигматитов). Границы пластин всегда представлены швами бластомилонитов. Весьма характерны эффектные складчатые сигмоиды с Z- и S-образными рисунками в плане. Наиболее крупные из них хорошо видны на космических и аэрофотоснимках; они отражены и в конфигурации невысоких хребтов (горстов) и разделяющих их грабенообразных долин в современном рельефе. Раннепалеозойский коллизионный коллаж включает и многочисленные структуры типа пулл-апарт, структуры Риделя, сопровождавшие сдвиговую кинематику. Обнаружены и структуры этапа синорогенического коллапса коллизионной системы, заложение которых началось еще в недрах коллизионной геодинамики — на пике метаморфических преобразований и их ретроградной ветви.

Обращаясь к морфотектонике и геоморфологии региона, нужно, прежде всего, отметить чрезвычайно высокую степень выразительности в современном рельефе раннепалеозойских пород и структур. Это кажется странным — ведь регион располагается в эпицентре кайнозойской континентальной рифтовой системы глобального ранга. Почему на фоне мощного проявления рифтогенеза, создавшего глубочайшую впадину Байкала, рельеф, развивающийся буквально на глазах, не только сохраняет многочисленные свидетельства гораздо более древней геологической истории, но и аккуратно вырабатывает и препарирует структуру фундамента? Поиск причин такой корреляции — цель данной статьи.

ПРИЗНАКИ УНАСЛЕДОВАННОСТИ В СТРУКТУРЕ СОВРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА

Унаследованность новейшей структуры — давно известная черта многих территорий. Нередки подобные сообщения и в геологической литературе по Байкальской рифтовой системе [Николаев и др., 1968; Логачев, Флоренсов, 1977; Соотношение..., 1979; Васильев и др., 1997; Логачев, 2003; и др.], в том числе и по Ольхонскому региону [Плешанов, Чернов, 1971; Соотношение..., 1979; и др.]. Информация в этих работах ограничивается лишь обсуждением сходства в ориентировке структурных планов фундамента и новейшей структуры, что и без глубокого анализа давно очевидно. Однако, что именно унаследовано, когда, почему и в какой степени? Эти и другие вопросы, возникающие в связи с данной темой, не имеют ответов. Причины такой неопределенности понятны: основные аспекты геологии и тектоники региона стали проясняться лишь в последние годы. В настоящее время составлена геологическая карта юго-западной части региона [Федоровский, 2004], подготовлены макеты карт остальной площади региона (о. Ольхон и часть Приморского хребта, примыкающая к проливу Малое Море). Корреляция структуры фундамента и новейшей структуры этой части Байкальского рифта становится реальной задачей.

Первое, что бросается в глаза, — отражение многих компонентов раннепалеозойского коллизионного коллажа и составляющих его пород в современном рельефе. Степень их выразительности неодинакова (таблица).

№ п/п	Структуры и породы раннепалеозойского фундамента, выраженные в современном рельефе региона	Контраст в рельефе*
1	Сдвиговые пластины, образованные гнейсами, мигматитами и гранито-гнейсами	XXXX
2	Сдвиговые пластины, образованные пестрым по составу комплексом пород (гнейсы основного состава, кварциты, мраморы, амфиболиты, мета-габброиды, метагипербазиты и др.)	XXXX
3	Сдвиговые сигмоиды	XXXX
4	Вязкие сдвиги, швы бластомилонитов (границы синметаморфических сдвиговых пластин)	XXXX
5	Коллизионный шов системы террейн—континент	XXXX
6	Жильные граниты всех типов	XXXX
7	Ультрабазиты	XXX
8	Габброиды, габбро-диориты, диориты	XXX
9	Мигматиты и гранитогнейсы	XXX
10	Мраморы и мраморные меланжи	XX
11	Кварциты	XX

* XXXXX — сильный, XXX — средний, XX — слабый контраст.

ПОРОДЫ И СТРУКТУРЫ ФУНДАМЕНТА, ВЫРАЖЕННЫЕ В СОВРЕМЕННОМ РЕЛЬЕФЕ

Гнейсы, мигматиты, гранитогнейсы. В таблице указано, что степень их выразительности — средняя. Это действительно так по сравнению с некоторыми другими компонентами разреза, образующими чрезвычайно контрастные и эффектные формы. И все же во многих местах на гнейсах формируются специфические, присущие только им, морфологические ландшафты. Особенно хорошо это заметно на тех участках, где интенсивно проявлены сдвиговые деформации. Как правило, признаки более ранних покровных и купольных складчатых деформаций здесь утрачены и абсолютно преобладают пакеты линейных изоклинальных складок с острыми замками. На местности это неширокие, но очень протяженные многокилометровые невысокие горные гряды с ребристой поверхностью, образованной бесконечными крутостоящими „пластами“ и аллохтонными пластинами гнейсов и мигматитов. Высота таких ребер около 1 м, они часто чередуются (их тысячи) и непосредственно на местности, а также и на крупномасштабных аэрофотоснимках (м-ба 1:5000, 1:12 000) эти породы безошибочно распознаются (рис. 1, А, Б). Столь же эффектно выглядят такие площади и на космических снимках высокого разрешения: структуры в целом и детали их строения дешифрируются на них с большой точностью. На аэрофотоснимках среднего м-ба (1:25 000) структурные линии участков развития гнейсов и мигматитов выражены несравненно слабее, а на космических снимках среднего разрешения они не видны совсем. Нужно отметить эмпирически установленное правило — в рельефе полосы гнейсов всегда образуют „хребты“ и никогда не встречаются во „впадинах“ (слова „хребты“ и „впадины“ заключены здесь в кавычки, потому что разница абсолютных высот между ними невелика, это всего лишь 50—200 м, но в рельефе и эти „хребты“, и „впадины“ выражены отчетливо и даже получили свои собственные названия. Таковы, например, хр. Томота и Хора-Нюрчан).

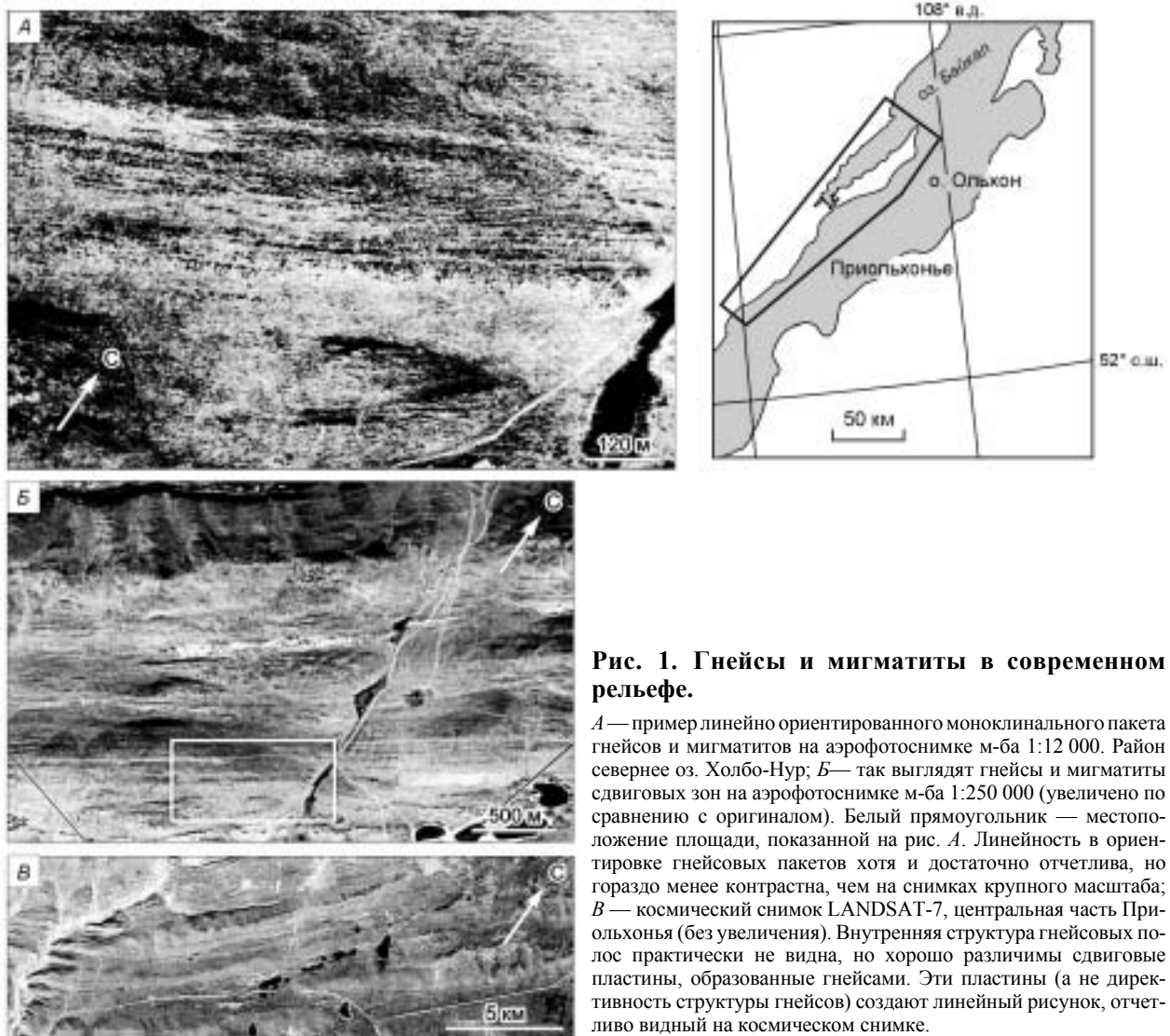


Рис. 1. Гнейсы и мигматиты в современном рельефе.

А — пример линейно ориентированного моноклинального пакета гнейсов и мигматитов на аэрофотоснимке м-ба 1:12 000. Район севернее оз. Холбо-Нур; Б — так выглядят гнейсы и мигматиты сдвиговых зон на аэрофотоснимке м-ба 1:25 000 (увеличено по сравнению с оригиналом). Белый прямоугольник — местоположение площади, показанной на рис. А. Линейность в ориентировке гнейсовых пакетов хотя и достаточно отчетлива, но гораздо менее контрастна, чем на снимках крупного масштаба; В — космический снимок LANDSAT-7, центральная часть Приольхонья (без увеличения). Внутренняя структура гнейсовых полос практически не видна, но хорошо различимы сдвиговые пластины, образованные гнейсами. Эти пластины (а не директивность структуры гнейсов) создают линейный рисунок, отчетливо видный на космическом снимке.

Сдвиговые пластины, образованные гнейсами, мигматитами и гранитогнейсами. Хотя речь идет о тех же породах, которые упоминались выше, образованные ими сдвиговые пластины в структуре раннепалеозойской матрицы — самостоятельный компонент и современного рельефа территории (см. рис. 1, В). Такие пластины обнаруживают некоторую вертикальную амплитуду перемещений (их границы — это сбрососдвиги или взбрососдвиги). Поэтому региональная структура рельефа территории напоминает клавишную систему, а гнейсово-мигматитовые пластины — это один из основных ее элементов. Именно они чередуются с пластинами иного состава: с преобладанием пестрого набора метаморфических пород, метагабброидов и метаультрабазитов. Достаточно очевидно, что последние имеют более высокую плотность, чем мигматиты и гнейсы. По-видимому, именно это свойство обеспечивает разномысотность в рельефе пластин неодинакового состава.

Сдвиговые пластины, образованные пестрым по составу комплексом пород (гнейсы основного состава, кварциты, мраморы и мраморные меланжи, амфиболиты, метагабброиды, метаципербазиты). На большинстве перечисленных пород развиваются присущие только им формы рельефа. Впрочем, их скульптурная выразительность не всегда одинакова, и на отдельных площадях литологический контроль рельефа оказывается недостаточно отчетливым. Но сами сдвиговые пластины, образованные этими породами, всегда хорошо выражены в рельефе. Приоритет тектонических форм — это вообще важная черта геоморфологии региона.

К примеру, многочисленные узкие в плане, но протяженные сдвиговые пластины, составляющие структурный каркас раннепалеозойского фундамента, контрастно выражены и в современном рельефе. Упомянутый выше хр. Томота (см. рис. 1, В) — линейная структура. В плане его ширина меньше 1 км, относительное превышение всего 200 м, но протяженность хребта — 30 км. На геологической карте — это сдвиговая пластина, образованная мигматитами и гранитогнейсами и отделенная швами бластомилонитов от соседних пластин, образованных совсем иными породами, среди которых мигматиты и гранитогнейсы полностью отсутствуют. Другой пример еще выразительнее. „Главная сдвиговая зона“ — так мы называем структуру, которая разделяет пакеты сдвиговых пластин северо-западной и юго-восточной частей территории — на местности представляет собой трогообразную впадину с довольно крутыми бортами и плоским дном. Впадину ограничивают гряды и валы, образованные монотонными мигматитами и гранитогнейсами, а в ее днище нет ни одного обнажения таких пород — здесь доминируют мраморы, мраморные меланжи, кварциты, гипербазиты, амфиболиты. Присутствуют и многочисленные линейные гранитные жилы протяженностью от 1 до 5 км при мощности всего 2—3 м. Главная сдвиговая зона — структура регионального масштаба. Она прослеживается на 100—110 км через всю площадь Приольхонья и далее на северо-восток через о. Ольхон. Ширина в плане этой структуры (по сравнению с ее протяженностью) невелика, всего 500—1000 м, но в рельефе (непосредственно на местности) это четко распознаваемая структура. Она хорошо видна и на космических снимках, без труда опознается на аэрофотоснимках любого масштаба. Таковы же и другие, хотя и не столь протяженные, сдвиговые пластины этого типа в структуре фундамента. Здесь нужно подчеркнуть следующее: скульптурная выразительность в рельефе обоих типов сдвиговых пластин фундамента — это не просто отражение в рельефе состава палеозойских метаморфических пород и особенностей тектоники фундамента. Фактически все сдвиговые пластины коренного ложа оказались вовлеченными в тектонические процессы кайнозоя, в формирование новейшей структуры региона. Масштабная экспансия процессов рифтогенеза и создание современной Байкальской рифтовой системы привели к реанимации раннепалеозойской структурной матрицы, ее вовлечению в новейший тектогенез. Структуры, сформированные в процессе коллизии в глубинных уровнях раннепалеозойской земной коры и оказавшиеся в результате геологических пертурбаций за последние 500 млн лет на дневной поверхности, стали активными компонентами современной рифтовой системы. Именно в этом кардинальная специфика тектоники Ольхонского региона. Так, большинство зон раннепалеозойских сдвигов, картируемых по выходам бластомилонитов, были использованы и при реализации кайнозойских сдвиговых перемещений. Векторы таких перемещений были, однако, противоположными [Федоровский и др., 2001], но сами крупные сдвиговые швы палеозоя оказались унаследованными в кайнозое.

Жильные граниты всех типов. Это один из наиболее контрастных элементов в рельефе Ольхонского региона (см. таблицу). Гранитные жилы практически всегда отпрепарированы на поверхности и в полном соответствии со своими размерами и конфигурацией образуют значительные по протяженности скальные гребни и стенки. Интересно, что даже в тех случаях, когда граниты образуют жилы среди метагабброидов и метадиоритов (а это всегда высокие гипсометрические отметки рельефа), они возвышаются и над ними. Такова, например, картина в поле развития метабазитов массивов Бирхин и Улан-Нур, где многочисленные гранитные жилы представлены в виде скальных стенок протяженностью в сотни метров и первые километры и ориентированы под крутыми углами к линиям контактов массивов. На аэрофотоснимках крупного и среднего масштабов, а также и на космических снимках высокого разрешения (1—4 м/пиксель) они легко идентифицируются (рис. 2—4).

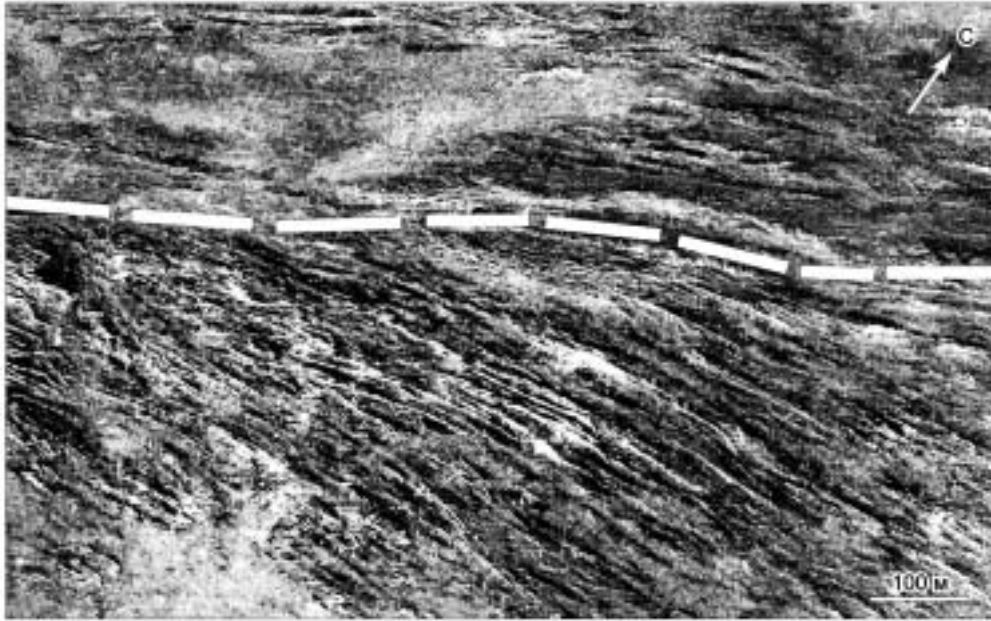


Рис. 2. Многочисленные синметаморфические гранитные жилы, выполняющие трещины Риделя и косо примыкающие к крупной сдвиговой зоне (обозначена белыми штрихами).

Аэрофотоснимок м-ба 1:5000.

Габброиды и гипербазиты. Все известные в регионе массивы такого состава четко выражены в рельефе. По сравнению с вмещающими их метаморфическими породами, базиты и гипербазиты более стойкие по отношению к денудации и эрозии, что во всех случаях обусловило их выражение в виде отдельных вершин или горных массивов. Любой, даже незначительный по размерам, массив габброидов и гипербазитов хорошо дешифрируется на аэрофотоснимках и на космических снимках — и по темной окраске, и по резкому изменению стиля рельефа. Особенно выразительна форма габброидного массива Бирхин. В плане это почти идеальный круг диаметром 12—13 км (рис. 5, А), в разрезе (по геофизическим данным) — плитообразное тело мощностью 2—4.5 км (лополит) [Новоселова, Турутанов, 1982а,б]. В рельефе массив Бирхин с его самыми высокими в регионе гипсометрическими отметками (выше 900 м) выглядит все же, как внешне бесструктурная горная группа. Отсутствие линейной структуризации, выраженной в регионе в целом, является отличительной особенностью массива габброидов Бирхин.

Таков же соседний с Бирхином и тоже очень крупный Крестовский массив, в морфологическом плане они идентичны. Остальные массивы габброидов и гипербазитов по многим параметрам напоминают массив Бирхин в миниатюре. Массивы габброидов (Оргойти, Треугольник, Харикта, Улан-Харгана) выделяются на местности своими господствующими высотами, а на дистанционных изображениях — своей темной, почти черной окраской (см. рис. 5, А и Б).

Нужно отметить интересную, свойственную габброидам массива Бирхин, особенность: на многочисленных плоских поверхностях беспорядочно разбросаны тысячи крупных и огромных по размерам „шаров“ габброидов. Такая необычная форма связана с отпрепарированной в процессе денудации скорлуповатой, шаровидной отдельностью, присущей габброидам массива. На плоских частях водоразделов и пологих склонах скопления таких „шаров“ занимают значительные площади (см. рис. 5, Б).

Другой пример — составной массив метагабброидов Улан-Харгана (см. рис. 6). Как и другие габброидные массивы, он хорошо выражен в рельефе, но отличается от них почти идеальной эллипсоидальной формой каждого из трех сомкнутых массивов, образующих единую структуру. Интересно строение северного массива. По его периметру повсеместно картируется узкая полоса эндоконтактовых пород, которая в рельефе образует скалистый замкнутый гребень. Внутренняя часть массива образована крупно- и гигантокристаллическими амфиболитами (метасоматиты по габброидам) и в рельефе эти породы составляют отчетливо выраженное понижение. В целом структура северного эллипса имеет вид кратера и на аэрофотоснимках, и при наблюдении с соседних вершин. Такую же кратерообразную форму имеют и два остальных полукольца габброидов. Юго-западный массив обладает и резкой внутренней полосчатостью — чередованием меланогаббро и габбродиоритов. Эта полосчатость хорошо дешифрируется на аэрофотоснимках любого масштаба.

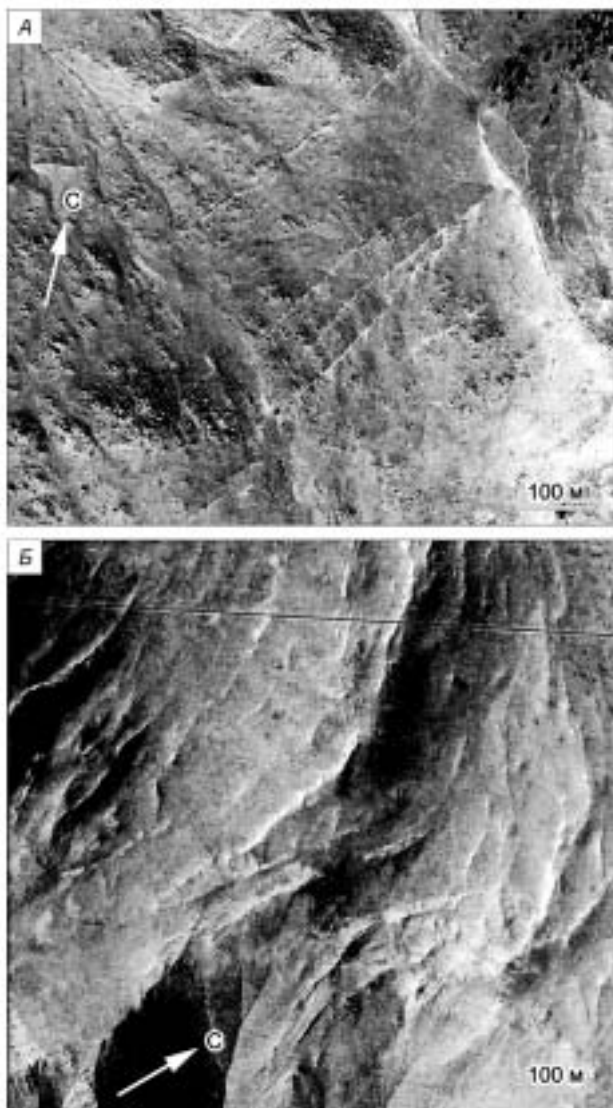


Рис. 3. Жильные граниты в монцогабброидах и монцодиоритах комплекса Бирхин.

Аэрофотоснимок м-ба 1:5000.

А — стенки жильных гранитов в массиве Бирхин. Как правило, жилы гранитов ориентированы перпендикулярно или под острыми углами к контактам массива с вмещающими его породами. Такая позиция жильных тел гранитов связана с роллингом и растрескиванием массива габброидов в процессе сдвиговой деформации; *Б* — скальные стенки жильных гранитов в массиве монцогаббро и монцодиоритов Улан-Нур. Ступенчатая и дугообразная форма жил объясняется их сдвиговым генезисом.

Совершенно по-иному выглядят массивы гипербазитов. Их множество, и везде они уже издали распознаются по характерной ярко-рыжей окраске вершин. Безошибочная идентификация гипербазитов в ольхонских ландшафтах связана еще и с тем, что тела этих пород практически всегда окружены кольцами белых мраморов и мраморных меланжей (рис. 7), в которые в процессе сдвиговой деформации были закатаны массивы гипербазитов.

Несколько особняком в этой группе стоят монцодиориты и монцогабброиды бирхинского комплекса. Эти плотные и устойчивые породы составляют протяженный (около 30 км), но узкий (1—2 км) массив Улан-Нур. Контакты массива повсеместно тектонические, а сам он образует крупную сдвиговую пластину, ограниченную швами бластомилонитов. В рельефе монцодиориты отчетливо выражены в виде хребта, который возвышается над вмещающими породами. Особенностью этого хребта является его изогнутая в плане Z-образная форма, полностью повторяющая конфигурацию сдвиговой сигмоиды. Интересно строение юго-западной части региона, где пластина диоритов входит в почти полное соприкосновение с габброидным массивом того же комплекса. „Почти

полное соприкосновение“ означает, что диориты отделены от габброидов узкой (100—200 м) полосой вмещающих метаморфитов (мраморы, кварциты, амфиболиты). Протяженность этой полосы, огибающей по периметру массив Бирхин, достигает почти 20 км. В рельефе она образует узкую (десятки метров) щель. В отдельных участках метаморфиты почти полностью исчезают из разреза и в таких случаях на их месте (на дне щели) оказываются бластомилониты. Выражение диоритов в рельефе в крайней юго-западной части площади меняется. Хотя они и здесь составляют отчетливо выраженную гряду, но ее абсолютные отметки уступают расположенным рядом высотам рельефа массива Бирхин.

Мраморы и мраморные меланжи. Белая окраска этих пород позволяет всегда безошибочно дешифровать их на аэро- и космоснимках. На мраморах и мраморных меланжах, в связи с присущей им способностью к образованию карста, формируется мелкоячеистый морфологический ландшафт, внешний облик которого разительно отличается от рельефа, развивающегося на любых других породах. Можно выделить два основных типа карбонатных тел (а, соответственно, и форм рельефа, которые на них „возникают“): это либо узкие линейные горизонты, протягивающиеся на километры, либо, когда мраморы и меланжи участвуют в строении выжатых покровов, обширные по площади тела. Для первого типа характерны узкие субвертикальные мраморные стенки (высотой от 50 см до 3 м и протяженностью в десятки метров, иногда в первые километры) или же почти плоские и гладкие поверхности в днищах узких грабенов, напоминающие вымощенные дороги (шириной 20—25 м и длиной в первые километры).

На выжатых покровах мраморов формируются многочисленные отрицательные замкнутые формы рельефа — карры, воронки и котловины, характерные для поверхностного карста.

Кварциты. В отдельных зонах эти породы — довольно распространенный компонент разреза. В рельефе кварциты, как правило, дают небольшие возвышения, а в случае выдержанных горизонтов можно



Рис. 4. Гранит-базитовая композитная минглинг-дайка в районе пролива Ольхонские Ворота и п-ова Крест, полностью отпрепарированная в рельефе в виде скалистой гряды.

Аэрофотоснимок м-ба 1:5000.

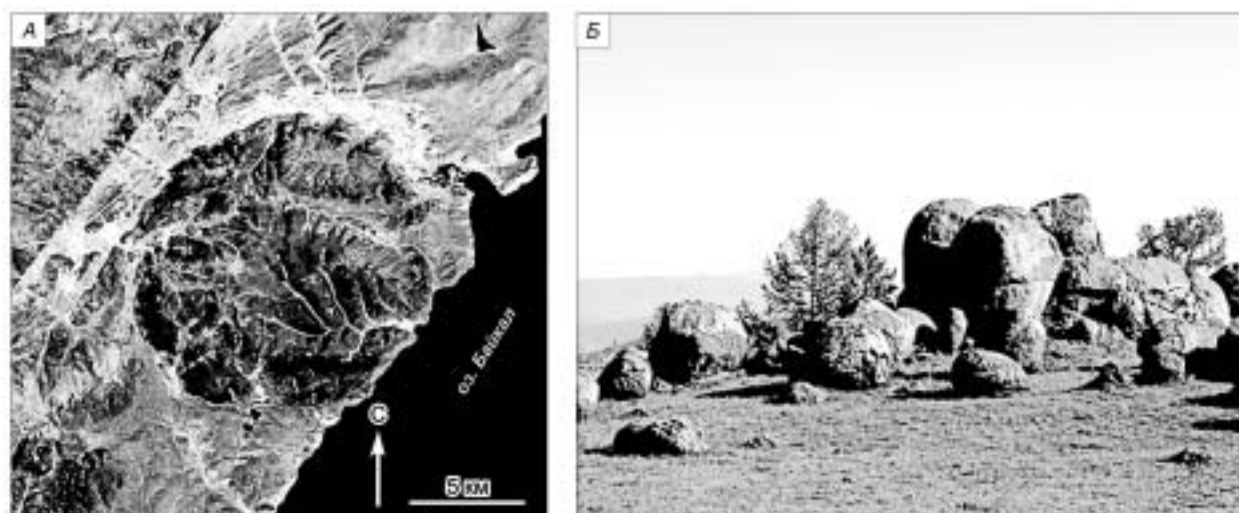


Рис. 5. Космический снимок LANDSAT-7 массива габброидов Бирхин (А) и „шары“ габброидов на плоской водораздельной поверхности в северо-восточной части массива (Б).

видеть и протяженные кварцитовые гряды, как, например, вдоль основной автомобильной трассы Приольхонья, на участке от р. Горхон до оз. Холбо-Нур. Тело кварцитов, локализованное в сдвиговой зоне, образует здесь узкую линейную гряду протяженностью 11 км при ширине в плане 100—200 м. В районе Мраморного плато (обширное поле над Байкалом в местности Нутгей-Харикта), например, кварциты составляют многочисленные хаотически разбросанные скалы и останцы. Какая-либо линейность в их расположении здесь отсутствует. Это и понятно — кварциты участвуют здесь в строении ранних покровов, предшествовавших сдвигам, а также покровных пластин, выжатых из сдвиговых зон. Каковы структуры фундамента — таковы и формы рельефа. В этом нам приходилось убеждаться не раз.

Вязкие сдвиги, швы бластомилонитов (границы синметаморфических сдвиговых пластин). Эти структуры широко распространены в регионе. Фактически все границы сдвиговых пластин в раннепалеозойской тектонической матрице имеют именно такие ограничения. Вместе с тем вязкие сдвиги повсеместно оказались четко выраженными и в структуре рельефа. По ним развивается большое число совре-



Рис. 6. Кольцевой массив метагабброидов Улан-Харгана.

Аэрофотоснимок м-ба 1:5000.

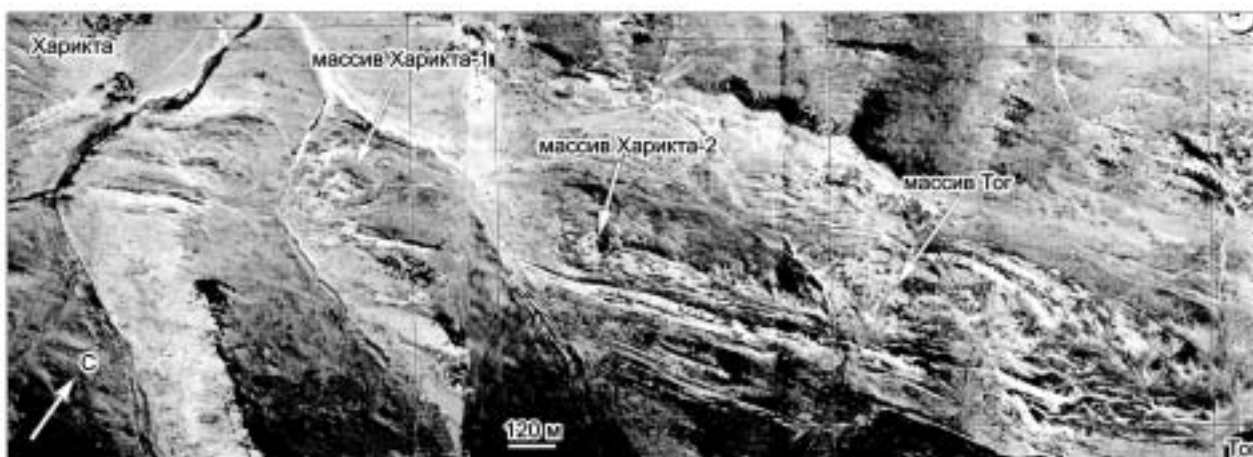


Рис. 7. Гипербазитовые массивы в Главной сдвиговой зоне региона (интервал между географическими пунктами Харикта и Тог).

Аэроснимок м-ба 1:12 000.

менных разломов. Типичная черта таких разломов — значительное участие в строении сдвиговой компоненты (генеральный левый сдвиг). Амплитуды таких молодых сдвигов не поддаются определению, но сам сдвиговой генезис разрывов выясняется достаточно уверенно: с ними связано возникновение поперечных пулл-апарт грабенов, что возможно только в сдвиговой кинематике перемещений. В рельефе собственно сдвиговые зоны хорошо выражены — в виде четких, хотя и невысоких, уступов.

Пулл-апарт структуры. Их множество. Картируются три наиболее крупные кайнозойские пулл-апарт системы: а) Холбо-Нур—Намши-Нур; б) Ольхонские Ворота, в) Анга [Федоровский и др., 2001; Складорова и др., 2002; Федоровский, 2004]. Все они хорошо выражены в рельефе территории и представляют собой грабены с плоским дном и крутыми бортами. Пулл-апарт грабен Холбо-Нур—Намши-Нур имеет протяженность 12 км и ширину 500—1000 м, типично ступенчатое строение структуры в плане может быть результатом их развития в сдвиговом режиме. Здесь многочисленны соленые озера, цепь которых занимает все дно грабена. Система под косым углом ответвляется от Главной сдвиговой зоны Приольхонья. Пулл-апарт система Ольхонские Ворота практически полностью занята водой Байкала — это известный пролив такого же названия, отделяющий о. Ольхон. Пулл-апарт система Анга по своей структуре и морфологии идентична системе Холбо-Нур—Намши-Нур: она тоже имеет ступенчатое

строение, ширину 500—1000 м и большую протяженность (около 15 км). Вместе с тем генеральные ориентировки этих двух систем различны. Они прямо противоположны. Система Холбо-Нур—Намши-Нур имеет меридиональное (с небольшими отклонениями) направление. Система Анга обладает такой ориентировкой только на небольшом участке вблизи Байкала. При удалении от побережья она постепенно изгибается, переходя к субширотной ориентировке, описывая в плане отчетливую дугу. В настоящее время хорошо аргументированного объяснения этой ситуации нет. Возможно, такая ориентировка пулл-апарт системы Анга связана с двумя причинами: а) ее расположением по периметру крупного кольцевого массива габброидов Бирхин (в плане она как бы огибает этот массив) и б) система Анга практически точно дублирует крупную складчатую сигмоиду в структуре фундамента, которая возникла как следствие вращения массива Бирхин в процессе палеозойских сдвиговых деформаций. В любом случае, по-видимому, согласованный характер ориентировки пулл-апарт системы Анга и контура массива Бирхин не случайны. В структуре современного рельефа горная группа, составляющая этот массив, как уже упоминалось, выделяется полным отсутствием линейной структуризации, присущей региону в целом. И в матрице палеозойского фундамента, и в современном рельефе все структуры огибают этот массив почти по кругу. Можно предположить, что вращение массива Бирхин, широко проявленное в сдвиговых ситуациях раннего палеозоя, было вновь реализовано в кайнозое (но с противоположным вектором вращения), и иная ориентировка пулл-апарт системы Анга связана с этим обстоятельством.

Кроме перечисленных крупных структур такого рода, в регионе присутствует множество мелких грабенов, поперечных к ориентировке основных сдвиговых зон. Хотя они и невелики по размерам (ширина днища 0.5—0.8 км, длина 1.5—3 км), но в рельефе выглядят весьма контрастно. Пограничные уступы грабенов крутые, скалистые, их высота достигает 50—100 м. Днища грабенов плоские. Геологический материал не оставляет сомнений в происхождении таких структур по механизму грабенов. Так, в бассейне р. Кучелга, в верховьях рек Тонта и Горхон, в днищах многочисленных и нешироких грабенов повсеместно обнаружены валунники и галечники с экзотическим составом обломочного окатанного материала (кварциты) и точно такие же галечники и валунники образуют мощные покровы на окружающих водоразделах. Нет сомнений, что водораздельные покровы галечников сброшены по разломам и амплитуда таких сбросов равна высоте уступов, ограничивающих грабены (50—100 м). Интересная черта таких небольших грабенов состоит в том, что практически всегда они, имея близкую к перпендикулярной ориентировку по отношению к основным сдвиговым зонам региона, никогда не проникают за такие зоны. Наоборот — главные сдвиговые линеаменты в подавляющем большинстве случаев как бы срезают эти поперечные к ним грабены. Такая конфигурация объективно может свидетельствовать о происхождении грабенов по механизму пулл-апарт. Возможно, мы сталкиваемся здесь с малоизученным явлением, когда сдвиговые пластины в процессе реализации такой кинематики дезинтегрируются на серии поперечных блоков, разделенных разломами и раздвигающихся в соответствии с вектором сдвиговых перемещений. Возраст поперечных разломов и основных сдвигов окажется в этом случае одинаковым. Геометрия подобных соотношений типична для пулл-апарт структур. Возникающие поперечные грабены можно было бы назвать, наверное, „поперечными пулл-апартами“.

Самая примечательная черта кайнозойских пулл-апарт систем региона состоит в том, что они, в отличие от многих других компонентов кайнозойского рельефа региона, никогда не наследуют никаких структур или пород раннепалеозойского фундамента. Можно даже сказать, что молодые пулл-апараты развиваются, совершенно не считаясь со строением фундамента. Это настолько необычно для региона, в котором признаки наследования так велики и многочисленны, что сама эта особенность требует специального и отдельного рассмотрения. Здесь можно лишь подчеркнуть, что, если идентификация перечисленных структур как пулл-апарт грабенов правильна, то их необычная ориентировка может рассматриваться как результат изменения вектора движения сдвиговых пластин кайнозоя (левый сдвиг) на противоположное по сравнению с векторами движений по правосторонним палеозойским сдвигам. Сами линии основных сдвигов при этом остаются одними и теми же. Такая конфигурация палеозойских и кайнозойских сдвигов — часто повторяющаяся черта тектоники Ольхонского региона, безошибочно распознаваемая при сравнении геологической карты и карты неотектоники этой территории.

Сдвиговые сигмоиды. Это типичный компонент структуры фундамента региона, связанный с реализацией раннепалеозойского сдвигового тектогенеза. Разномасштабные складчатые сигмоиды широко распространены на площади региона. Их формирование — результат „закручивания“ ранних складчатых пакетов вокруг вертикальных или крутых шарниров более поздних складок сдвигового генезиса. Складчатые сигмоиды фундамента, вместе с тем, контрастно выражены и в современном рельефе территории (см. таблицу). Крупнейшая в регионе Z-образная сигмоида на левобережье Анги уже упоминалась при характеристике пластины монцодиоритов и монцогабброидов массива Улан-Нур. Углы разворота линейных складчатых пакетов достигают здесь 90°, протяженность зоны разворота равна 7 км. Меньшие по размерам сигмоиды (1—2 км) установлены в районе географического пункта Нутгей (в центре Приольхонья) и в бассейне верховий р. Кучелга (на северо-западе площади).



Рис. 8. Левобережье р. Кучелга.

Аэрофотоснимок м-ба 1:12 000. Сдвиговая складчатая структура бластомилонитов коллизионного шва системы террейн—континент.

В районе Нутгей картируется Z-образная правосдвиговая сигмоида, образованная силикатно-карбонатными гнейсами, амфиболитами, мраморами, мраморными меланжами, кварцитами и ультрабазитами. Центр структуры — бластомилонитовый шов, зона тектонического проскальзывания, по которой происходило непосредственное продвижение сдвиговых пластин. В рельефе зона бластомилонитов выражена узким, но хорошо заметным понижением, которое в плане имеет именно такую, Z-образную, конфигурацию. Длина зоны разворота около 2 км, угол разворота достигает 130—140°. Структура отчетливо видна на аэрофотоснимках любого масштаба и на космических снимках высокого разрешения (1—4 м/пиксель).

В верховьях Кучелги, на ее левом борту, локализована крупная (1 км в поперечнике) и сильно сжатая сдвиговая сигмоида по бластомилонитам коллизионного шва. Кинематика структуры — левый сдвиг. Наклон шарнира около 60°. Угол разворота достигает 180°. Сигмоида, образованная пакетом изоклиналичных складок, хорошо выражена в рельефе. Различные бластомилонитизированные породы, участвующие в ее строении, образуют ложбины и невысокие скалистые гряды, которые изгибаются в полном соответствии с морфологией самой сигмоиды. Особенно эффектно она выглядит на аэрофотоснимках м-ба 1:5000 и 1:12 000 (рис. 8) и на космических снимках высокого и сверхвысокого разрешения.

Коллизионный шов системы террейн—континент — одна из главных региональных геологических структур. В современном рельефе шов повсеместно распознается по грабену, примыкающему к Приморскому разлому. Уступ Приморского разлома (его высота достигает 150—200 м, на северо-востоке региона — 400—500 м) — их общая структура. Противоположный, юго-восточный борт грабена тоже выражен в виде уступа, но высотой всего 50—70 м. Фрагментарно и этот борт грабена выглядит выразительно: на отдельных участках он маркируется в рельефе серией высоких скал или крутых обрывов (например, верховья р. Тонта). Общая протяженность грабена, заложенного на коллизионном шве, равна примерно 150 км — от устья Бугульдейки на юго-западе до бассейна р. Зундук на северо-востоке, где он теряет морфологическую выразительность и практически не опознается в рельефе (рис. 9). Сразу же после обнаружения раннепалеозойского коллизионного шва [Федоровский и др., 1997] стало ясно, что обе его границы (северо-западная и юго-восточная) в современном срезе представлены уступами молодых разломов, связанных с формированием Байкальского рифта. По-видимому, именно это обстоятельство препятствовало изучению самого коллизионного шва: геологи его просто не обнаруживали. Это и понятно, Приморский разлом виден не только на аэрофотоснимках или космических снимках любого масштаба (см. рис. 9), но и непосредственно на местности, а примыкающий к нему грабен, отличается слабой обнаженностью и палеозойские бластомилониты, участвующие в строении его дна, встречаются обычно лишь в небольших ущельях. Детальное картирование показало, что в плане кайнозойский Приморский разлом практически полностью повторил границу раннепалеозойского коллизионного шва в месте его соприкосновения с Сибирским кратоном. Это позволяет заключить, что северо-западная граница Байкальского рифта унаследовала в Ольхонском регионе зону коллизии системы террейн—континент раннепалеозойского возраста. Нужно отметить, что сам коллизионный шов бластомилонитов имеет ширину в плане 500-1000 м и, соответственно, две границы. По северо-западной границе бластомилониты шва соприкасаются с раннедокембрийскими породами Сибирского кратона, по юго-восточной — они граничат с раннепалеозойскими породами Ольхонского террейна. Байкальский рифт при своем заложении всегда использовал только северо-западное ограничение коллизионного шва и никогда —

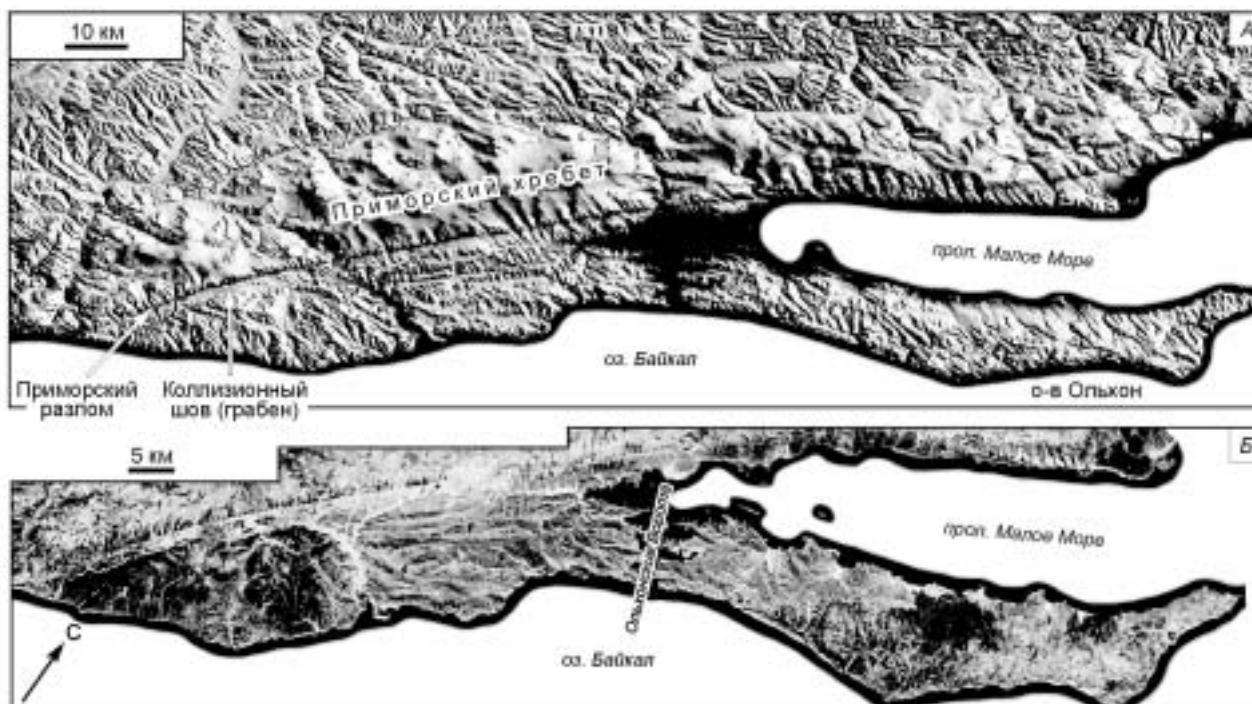


Рис. 9. Цифровая космическая модель рельефа (А) и космический снимок Ольхонского региона (Б).

юго-восточное. Но сам факт заимствования, обновления древней директивной структуры в строении земной коры при заложении кайнозойской рифтовой системы очевиден. Хотя по своему генезису палеозойский коллизионный шов и краевой разлом современной рифтовой системы различны, такое совпадение главных линейментов объяснимо. Реализация коллизии и сдвигового тектогенеза на всех уровнях раннепалеозойской коры завершились здесь масштабной линейризацией всех пород, составляющих коллизионный шов. Можно предположить, что как только в земной коре вновь возникли серьезные напряжения (неважно — какого генезиса и какого возраста), раннепалеозойский след коллизионной линейризации первым отреагировал на такие пертурбации. Эта зона — „лучшее“ место для разгрузки подобных напряжений в коре, для возникновения новых тектонических срывов. Если иметь в виду то, что при формировании Байкальского рифта большое значение имело проявление сдвигового тектогенеза, то совпадение древних и молодых зон такого генезиса (а палеозойский коллизионный шов — это именно сдвиговая структура) вряд ли должно удивлять.

Структура скального побережья Байкала. Прибрежная полоса скал вдоль Байкала — особая зона в структуре рельефа региона. Поверхность Приольхонья воздымается над уровнем озера в среднем на 200—400 м, и лишь в прибрежной зоне активно проявлена эрозия в связи с временными потоками: здесь изобилуют короткие крутые каньоны, гирлянды скал. Энергия рельефа оказывается достаточной для того, чтобы полностью завуалировать результаты работы тектонических и литологических факторов, господствующее проявление которых на всей остальной площади хорошо заметно. Все эти явления здесь полностью подавлены масштабными процессами, связанными со становлением молодых рифтовых разломов. Во многих работах эта зона рассматривается как единый, сложный по конфигурации Морской (Ольхонский или Приольхонский) разлом, ограничивающий с северо-запада Южно-Байкальскую впадину.

Не останавливаясь подробно на этом вопросе, заметим лишь, что Морского разлома как единой структуры здесь нет. Северо-западный борт Южно-Байкальской впадины в Ольхонском регионе — это целая серия разломов, главная черта которых не только значительная амплитуда вертикальных перемещений, но и торцовое сочленение многочисленных протяженных и коротких тектонических уступов, нередко под прямым углом. Соединить все это в один разлом вряд ли возможно, для этого нет объективных данных. Вместе с тем было бы преждевременно предполагать, что одни лишь вертикальные сбросы определяли движения по этим разломам. Структурный рисунок береговой линии позволяет предположить существование здесь комбинации многочисленных сдвигов и сбросов. Те участки скального побережья, которые ориентированы вдоль Байкала, имеют, по-видимому, сбрососдвиговую природу, такой генезис разрывов предполагали и другие исследователи [Мац и др., 2001]. А практически перпендикулярные к ним короткие скальные обрывы связаны, по-видимому, как раз со сбросами. Эти структуры можно

рассматривать как торцовые ограничения сдвиговых пластин. Если принять такую расшифровку, то получим серию сдвиговых пластин, определяющих конфигурацию береговой линии Байкала. Не исключено, что значительная часть береговых разломов имеет листрический характер. На о. Ольхон, например, серии таких разломов составляют структурный рисунок его восточного побережья.

Береговые скалы Байкала — самые молодые элементы в новейшей структуре рельефа территории. На поверхности Приольхонья, за пределами этих скал, сохранились реликты более древнего рельефа иного генезиса и иной морфологии. Прямое свидетельство этого — кора выветривания мел-палеогенового и неогенового возрастов, реликты которой сохранились во многих местах и приурочены к древним поверхностям выравнивания [Мац и др., 2001], а также водораздельные галечники, занимающие большие площади.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Раннепалеозойская матрица и новейшая структура рельефа Ольхонского региона. Приведенный материал показывает, что в Ольхонском регионе кайнозойская структура обнаруживает многочисленные признаки наследования раннепалеозойской матрицы.

В чем причины того, что породы и структуры, возникшие в раннем палеозое, в глубинных условиях коры того времени, будучи экспонированными на поверхность, в одних случаях оказались хорошо отпрепарированными в рельефе, а в других — определяли позицию и ориентировку новейших структур в молодой коре, охваченной рифтогенезом?

Частично эти вопросы обсуждались выше. Так, причину практически полного совпадения сдвиговых зон палеозоя и кайнозоя можно видеть в жесткой директивности структуры коры в локальных зонах палеозойских сдвигов, которые и „сработали“ в кайнозое при наложении новых сдвиговых деформаций. Такое объяснение кажется нам правдоподобным. Менее ясной, на первый взгляд, кажется высокая степень препарирования многих пород палеозоя, а, соответственно, и структур, образованных ими. Экспансия в кайнозое Байкальского рифтогенеза, казалось бы, должна была кардинально переработать древнюю структуру. Установлено, однако, что очень сложная по структуре матрица палеозойской коры не только сильно влияла на формирование новейшей структуры, но во многих случаях и определяла скульптурную характеристику современного рельефа.

Таким образом, корреляция рельефа и геологии коренного ложа — это генеральный стиль геоморфологии и ключевой момент неотектоники региона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 05-05-64016, 06-05-64360), Совета по грантам Президента РФ (МК-2797.2005.5), НШ-7417.2006.5, направления „Электронная Земля“ программы Президиума РАН, интеграционной программы ОНЗ РАН—СО РАН „Центрально-Азиатский подвижный пояс: геодинамика и этапы формирования континентальной коры“, ведомственной целевой программы „Развитие научного потенциала высшей школы (2006—2008 годы)“, проект РНП.2.2.1.1.7334 НОЦ „Байкал“.

ЛИТЕРАТУРА

Васильев Е.П., Беличенко В.Г., Резницкий Л.З. Соотношение древней и кайнозойской структур на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны // Докл. РАН, 1997, т. 353, № 6, с. 789—792.

Логачев Н.А. История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика, 2003, т. 44 (5), с. 391—406.

Логачев Н.А., Флоренсов Н.А. Байкальская система рифтовых долин // Роль рифтогенеза в геологической истории Земли. Новосибирск, Наука, 1977, с. 19—29.

Мац В.Д., Уфимцев Г.Ф., Мандельбаум М.М., Алакшин А.М., Поспеев А.В., Шимараев М.Н., Хлыстов О.М. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины: строение и геологическая история. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2001, 252 с.

Николаев В.В., Солоненко В.П., Хилько С.Д. Эволюция рифтового процесса на северо-востоке Байкальской зоны // Байкальский рифт. М., Наука, 1968, с. 120—130.

Новоселова М.Р., Турутанов Е.Х. Морфология Озерского и Крестовского габброидных массивов Прибайкалья // Советская геология, 1982а, № 5, с. 110—116.

Новоселова М.Р., Турутанов Е.Х. Морфология габброидных массивов и масштабы основного магматизма в Приольхонье // Геология и геофизика, 1982б (6), с. 46—54.

Плешанов С.П., Чернов Ю.А. О генетической связи кайнозойских разрывных нарушений Западного Прибайкалья с разломами докембрийского заложения // Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья, Вып. 8. Чита, 1971, с. 51—55.

Розен О.М., Федоровский В.С. Коллизионные гранитоиды и расслоение земной коры. М., Научный мир, 2001, 188 с.

Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне / Ред. С.Ф. Павлов. Новосибирск, Наука, 1979, 126 с.

Склярова О.А., Скляров Е.В., Федоровский В.С. Структурно-геологический контроль локализации и состава вод озер и родников Приольхонья // Геология и геофизика, 2002, т. 43 (8), с. 732—755.

Федоровский В.С. Геологическая карта юго-западной части Ольхонского региона. М., Геологический музей РАН им. В.И. Вернадского, 2004.

Федоровский В.С., Добржинецкая Л.Ф., Молчанова Т.В., Лихачев А.Б. Новый тип меланжа (Байкал, Ольхонский регион) // Геотектоника, 1993, № 4, с. 30—45.

Федоровский В.С., Владимиров А.Г., Хаин Е.В., Каргаполов С.А., Гибшер А.С., Изох А.Э. Тектоника, метаморфизм и магматизм коллизионных зон каледонид Центральной Азии // Геотектоника, 1995, № 3, с. 3—22.

Федоровский В.С., Лихачев А.Б., Риле Г.В. Зона столкновения типа „террейн—континент“ в Западном Прибайкалье: структура коллизионного шва // Тектоника Азии. М., ГЕОС, 1997, с. 228—232.

Федоровский В.С., Скляров Е.В., Склярова О.А. Соотношения палеозойской и кайнозойской сдвиговых систем в Ольхонском регионе Западного Прибайкалья // Материалы XXXV тектонического совещания „Тектоника и геофизика литосферы“, Т. II. М., ГЕОС, 2001, с. 215—217.

*Рекомендована к печати 30 января 2007 г.
Н.А. Берзиным*

*Поступила в редакцию 10 марта 2006 г.,
после доработки — 15 декабря 2006 г.*