

**МЕЖБЛОКОВЫЕ ЗОНЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПЛЕЧА БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА:
РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ПРОФИЛЮ ПОС. БАЯНДАЙ—М. КРЕСТОВСКИЙ**

**К.Ж. Семинский, Н.О. Кожевников*, А.В. Черемных, Е.В. Поспеева*, А.А. Бобров,
В.В. Оленченко*, М.А. Тугарина**, В.В. Потапов*, Ю.П. Бурзунова**

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

** Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

*** Иркутский государственный технический университет, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия*

Строение земной коры области сочленения Сибирского кратона и Саяно-Байкальского складчатого пояса исследовано вдоль профиля пос. Баяндай—м. Крестовский (85 км) серией геолого-геофизических методов: структурно-геологическая съемка, дешифрирование дистанционных материалов, эманационная съемка, электроразведка методами естественного электрического поля и симметричного профилирования, магнитотеллурические зондирования, магнитная съемка, гидрогеохимическое опробование водопроявлений. В результате интерпретации полученных данных уточнены принципиальные особенности тектонической структуры Западного Прибайкалья, выявлена картина нарушения земной коры и установлено ее иерархическое зонно-блоковое строение. В качестве главной межблоковой зоны изученного региона выделяется Обручевская разломная система, которая представляет северо-западное плечо Байкальского рифта и имеет ширину ≈ 50 км. Она состоит из Морской, Приморской и Прихребтовой межблоковых зон, трассирующихся из глубин в десятки километров и расширяющихся у поверхности за счет появления структур высших уровней иерархии. В ходе исследований установлены закономерности проявления и критерии выделения межблоковых зон в разнотипных геолого-геофизических полях, что позволило предложить эффективный комплекс методов картирования зонно-блоковой структуры земной коры.

Межблоковая зона, разломы, зонно-блоковая структура, Байкальский рифт, электроразведка, магнитотеллурические зондирования, эманационная съемка.

**INTERBLOCK ZONES OF THE NORTHWESTERN BAIKAL RIFT:
RESULTS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES
ALONG THE BAYANDAI VILLAGE—CAPE KRESTOVSKII PROFILE**

**K.Zh. Seminskii, N.O. Kozhevnikov, A.V. Cheremnykh, E.V. Pospeeva, A.A. Bobrov,
V.V. Olenchenko, M.A. Tugarina, V.V. Potapov, and Yu.P. Burzunova**

The structure of the Earth's crust at the junction of the Siberian craton and Sayan–Baikal Fold Belt was studied along the Bayandai Village–Cape Krestovskii profile (85 km long) by a set of geological and geophysical methods: structural survey, interpretation of long-distance photographs, emanation survey, electrical prospecting with self-potential (SP) and direct-current (DC) resistivity profiling, magnetotelluric sounding, magnetic survey, and hydrogeochemical sampling of water objects. Interpretation of the data refined the main features of the tectonic structure of western Cisbaikalia and revealed the disruption pattern and hierarchic zone–block structure of the Earth's crust. The Obruchev fault system (~50 km wide), which is the northwestern shoulder of the Baikal Rift, is the main interblock zone of the studied region. It consists of the Morskoi, Primorskii, and Prikhrebtovyi interblock zones, traced from depths of tens of kilometers and widening near the surface owing to superior structures. The studies gave an insight into the regularities in the occurrence of interblock zones and the criteria for their identification in different geologo-geophysical fields. An efficient complex of methods for mapping the Earth's crust zone–block structure is proposed.

Interblock zone, faults, zone–block structure, Baikal Rift, electrical prospecting, magnetotelluric soundings, emanation survey

ВВЕДЕНИЕ

Из существующих представлений о делимости литосферы наибольшую актуальность в настоящее время приобрели модели, в которых она представлена иерархической структурированной средой, состоящей из сравнительно стабильных блоков, окруженных зонами повышенной нарушенности субстрата [Красный, 1984; Садовский и др., 1987; Курленя и др., 1993; Семинский, 2001; Гольдин, 2002; Jacobi, 2002; Shebalin et al., 2002; Viruete et al., 2002; Гатинский, Рундквист, 2004; Макаров, 2007]. Непосредственным отражением справедливости этих представлений является существование литосферных плит, контактирующих по сети дивергентных, конвергентных и трансформных зон. О существовании аналогичных закономерностей делимости в более крупном масштабе свидетельствуют схемы зонно-блоковой структуры отдельных регионов, построенные в том числе для территории Прибайкалья и смежных регионов [Семинский, 2008]. В тектоническом отношении межблоковые структуры представлены разломами, полосами распространения разноранговых разломов и трещин, зонами повышенной трещиноватости. Такое многообразие структурных проявлений создает трудности при их картировании, с которыми сталкиваются исследователи при оценке межблоковых границ на предмет их сейсмической активности, радоноопасности, перспективности поисков рудных месторождений, подземных вод и углеводородного сырья. Вследствие этого достоверность отображения зонно-блоковой структуры в зависимости от масштаба исследования оказывается неравноценной, а в слабообнаженных и/или малоактивных регионах — практически неудовлетворительной.

В подобных условиях качество картирования может быть улучшено за счет привлечения комплексного геолого-геофизического подхода к выделению межблоковых зон. Цель исследований, результаты которых представлены в настоящей статье, состояла в разработке именно такого подхода, причем в ходе его реализации учитывался опыт предшественников [Schulz, Evan, 2000; Ben-Zion, Sammis, 2003], свидетельствующий об отличиях в проявлениях одной и той же разломной зоны в полях разной природы. Геолого-геофизические работы были выполнены в Западном Прибайкалье. Его территория вследствие высокой степени изученности, в том числе в тектоническом отношении, может рассматриваться в качестве эталона при разработке комплекса геолого-геофизических методов для картирования межблоковых зон. Работы концентрировались на региональном профиле пос. Баяндай—м. Крестовский (рис. 1), ориентированном вкрест простирающихся тектонических структур зоны сочленения древнего Сибирского кратона и Саяно-Байкальского складчатого пояса. Кайнозойская активизация этой тектонической границы привела к возникновению Байкальского рифта, северо-западное плечо которого пересечено профилем. Это позволило изучить характер взаимоотношений зон и блоков земной коры, отличающихся высокой тектонической активностью на современном этапе тектогенеза.

Характер нарушенности земной коры территории, окружающей оз. Байкал, в наиболее общем виде отражает схема (см. рис. 1, *Б*). Она была составлена на основе анализа распределения спрямленных элементов рельефа (линеаментов), отчетливо выделяющихся на его трехмерной модели (см. рис. 1, *А*). Эти элементы, как правило, группируются в линейно вытянутые зоны, между которыми располагаются блоки, характеризующиеся существенно меньшей концентрацией разноориентированных и непротяженных линеаментов. Таким образом, несмотря на то, что линеаменты лишь в определенной степени представляют активные в новейшее время разломы, рассматриваемая схема в целом отражает зонно-блоковое строение земной коры региона. Более того, по иерархии структурных элементов она закономерно согласуется с аналогичными крупно- и мелкомасштабными картами, составленными ранее, с одной стороны, для территории Западного Прибайкалья, а с другой, — для Байкальской рифтовой зоны и Центральной Азии в целом [Семинский, 2008].

В рамках иерархического анализа большинство межблоковых зон (см. рис. 1) относятся ко 2-му порядку, так как межблоковой структурой 1-го порядка на данной территории является Байкальский рифт, активно развивающийся вследствие взаимодействия Сибирского и Забайкальского блоков литосферы. Его границы, показанные на рисунке по данным предшественников [Карта..., 1979], отчетливо соотносятся с выделенной по распределению линеаментов зонно-блоковой структурой Прибайкалья, хотя такое соответствие имеет место лишь в первом приближении. Последнее, в частности, выражается в некотором несовпадении границ рифта и составляющих его зон 2-го порядка, что в определенной степени обусловлено неоднозначностью выделения отдельных элементов зонно-блоковой делимости, схема которой в данном случае была составлена на основе только одного признака — пространственного распределения линеаментов рельефа.

Данный пример иллюстрирует актуальность предпринятого комплексного исследования, главные задачи которого заключались в следующем: изучить на примере профиля пос. Баяндай—м. Крестовский специфику проявления межблоковых зон в геолого-геофизических полях различной природы; осуществить ранжирование межблоковых зон, составляющих зонно-блоковую структуру земной коры Западного Прибайкалья, а также установить положение их границ, типы подвижек, особенности внутреннего строения и др.; оценить возможности различных методов изучения межблоковых зон и на этой основе пред-

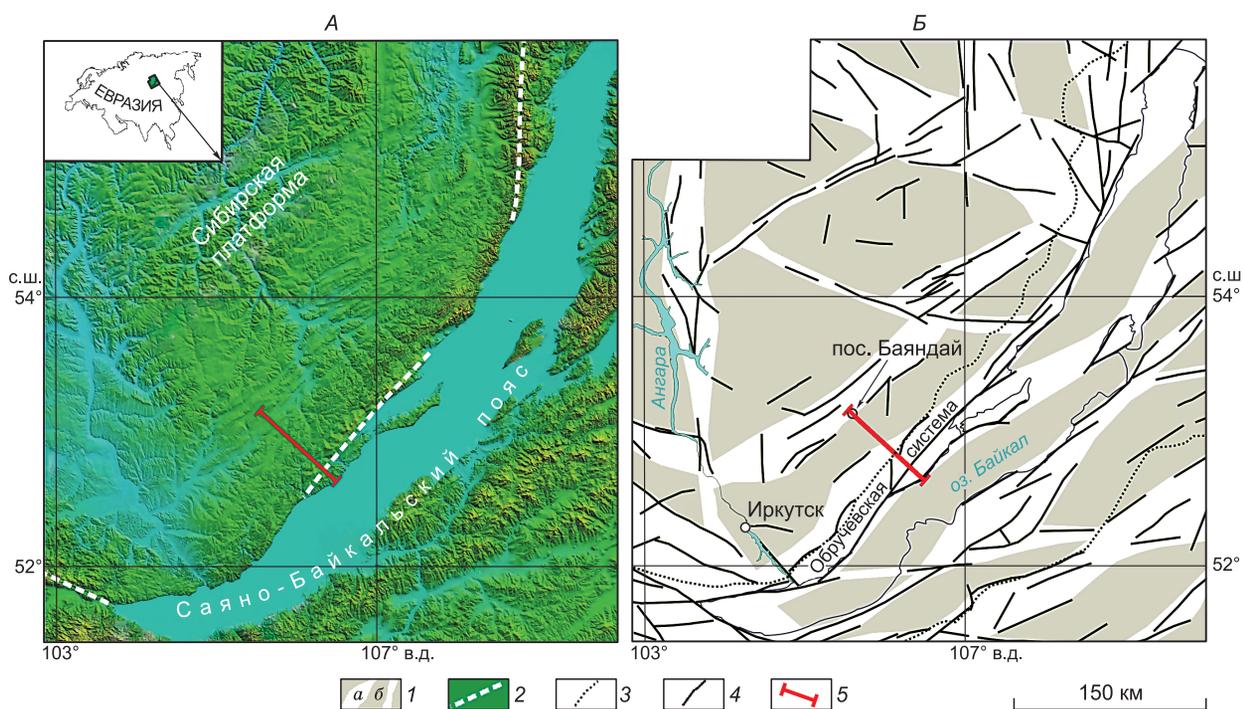


Рис. 1. Трехмерная модель рельефа (А) и построенная на ее основе схема зонно-блоковой структуры земной коры Прибайкалья (Б).

1 — участки, занимаемые подвижными зонами (а) и блоками (б); 2 — краевой шов Сибирской платформы; 3 — границы Байкальского рифта, по [Карта..., 1979]; 4 — разломы, выраженные в рельефе уступами и спрямленными элементами речных долин; 5 — профиль пос. Баяндай—м. Крестовский.

ложить эффективный комплекс геолого-геофизических методов для исследования зонно-блоковой структуры земной коры.

Для решения поставленных задач в Западном Прибайкалье изучались разломы структурно-геологическими методами, а также были проведены морфотектонический анализ рельефа на основе полевых геоморфологических наблюдений и дешифрирования дистанционных материалов, магнитная съемка, электроразведка методами естественного электрического поля (ЕП) и симметричного электрического профилирования (СП), магнитотеллурические зондирования (МТЗ), гидрогеохимическое опробование водопроявлений и эманионная съемка (рис. 2). Методический комплекс направлен на оценку степени нарушенности земной коры разрывами, составляющими основу внутренней структуры зон активного взаимодействия блоков. Его эффективность определяется сочетанием прямых приемов картирования разломов с косвенными, основанными на повышенной проницаемости разломных зон для магмы и флюидов. Важную дополнительную информацию о строении хорошо изученной территории Западного Прибайкалья удалось получить за счет постановки новых для этого региона видов исследований (радон-тороновая съемка), проведения работ с более высокой детальностью (электро- и магниторазведка), а также применения новейшего оборудования (МТЗ). Достоинством использованного методического комплекса также является высокая производительность, что позволило быстро сформировать банк данных, характеризующих распределение геолого-геофизических полей по профилю пос. Баяндай—м. Крестовский.

МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее полно и детально геофизическими методами изучена юго-восточная часть профиля протяженностью 25 км. Магнитная съемка, а также измерения методами ЕП и СП выполнены здесь с шагом 50 м, радоновая и тороновая съемки — 250 м. Измерения естественного электрического поля на остальной части профиля также выполнены с шагом 50 м, тогда как радоновая и тороновая съемки — с шагом 2500 м. Расстояние между пунктами МТЗ по профилю в среднем составляло 5000 м. Полученные в ходе производства работ первичные данные показаны на рис. 3 в виде графиков наблюдаемых геофизических полей. Для сглаживания исходных измерений, позволяющего сравнивать вариации разнотипных параметров, использовалось осреднение в пределах скользящего окна с получением значений для интерва-

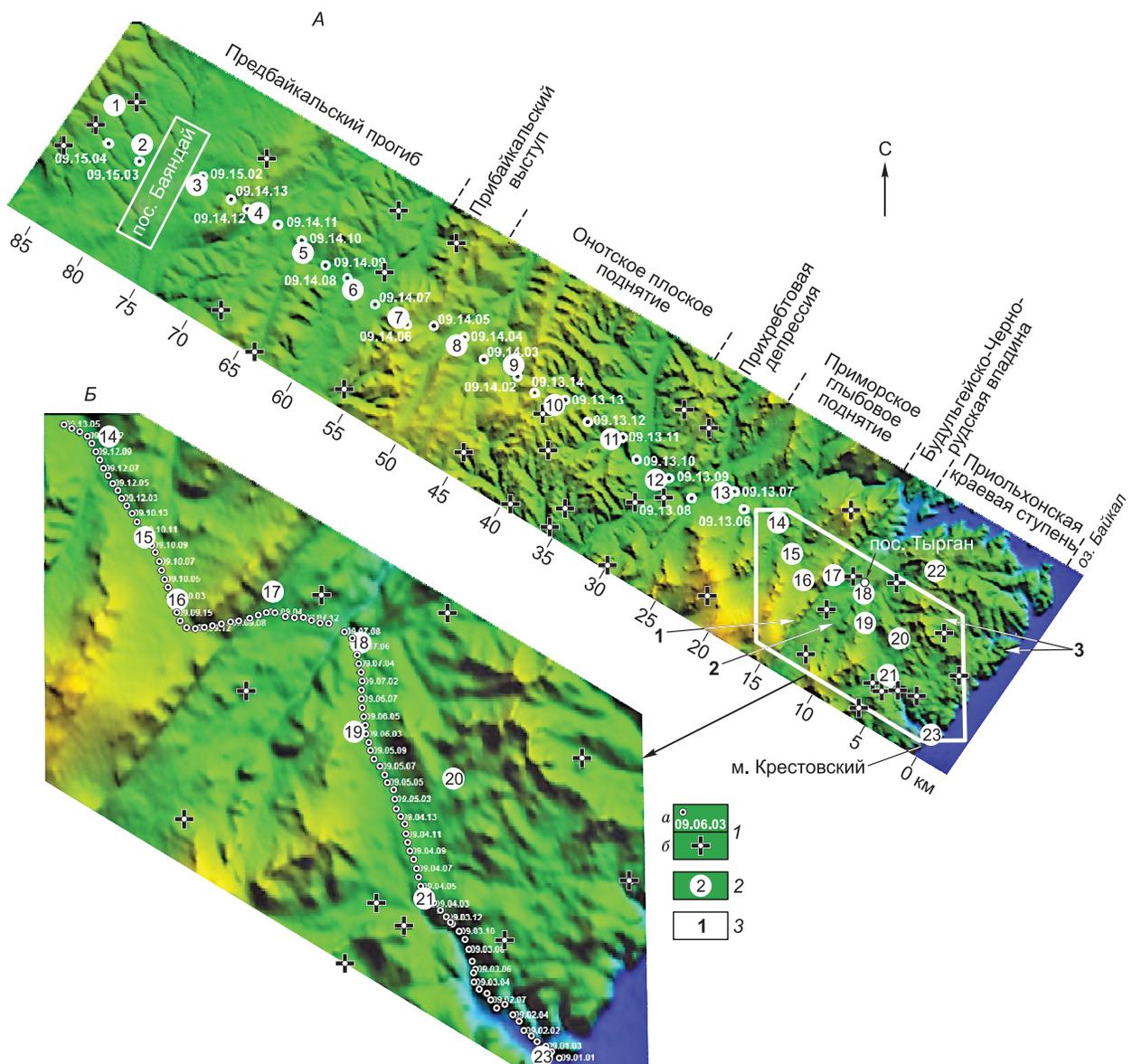


Рис. 2. Обзорные схемы, представляющие положение профиля геолого-геофизических исследований пос. Баяндай—м. Крестовский (А) и его детально изученной части (Б) на трехмерной модели рельефа Прибайкалья.

1 — расположение пунктов радон-тороновой съемки (первая цифра — год проведения измерения, вторая — номер маршрута, третья — номер точки измерения) (а) и опробованных родников (б); 2 — положение пунктов магнитотеллурического зондирования (МТЗ); 3 — дизъюнктивные структуры, описанные в тексте (1 — зона Приморского сброса, 2 — зона противосброса, 3 — зона поперечного северо-западного разлома). Пункты наиболее детальных геофизических измерений (шаг — 50 м) располагались между точками МТЗ-14 и МТЗ-23 (симметричное электропрофилирование, магниторазведка), а также точками МТЗ-6 и МТЗ-23 (съемка методом естественного электрического поля).

лов 2500 и 250 м (рис. 4). Попытка выполнить прямую корреляцию геолого-геофизических параметров (см. рис. 4) не привела к выявлению устойчивых зависимостей между ними. В связи с этим основным способом анализа было сопоставление характера изменчивости разнотипных полей вдоль профиля, для чего по опыту предыдущих геолого-геофизических работ [Семинский и др., 2008б; Семинский, Бобров, 2009] использовалось отклонение значения поля от среднего по выборке.

Структурно-геологические исследования

Главные закономерности геологического строения рассматриваемой территории отражены на разрезе, построенном на основе государственной геологической карты м-ба 1:200 000 и авторского факти-

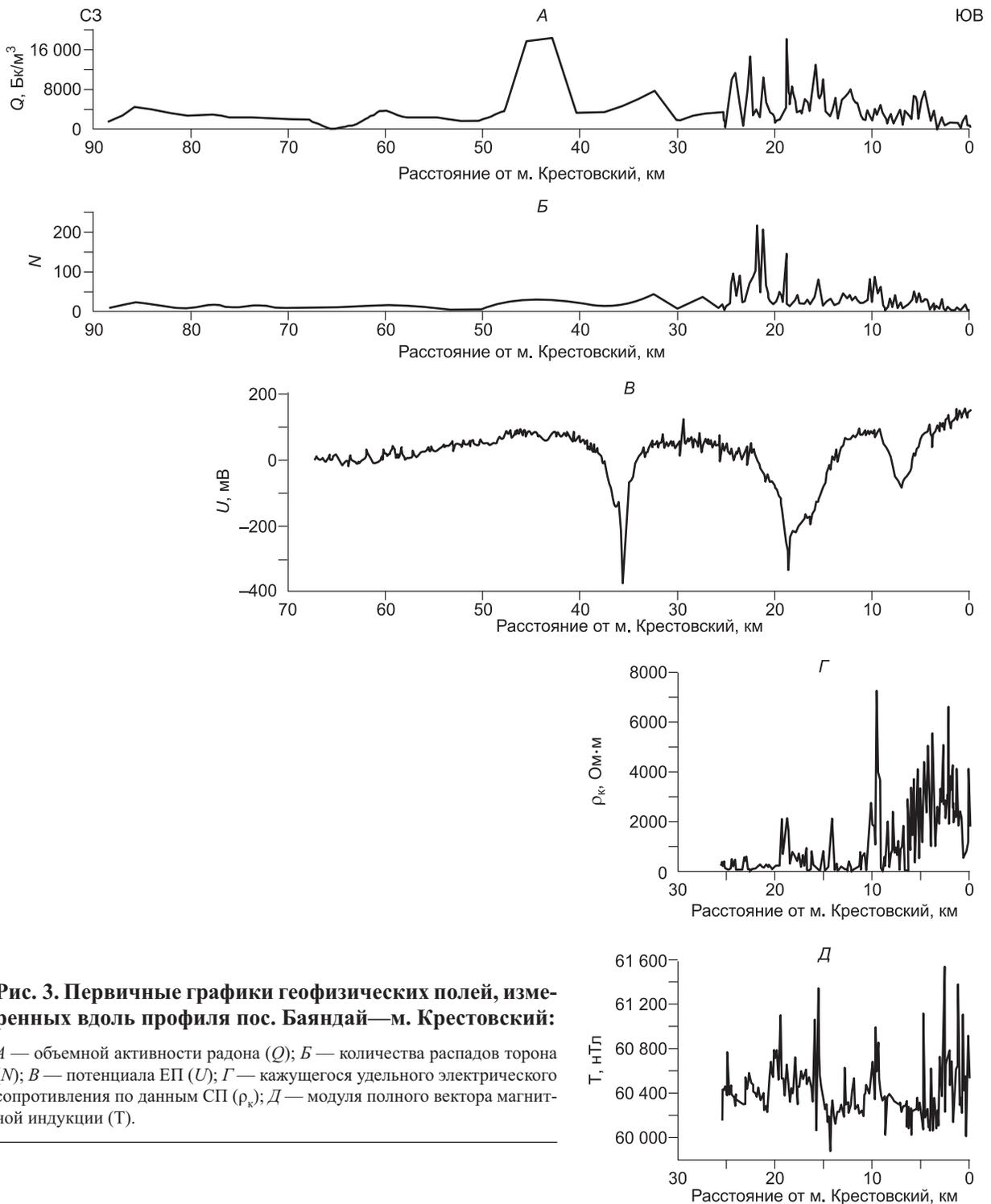


Рис. 3. Первичные графики геофизических полей, измеренных вдоль профиля пос. Баяндай—м. Крестовский:

A — объемной активности радона (Q); *B* — количества распадов торона (N); *B* — потенциала ЕП (U); *Г* — кажущегося удельного электрического сопротивления по данным СП (ρ_k); *Д* — модуля полного вектора магнитной индукции (T).

ческого материала по разломам, активным на неотектоническом этапе развития территории (рис. 5, *Б*). На северо-западе разрез включает разнотипные комплексы Сибирского кратона, которые относительно спокойно залегают на периферии профиля и интенсивно дислоцированы в районе р. Бугульдейка (Прибайкальский краевой прогиб). В юго-восточной приольхонской части обнажаются полихронные метаморфические комплексы краевых поднятий Саяно-Байкальского пояса. Контакт двух крупных тектонических единиц Центрально-Азиатского региона происходит по системе разломов краевого платформенного шва (Приморский сегмент), состоящего из широкой полосы бластомилонитов и разнотипных интрузивных проявлений, включая гранитоиды приморского комплекса [Замараев, 1967; Наумов, 1974; Замараев и др., 1979; Structural..., 2005].

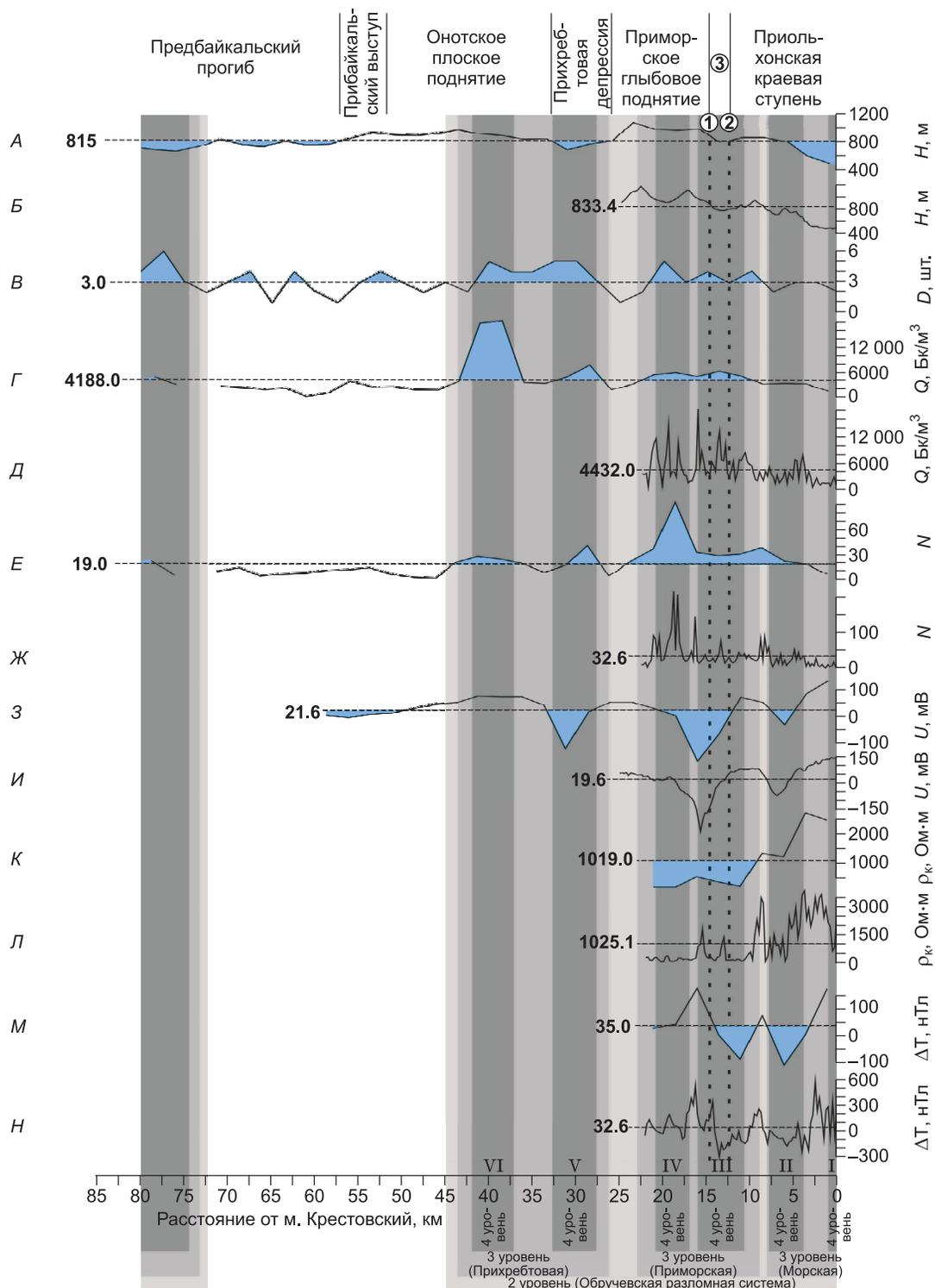


Рис. 4. Изменения вдоль профиля пос. Баяндай—м. Крестовский высоты рельефа (H), плотности линейментов (D), объемной активности радона (Q), количества распадов торона (N), потенциала ЕП (U), кажущегося удельного электрического сопротивления (ρ_k) и приращения модуля полного вектора магнитной индукции (ΔT).

Расстояние между соседними точками на графиках составляет 2500 м (A, B, G, E, Z, K, M) и 250 м (B, D, Z, I, L, H). Голубым цветом на графиках A, B, G, E, Z, K и M выделены области аномальных значений, т.е. величин, отклоняющихся в большую или меньшую сторону от среднего арифметического (штриховая линия). В верхней части рисунка (цифры в кружках) показаны морфоструктуры и разломы, пересеченные профилем: 1 — Приморский сброс, 2 — противосброс, 3 — Бугульдейско-Чернорудский грабен. Внизу показано положение межблоковых зон трех иерархических уровней; границы зон, отмеченные вертикальными полосами с разными оттенками серого цвета, определены по результатам комплексного анализа данных.

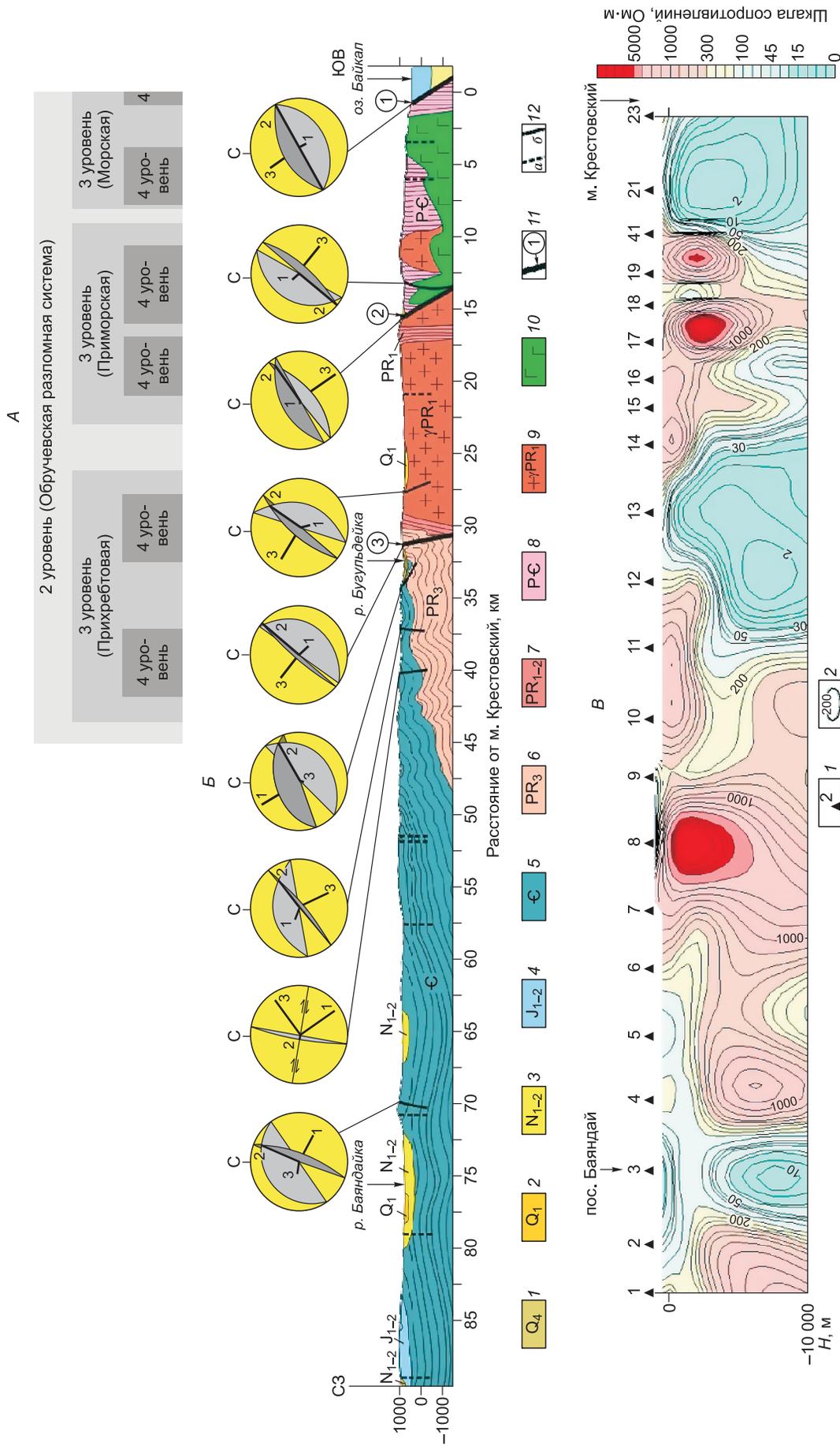


Рис. 5. Отражение разноранговых межблоковых зон Западного Прибайкалья (А) на геологическом (Б) и геоэлектрическом (В) разрезах, построенных по профилю пос. Баяндай—м. Крестовский.

Б — 1 — аллювиальные отложения (голоцен): илы, галечники, пески, суглинки, торфяники; 2 — аллювиально-озерные отложения (верхний плиоцен—эоплейстоцен): пески, галечники, гравий; 3 — аллювиально-озерные отложения (миоцен—нижний плиоцен): ил, глины, галечники, ракушняк; 4 — нижне- и среднеюрские платформенные отложения.

менные отложения: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, пласты угля; 5 — кембрийские отложения осадочного чехла Сибирской платформы: песчаники, доломиты, известняки, мергели, гравелиты, алевролиты, глинистые и углесто-глинистые сланцы, известняки; 6 — породы неопроterозоя: кварциты, гравелиты, филлиты, метаморфизованные кварцевые порфиры, углесто-глинистые сланцы, известняки; 7 — палео- и мезопротерозойские породы: кварц-мусковитовые, двуслоидные, мусковитово-гранатовые, хлорит-серпичитовые и другие сланцы, метаморфизованные гравелиты, кварциты, порфириды; 8 — интенсивно метаморфизованные породы Приольхонья: биотитовые, роговообманковые и другие гнейсы, сланцы, амфиболиты, кристаллические известняки, кварциты; 9, 10 — интрузивные массивы: 9 — граниты; 10 — габро, габбро-диориты, кварцевые диориты, диоритовые порфиры; 11 — крупные сбросы: 1 — Морской, 2 — Приморский, 3 — Прихребтовый; 12 — разрывные нарушения, установленные геоморфологическими (а) и подтвержденные геологическими (б) методами. На диаграммах, построенных в проекции верхней полусферы, показаны плоскости сместителя разлома (темно-серый) и сопряженная с ней система разрывов 2-го порядка (светло-серый), а также положение осей главных нормальных напряжений: 1 — сжатия, 2 — промежуточная, 3 — растяжения; В — I — пункты магнитотеллурических зондирований; 2 — изолинии значений удельного электрического сопротивления (Ом·м).

Краевые структуры были неоднократно активизированы, однако характер деструктивного процесса со всей определенностью диагностируется лишь для этапов раннепалеозойской коллизии [Александров, 1990; Шерман и др., 1994; Федоровский, 1997; Structural..., 2005] и кайнозойского рифтообразования [Ламакин, 1968; Шерман, 1977; Замараев и др., 1979; Шерман и др., 1992; Леви и др., 1997; Ружич, 1997; Delvaux et al., 1997; Мац и др., 2001; Логачев, 2003]. Это связано с их относительной молодостью и выраженностью в деформациях «хрупкого типа»: открытых трещинах и разломных сместителях, представленных «рыхлыми тектонитами». В обоих случаях крупные северо-восточные разломы наклонены в сторону складчатого пояса, однако, если для кайнозоя преобладают крутые сбросы, то дислокации палеозоя представлены надвигами (например, район пересечения профилем долины р. Бугульдейка). Главные сбросы северо-западного плеча Байкальского рифта группируются в Обручевскую разломную систему, состоящую в пределах профиля из крупнейших Приморской и Морской ветвей. Первая наследует юго-восточную границу краевых платформенных структур, а вторая образует байкальский подводный склон Приольхонья и о. Ольхон (см. рис. 5, Б).

В ходе структурных геологических исследований в пределах профиля пос. Баяндай—м. Крестовский выделены активные в новейшее время разломы и в отдельных точках проведена реконструкция поля напряжений (см. рис. 5, Б). При отсутствии прямых признаков смещений по разломам массовые замеры трещин в их крыльях (всего 44 точки наблюдений) обрабатывались новыми [Семинский и др., 2005; Семинский, Бурзунова, 2007] и широко известными [Расцветаев, 1987] методами парагенетического анализа в комплексе с кинематическими приемами восстановления палеонапряжений [Парфенов, 1984]. На профиле выделяется несколько интервалов (0—6, 13—15, 27—40, 52—58, 70—78 км), в пределах которых верхняя часть земной коры интенсивно нарушена разломами, имеющими субвертикальное падение или наклон в сторону оз. Байкал.

На каждом из трех юго-восточных участков существует крупный сброс (Морской — 0 км, Приморский — 15 км, Прихребтовый — 31 км) в совокупности с опережающими его структурами. Так, детальные исследования Бугульдейско-Чернорудского грабена (см. рис. 5, Б, интервал 13—15 км) подтвердили, что он состоит из серии вытянутых в северо-восточном направлении блоков, ограниченных разломами с разными амплитудами сбросовых перемещений [Плешанов, Ромазина, 1981; Мац и др., 2001]. Грабен шириной около 2.5 км на северо-западе ограничен Приморским разломом, а на юго-востоке — противосбросом. Согласно известным структурным моделям [Paleoseismology, 1996], можно предположить, что разломы сочленяются на небольшой глубине. Зафиксированное на линии профиля падение второго разлома в северных румбах (см. рис. 5, Б) свидетельствует о близповерхностном осложнении сместителя, в целом наклоненного на юго-восток, что подтверждено замерами элементов залегания отдельных сегментов разлома в Приольхонье [Плешанов, Ромазина, 1981; Мац и др., 2001; Семинский и др., 2005]. Вероятная причина такого осложнения состоит в том, что в пределах участка работ к рассматриваемому тектоническому нарушению приключается северо-западный разлом, проявленный в структурных признаках и трассирующийся по спрямленным элементам рельефа вплоть до берега оз. Байкал (см. рис. 2, А).

Сбросы, заркартированные в кайнозойских осадках и кристаллических породах третьего участка (см. рис. 5, Б, интервал 27—40), характеризуются зонами влияния в первые десятки метров, что свидетельствует об интенсивном рифтовом растяжении. В то же время здесь по сопряженным системам сдвигов реконструированы, хотя и с меньшей достоверностью, обстановки сжатия в северо-западном направлении. Возможно, разрывные сети, сформированные ранее при сжатии [Александров, 1990; Разломообразование..., 1994], в рифтовую эпоху были активизированы для реализации аналогичным образом ориентированного растяжения. Собственно надвиговые перемещения не проявлены в слабосцементированных отложениях междуречья Бугульдейка—Анга и, вероятнее всего, в пределах рассматриваемого участка профиля имели место лишь в докайнозойское время.

В отличие от рассмотренных участков юго-восточной части профиля, на его северо-западном фланге преобладают небольшие разломы взбросового типа. Следовательно, граница Байкальского рифта располагается в районе отметки 40 км профиля, что, хотя и отличается примерно на 10 км, по большому счету подтверждает взгляды тех исследователей [Карта..., 1979; Перевозников, 1999; Мац и др., 2001], которые проводят эту границу по северо-восточным отрезкам долин рек Анга, Бугульдейка и Куртун. Этот вывод в совокупности с подтверждением известных закономерностей строения зоны сочленения Сибирского кратона и Саяно-Байкальского пояса, а также уточнением типов подвижек по крупным разломам региона, является важным результатом геолого-структурных исследований (в том числе для интерпретации геофизических данных).

Морфотектонические исследования

Как известно [Карта..., 1979; Уфимцев, 1992; Перевозников, 1999; Мац и др., 2001], Предбайкальский прогиб и Байкальское поднятие характеризуются наличием в Западном Прибайкалье ряда более мелких морфоструктур, отчетливо выраженных в рельефе профиля пос. Баяндай—м. Крестовский. Как правило, к ним относят собственно Предбайкальский прогиб, Прибайкальский краевой выступ (флексура), Онотское плоское поднятие, Прихребтовую депрессию, Приморское глыбовое поднятие, Бугульдейско-Чернорудскую впадину и Приольхонскую краевую ступень (см. рис. 4, А). Существование этих структур обусловлено перемещениями блоков земной коры по зонам крупных кайнозойских разломов, положение которых может быть установлено по распределению спрямленных элементов рельефа (линеаментов).

Линеamentный анализ осуществлялся на основе формализованной методики морфоструктурного районирования [Ранцман, 1979] с применением топокарт (м-б 1:25 000, 1:100 000, 1:500 000) и цифровой модели, созданной с помощью ГИС-технологий на основе космоснимков типа SRTM (разрешение до 90 м). Использование топографического и объемного (см. рис. 2) изображений рельефа способствовало эффективному выделению прямолинейных или слабоизогнутых уступов, спрямленных отрезков долин и некоторых видов линейно-эрозионных форм, в большинстве случаев отражающих положение активных тектонических нарушений.

По составленной для участка исследований схеме линеamentов была построена карта распределения их плотности (D) в изолиниях (рис. 6). При этом значения параметра D вычислялись для узлов квадратной сети путем подсчета количества спрямленных элементов рельефа в пределах квадратной ячейки палетки, площадь которой (s) была определена статистическим способом по формуле $s = 2S/n$ (где S — площадь участка исследований, а n — общее количество линеamentов в его пределах) и составила 9 км². Как видно из рис. 6, а также графика, составленного для профиля пос. Баяндай—м. Крестовский (см. рис. 4, В), параметр D на изучаемом участке варьирует от 1 до 7 и характеризуется крайне неравномерным распределением по площади. Интенсивно нарушенные участки вытянуты в северо-восточном направлении и отделены друг от друга областями, в которых плотность линеamentов меньше средней арифметической. В юго-восточной части профиля располагаются два наиболее крупных участка шириной по 14 км. Центральный из трех частных максимумов крайнего участка (отметка 15 км) приурочен к Приморскому сбросу и Бугульдейско-Чернорудскому грабену, тогда как юго-восточный максимум (отметка 10 км) маркирует зону северо-западного разлома, описанного в предыдущем разделе. Второй крупный участок включает два максимума плотности линеamentов, больший из них (отметка 32 км) приурочен к Прихребтовой депрессии. На северо-западной половине профиля также выделяется серия пиков, однако по сравнению с максимумами юго-восточного фланга им свойственны сравнительно меньшие размеры (≈ 4 км) и плотности линеamentов. Лишь участок, приуроченный к оси Предбайкальского прогиба, отличается достаточно высокой плотностью (6 линеamentов) и шириной (7 км).

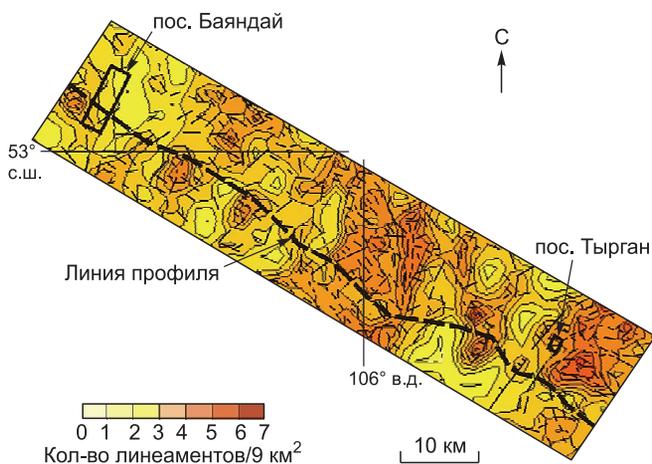


Рис. 6. Карта плотности линеamentов рельефа (черные линии) в изолиниях для окрестностей профиля пос. Баяндай—м. Крестовский [Когут, 2007].

Различным цветом показаны участки с разной плотностью линеamentов (D).

Сопоставление гипсометрического профиля (см. рис. 4, *A*) и графика вариаций параметра D (см. рис. 4, *B*) показывает, что впадинам и пониженным формам рельефа соответствуют зоны наибольшей нарушенности горного массива, а его пикам — места с меньшей плотностью линеаментов. Эта же закономерность проявляется при анализе более детального графика высот рельефа (см. рис. 4, *B*). Таким образом, на гипсометрически пониженных и наиболее нарушенных разрывами участках профиль пересекает подвижные зоны, по которым контактируют сравнительно стабильные блоки земной коры. Межблоковые зоны имеют в основном северо-восточную ориентировку и относятся к разным масштабным рангам. Наиболее крупные из них располагаются на юго-восточном фланге профиля и отличаются неоднородным внутренним строением.

Эманационная съемка

Преимуществом радон-тороновой съемки является возможность выявления в пределах слабообнаженных участков местности активных разломов, открытых для миграции газов. Ранее данный вид исследований успешно применялся в изучаемом регионе [Семинский и др., 2008а,б; Семинский, Бобров, 2009]. В ходе этих работ было показано, что типичная эманационная аномалия характеризуется неравномерным повышением концентрации газа от периферии к оси разломной зоны, на фоне которого наблюдаются локальные максимумы и минимумы, маркирующие положение отдельных сместителей с проницаемыми (разломная брекчия) или непроницаемыми (глинка трения) тектонитами. Радон-тороновая съемка была проведена на профиле (см. рис. 2, *B*; 124 пункта измерений) по отработанной ранее методике [Семинский, Бобров, 2009], позволяющей измерять для каждой пробы подпочвенного воздуха объемную активность радона-222 (Q , Бк/м³) и количество распадов торона в рабочей камере радиометра (N).

Значения параметров Q и N изменяются на участке исследований в пределах соответственно 174—18325 Бк/м³ и 1—215, причем их вариации вдоль профиля в целом подобны (см. рис. 3). Аномалии рассматриваемых параметров, за исключением приуроченной к интервалу 75—80 км, располагаются в юго-восточной части профиля (см. рис. 4, *Г, E*). Они подобны по форме и размеру: аномалия на 40-м км профиля имеет ширину 7 км, на 29-м км — 5 км, на 16-м км — около 14 км. В отличие от формы аномалий, их интенсивности в полях радона и торона существенно различаются, так как в связи с отличием периодов полураспада радона (3.8 сут) и торона (54.5 с) их эманации характеризуют проницаемость горного массива на разных интервалах глубин. По радону лучше других выделяется участок, приуроченный к Прихребтовой депрессии, тогда как в поле торона наибольшая интенсивность отмечается в пределах юго-восточной аномалии. Интересно, что максимальные величины Q и N отмечаются северозападнее Бугульдейско-Чернорудского грабена, который отчетливо выражен в геолого-геоморфологических признаках. Причина этого явления устанавливается при анализе результатов детальной эманационной съемки (см. рис. 3, *A, B*; 4, *Д, Ж*): Приморскому разлому и противосбросу, ограничивающим грабен, соответствуют минимумы Q и N , так как согласно установленной ранее закономерности [Семинский, Бобров, 2009], приосевые части разломных зон Приольхонья часто представлены породами, слабопроницаемыми для газов.

В целом распределения газовых эманаций по профилю пос. Баяндай—м. Крестовский согласуются с характером нарушенности горных пород разрывами, установленным в ходе геолого-структурных и морфотектонических исследований. В наиболее дислоцированной юго-восточной части профиля двум наиболее широким аномалиям плотности линеаментов соответствуют четыре попарно сближенных участка высоких значений Q и N , причем положение локальных минимумов в пределах этих участков совпадает с положением отдельных крупных сместителей.

Гидрогеологические исследования

Гидрогеохимическое опробование проводилось по стандартной методике и охватило 18 водопунктов, располагающихся в непосредственной близости от профиля. Полный химический анализ проб воды осуществлялся в гидрогеохимической лаборатории ИЗК СО РАН.

Результаты гидрогеологических работ показали, что для Приморского хребта и его юго-западных отрогов типично значительное количество атмосферных осадков (до 400—500 мм/год), являющихся постоянным источником питания трещинно-грунтовых вод. Исследованные водопрооявления представлены заболоченностями, смешанное питание которых отразилось в повышенной минерализации (0.7—1.0 г/дм³), преимущественно в гидрокарбонатном кальциевом составе воды, нейтральных значениях pH при содержаниях кремнекислоты и растворенного кислорода — 18—40 мг/дм³ и 3.3—11 мг/дм³ соответственно.

Равнинная территория Приольхонья, прилегающая к Приморскому хребту с юго-востока, отличается аридным климатом с продолжительным периодом безоблачных дней, малым количеством осадков (\approx 160 мм/год) и частыми разнонаправленными ветрами, не способствующими накоплению снегового

покрова. Опробованные водопроявления представлены родниками и заболоченностями, которые характеризуются минерализацией воды 0.3—0.55 г/дм³ (на юго-востоке 1.0 г/дм³), гидрокарбонатным или сульфатно-гидрокарбонатным в основном кальциевым или кальциево-магниевым составом, рН = 8—9, содержанием кремнекислоты 40—60 мг/дм³ и кислорода 5.3—10 мг/дм³.

Таким образом, вариации локальных ландшафтно-климатических условий вдоль профиля нашли отражение в условиях питания подземных вод и в их неравномерном площадном распределении. При этом из рис. 2 (где кроме родников, опробованных нами в пределах детального участка исследований, показано положение водопроявлений аналогичного типа, согласно данным государственной гидрогеологической съемки м-ба 1:200 000) отчетливо видна преимущественная приуроченность естественных выходов подземных вод к пониженным формам рельефа, а также краевым частям смежных приподнятых блоков, располагающихся по отношению к впадинам на северо-западе.

Отмеченная закономерность в совокупности с учетом минерализации подземных вод при обработке данных электроразведки являлась необходимой дополнительной информацией для комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов, представленной в заключительном разделе статьи. В дальнейшем предполагается проведение углубленного анализа состава опробованных водопроявлений с целью установления гидрогеохимических особенностей и условий водообмена, свойственных различным межблоковым зонам северо-западного плеча Байкальского рифта.

Съемка методом естественного электрического поля

Съемка методом ЕП выполнена способом потенциала с использованием неполяризующихся электродов [Семенов, 1980]. Разность потенциалов между опорным и подвижным электродами измерялась с помощью цифрового милливольтметра с входным сопротивлением 10 Ом · м. При измерении разности потенциалов в диапазоне от нуля до ± 200 мВ дискретность отсчета оставляла 0.1 мВ, за пределами этого диапазона — 1 мВ.

На интервалах профиля 4.4—9, 14—22 и 34—38 км отмечаются отрицательные аномалии потенциала амплитудой около 150, 350 и 400 мВ соответственно (см. рис. 3). По форме и амплитуде эти аномалии аналогичны измеренным ранее в Приольхонье [Кожевников, 1998; Kozhevnikov, Tezkan, 1998; Кожевников и др., 2004] и, скорее всего, приурочены к древним крутопадающим разломным зонам с графитовой минерализацией, образующей непрерывные, электрически связанные системы с электронным механизмом проводимости. Такие электронно-проводящие системы в совокупности с вмещающими их ионно-проводящими породами образуют так называемые геобатарей [Bigalke, Grabner, 1997]. Однако аномалии ЕП на профиле пос. Баяндай—м. Крестовский в 2—4 раза шире тех, которые известны в Приольхонье. Последние трассируют древнюю Чернорудскую зону, в пределах которой породы ольхонского комплекса обладают максимальной тектонометаморфической проработкой.

График потенциала ЕП в интервале профиля от 14 до 22 км, где отмечается самая широкая аномалия, характеризуется отрицательной корреляцией с рельефом. Это наводит на мысль о том, что здесь вклад в аномалию ЕП вносит не только геобатарея, но и электрическое поле, возникающее при фильтрации подземных вод в направлении от высоких отметок рельефа к низким [Комаров, 1994].

Симметричное электропрофилирование

Как уже упоминалось, электропрофилированием изучена юго-восточная часть регионального профиля. Применялась симметричная установка А40М20N40В, т.е. длина питающей линии составляла 100 м, что обеспечивало эффективную глубину исследований порядка первых десятков метров. Для измерения разности потенциалов в приемной и силы тока в питающей линиях использовался электронный автокомпенсатор АЭ-72. По результатам этих измерений рассчитывалось кажущееся удельное электрическое сопротивление ρ_k (см. рис. 3, Г).

Анализ графиков ρ_k , построенных с разной степенью детальности, свидетельствует о двух особенностях рассматриваемого поля (см. рис. 4, К, Л). Во-первых, значения ρ_k в Приольхонье намного выше по сравнению с измеренными в пределах Бугульдейско-Чернорудской впадины и в районе Приморского хребта. Во-вторых, значительную часть профиля занимают участки, где сопротивление падает до первых десятков ом на метр. Эти особенности не могут объясняться только различием электрических свойств, обнажающихся на профиле горных пород (рис. 5, Б); по-видимому, изменения ρ_k в значительной мере связаны со степенью обводненности горного массива. Здесь уместно напомнить, что в Приольхонье по сравнению с Приморским хребтом выпадает намного меньше осадков. С другой стороны, присутствие на некоторых интервалах профиля интенсивно нарушенных, проницаемых и обводненных зон является причиной наблюдаемых в их пределах аномально низких значений ρ_k (см. рис. 4, К, Л). Аномальными являются два участка в юго-восточной части профиля кажущегося сопротивления (интервалы 0—1.5 и 4—8 км), а также весь его северо-западный фланг, где локальными понижениями ρ_k выделяются в том числе и бортовые разломы Бугульдейско-Чернорудского грабена.

Магнитная съемка

Как и электропрофилирование, магнитная съемка выполнена в юго-восточной части регионально-го профиля (см. рис. 3, *Д*). Измерения модуля полного вектора магнитной индукции (T) выполнены с помощью протонного магнитометра ММП-203.

Поскольку геомагнитное поле отражает преимущественно минеральный состав горных пород и слабо зависит от степени нарушенности массива, при картировании межблоковых зон данные магниторазведки отличаются наибольшей неоднозначностью интерпретации. Так, прямое сопоставление графиков T (см. рис. 4, *М, Н*) с разновидностями обнажающихся на профиле пород не обнаружило устойчивых взаимосвязей. В то же время в большинстве случаев интервалы, где отмечаются максимумы и минимумы T , совпадают с участками, где наблюдаются соответственно высокие и низкие значения ρ_k (см. рис. 4, *К, Н*). Хотя причина отмеченной корреляции ρ_k и T в настоящий момент остается невыясненной, тот факт, что межблоковые зоны, несмотря на «маскирующее» влияние вещественного фактора, находят отражение в геомагнитном поле, не вызывает сомнений. Очевидно, для более определенных выводов и рекомендаций необходимы дополнительные исследования.

Магнитотеллурические исследования

Данный вид исследований является одним из важных составляющих методического комплекса, так как позволяет практически в любых природных обстановках изучать разрез от первых сотен метров до глубин в десятки километров. При этом он эффективен для выделения нарушенных в настоящее время участков земной коры, которые в связи с флюидизацией маркируются областями низких сопротивлений, что однозначно было показано, например, для крупных межблоковых зон разломного типа [Unsworth et al., 1999; Ben-Zion, Sammis, 2003; Unsworth, Bedrosian, 2004; Maercklin et al., 2005].

Магнитотеллурические исследования на юге Сибирской платформы, включая Западное Прибайкалье, проводятся с 60-х годов прошлого века. Результаты изложены в работах [Горностаев, 1967, 1972, 1979; Горностаев и др., 1970; Попов, 1989; Popov et al., 1999] и других публикациях, где данные МТЗ обобщены в виде моделей глубинного геоэлектрического строения Прибайкалья и Байкальской впадины [Мац и др., 2001; Бердический, Дмитриев, 2009]. По данным МТЗ выделены проводящие слои — коровый (или литосферный), кровля которого располагается на глубинах от 12—14 км, и мантийный, залегающий от 90 до 110 км. Согласно устоявшимся представлениям, положение, мощность и удельное сопротивление этих слоев на отдельных участках разреза определяются спецификой термодинамического состояния субстрата.

В отличие от предшествующих магнитотеллурических исследований работы методом МТЗ на профиле пос. Баяндай—м. Крестовский были направлены преимущественно на детальное изучение геоэлектрического строения земной коры в зоне сочленения Сибирской платформы и Байкальского рифта. Это предопределило необычно малый для традиционных работ методом МТЗ шаг съемки — 5 км со сгущением в районе Бугульдейско-Чернорудского гарбена до 2.5 км.

Регистрация компонент магнитотеллурического поля в диапазоне периодов $3 \cdot 10^{-3}$ — $5 \cdot 10^3$ с осуществлялась станциями MTU-System-2000 (Phoenix Geophysics, Канада), оснащенными программой обработки первичных данных (SSMT). Длина приемных электрических линий составляла 100 м, время измерений — от 19 до 22 ч. Количественная интерпретация осуществлялась в рамках 1D модели. В литературе имеются различные рекомендации и выводы по поводу того, какие из кривых являются наиболее информативными при 1D инверсии [Спичак, 2009]. В качестве интерпретационных были выбраны продольные (квазипродольные) кривые. Основанием для этого послужил тот факт, что результаты теоретических исследований основных классов неоднородных моделей [Бердический, Дмитриев, 2009] показали, что в условиях Восточной Сибири существует несколько уровней, в пределах которых сосредоточены неоднородности, формирующие искажающие эффекты в МТ поле. Преобладающий характер эффектов имеет гальваническую природу. Самый верхний уровень неоднородностей — приповерхностная часть разреза, второй — неоднородности подсолевого комплекса и последний — неоднородности верхней коры. В этих условиях получение информации о параметрах глубинного разреза осуществлялось путем так называемых «квазипродольных» кривых. Методика их выбора реализована в программном комплексе LineInterMT, предназначенном для проведения профильной интерпретации магнитотеллурических данных. Основной задачей дальнейшей обработки полученных результатов одномерной инверсии было введение поправок за S -эффект и подготовка данных для построения окончательных геоэлектрических разрезов.

На рис. 5, *В* приведен геоэлектрический разрез, построенный по данным одномерной (1D) интерпретации продольных кривых МТЗ. Видно, что северо-западная и юго-восточная части геоэлектрического разреза отличаются друг от друга, причем эти различия в большей степени обусловлены не вещественным составом горных пород, а присутствием здесь субвертикальных интенсивно нарушенных и как

следствие проницаемых для флюидов зон или участков с аномально низким (5—30 Ом·м) сопротивлением. На юго-востоке профиля (интервал 0—40 км) группируется серия таких зон, тогда как на северо-западе выделяется лишь одна подобная зона. Низкие сопротивления рассматриваемых участков и их секущее положение по отношению к выявленным вещественным комплексам (рис. 5, Б) свидетельствуют, что эти зоны сформировались в результате активных тектонических процессов на границах блоков.

Положение зон юго-восточной части профиля отличается от того, которое должны занимать в разрезе надвиговые чешуи, сформировавшиеся в докайнозойское время, но не противоречит таковому для сбросовых разломов, нарушающих плечо современного рифта (рис. 5, Б, В). Из трех зон повышенной проводимости наиболее важной в структурном отношении является самая первая, если считать с юго-восточного окончания профиля (0—8 км профиля). Эта зона на разрезе выделяется в виде широкой области с сопротивлением ниже 10 Ом·м. По всей вероятности она продолжается далее на юго-восток, но для окончательных выводов о структуре и положении этой зоны необходимы исследования на акватории озера. Положение второй крупной зоны в близповерхностной части совпадает с Прихребтовой депрессией (28—33 км профиля). На геоэлектрическом разрезе она проявляется в виде области аномально пониженных (до 4—7 Ом·м) сопротивлений, ее ширина существенно увеличивается на удалении ≈ 3 км от поверхности. Третья проводящая зона с сопротивлением порядка 30 Ом·м «просматривается» на глубине в районе измерительных пунктов МТЗ-18 и МТЗ-19. По масштабу и характеру проявления эта зона существенно уступает двум рассмотренным выше, однако ее пространственное совпадение с Приморским сбросом и Бугульдейско-Чернорудским грабеном свидетельствует о генетической связи с процессом кайнозойского разломообразования.

Таким образом, магнитотеллурические зондирования по профилю пос. Баяндай—м. Крестовский позволили впервые детально изучить глубинную структуру области сочленения Сибирского кратона и Саяно-Байкальского складчатого пояса в центральной части Западного Прибайкалья. Ее сложность определяется тесным соседством структурно-вещественных комплексов, отражающих разные этапы активизации древней тектонической границы. В то же время кайнозойская структура территории достаточно отчетливо проявляется в виде системы зон повышенной нарушенности субстрата, проникающих до 10 км и даже более, если учесть еще до конца не обработанные предварительные данные МТЗ. На северо-западном фланге профиля (в пределах платформы) такая зона сечет древние пологозалегающие толщи, тогда как юго-восточный фланг представлен сериями нарушенных зон, наследующих неоднородности краевого шва, формируя проницаемую структуру плеча Байкальского рифта. Как следствие этого, на юго-восточном фланге профиля комплексы с высоким сопротивлением (порядка 10^3 — 10^4 Ом·м) имеют сравнительно ограниченное распространение.

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В предыдущем разделе дано описание геолого-геофизических полей. Их анализ позволил выделить вдоль профиля пос. Баяндай—м. Крестовский аномальные участки. В большинстве случаев эти аномалии пространственно совпадают (см. рис. 4, 5), отражая наличие зон повышенной нарушенности субстрата разрывами неоген-четвертичного возраста. Проведение в пределах одного и того же профиля разномасштабных геолого-геофизических съемок позволило изучить особенности делимости земной коры региона на 5 уровнях иерархии, первому из которых соответствует Байкальский рифт в целом. Ниже эти уровни характеризуются последовательно от зон разломного ранга к наиболее крупным межблоковым структурам, причем на рис. 4 и 5, А каждый последующий ранг выделен более густым оттенком серого цвета. Следует отметить, что на упомянутых выше рисунках показано усредненное положение зон, поскольку проведение границ каждой из них слегка отличается в зависимости от типа анализируемого признака.

Исследования юго-восточной части профиля с детальностью 50 м (см. рис. 3; 4, Б, Д, Ж, И, Л, Н) обеспечивают возможность выделения межблоковых разломных зон локального уровня. Однако с учетом того, что описываемые в статье исследования во многом носят опытный характер, мы считаем правомочным начать рассмотрение иерархической последовательности с уровня 5. Он представлен ограничивающими Бугульдейско-Чернорудский грабен сместителями, положение и основные свойства которых детально изучены средствами геолого-структурного картирования. Так, сместителям Приморского разлома и противосброса соответствуют низкие значения объемной активности радона (Q), количества распадов торона (N), кажущегося электрического сопротивления (ρ_r), модуля полного вектора магнитной индукции (T), а в естественном электрическом поле — участки флуктуаций потенциала (U) на фоне равномерного увеличения данной величины. Такая комбинация параметров может объясняться тем, что осевые участки разломов насыщены непроницаемой для газов глиной трения и выветрелыми породами с низкими удельным сопротивлением и содержанием ферромагнитных минералов. Тот факт, что ширина юго-восточного участка больше, чем северо-западного, не следует относить на счет большей тектони-

ческой значимости противосброса по сравнению с Приморским разломом: аномалия первого участка увеличена за счет приращения к противосбросу разрыва поперечной ориентации.

Между двумя упомянутыми выше разломными зонами 5-го иерархического уровня находится блок, выделяющийся повышенными величинами Q , N , ρ_k и T . Небольшие размеры этого блока и относительно пониженные значения перечисленных параметров по сравнению с теми, которые типичны для блоков, расположенных с внешней стороны зон (см. рис. 4, *Б, Д, Ж, И, Л, Н*), свидетельствуют о принадлежности рассматриваемого участка земной коры к более крупной разломной структуре. В геоморфологическом отношении эта структура представлена Бугульдейско-Чернорудским грабеном (см. рис. 4, *А, В*) и является межблоковой зоной 4-го иерархического уровня. В целом для нее характерны повышенные плотность линейных элементов (см. рис. 4, *В*) и концентрация радона в почвенном воздухе (см. рис. 4, *Г*) в сочетании со сравнительно низкими значениями удельного электрического сопротивления (по данным СП и МТЗ), T и U . Минимальные значения электрического сопротивления и модуля полного вектора магнитной индукции тяготеют к юго-восточной части зоны (см. рис. 4, *К, М; 5, В*). Отрицательная аномалия потенциала ЕП располагается на северо-западе, т.е. приурочена к лежащему крылу Приморского сброса (см. рис. 4, *З*), что, вероятно, обусловлено разной природой приразломных аномалий.

Сопоставимые по ширине аномалии параметров D , Q и N сосредоточены еще на пяти участках юго-восточного фланга профиля пос. Баяндай—м. Крестовский (см. рис. 4, *В, Г, Е*). Там, где проводились симметричное электропрофилирование и магниторазведка (см. рис. 4, *Л, Н*), участкам рассматриваемого типа соответствуют минимумы ρ_k и T . Таким образом, в целом в юго-восточной части профиля выделяется 6 межблоковых зон 4-го иерархического уровня. Субстрат этих зон вследствие нарушения разрывами является высокопроницаемым для воды и газов, миграция последних представляет одну из основных причин, приводящих к возникновению аномалий геофизических полей. В то же время степень проявления зон 4-го уровня в упомянутых геолого-геофизических полях характеризуется закономерными качественными и количественными различиями. Для II, IV и VI из них (см. рис. 4) по сравнению с тремя другими зонами в большинстве случаев типичны более выраженные положительные аномалии D , Q и N . С другой стороны, в рельефе эти зоны выражены менее отчетливыми впадинами и представлены небольшими разломами, относящимися к разным морфогенетическим типам. В отличие от них I, III и V зоны в структурном отношении образованы крупными наклоненными на юго-восток сбросами, перемещения по которым привели к развитию глубоких грабенообразных впадин. Кроме того, эти зоны отмечаются в верхней части разреза ярко выраженными аномалиями по данным методов ЕП и МТЗ.

Приведенные материалы свидетельствуют, что зоны I, III и V представлены глубинными, а три другие (II, IV и VI) — сравнительно близповерхностными дизъюнктивными структурами. Зоны группируются в пары, причем те из них, которые наиболее отчетливо выражены во всех изученных полях (III—IV и V—VI), расположены настолько близко друг к другу, что в результате на некоторых графиках имеет место единая аномалия с двумя близкорасположенными экстремумами (см. рис. 4, *В, Е, К*). На схеме, составленной по результатам дешифрирования аэрофотоснимков в совокупности с анализом разломной структуры региона, эти участки отражаются в виде широких полос с высокой степенью тектонической раздробленности [Аржанникова, Гофман, 2000]. Таким образом, в юго-восточной части профиля пос. Баяндай—м. Крестовский выделяются три зоны 3-го уровня иерархии, отделяющие друг от друга слабонарушенные блоки. В рельефе эти блоки выражены Приольхонской краевой ступенью, Приморским глыбовым поднятием и Онетским плоским поднятием. Упомянутые зоны формировались под действием кайнозойского растяжения, причем каждая из них наклонена на юго-восток и характеризуется в целом аналогичным внутренним строением.

Наиболее интенсивные подвижки в пределах зон 3-го уровня привели к формированию крупнейших Морского, Приморского и Прихребтового сбросов, а также глубоких и узких Бугульдейско-Чернорудской и Прихребтовой впадин. Сбросовые зоны приурочены к полосам распространения древних тектонитов. Они, как уже отмечалось, выделяются интенсивными отрицательными аномалиями ЕП. В разрезе рассматриваемые субвертикальные зоны пересекают палеозойские надвиги (30—35 км профиля). Положение последних оказалось менее благоприятным для активизации при рифтообразовании в кайнозое. В тылу каждого из трех глубинных дизъюнктивов сформировались дополнительные соизмеримые по мощности зоны растяжения, нарушающие юго-восточные грани блоков главным образом вблизи поверхности. Деструкция земной коры в пределах этих зон растяжения происходит менее интенсивно за счет активизации древней сети сопряженных меридиональных и широтных сдвигов, а также сравнительно небольших северо-восточных сбросов (рис. 5, *Б*). Возможно, на глубине тыловые зоны не сочленяются с главными дизъюнктивами, но в любом случае они отражают внутреннее строение трех крупных межблоковых структур разломного типа — Морской, Приморской и Прихребтовой.

На следующем (2-м) уровне иерархии логично объединить три рассмотренные зоны в единую структуру, охватывающую всю юго-восточную (0—45 км) половину профиля. Основанием для такого

объединения является то, что участки, занимаемые здесь межблоковыми зонами, по размерам превалируют над участками, которым соответствуют менее нарушенные блоки. Согласно данным геолого-геофизических методов, эта закономерность в наибольшей степени проявлена в приповерхностной части земной коры (см. рис. 4). На глубине Прихребтовая и Морская зоны с низким удельным сопротивлением также занимают значительную часть разреза (рис. 5, *B*). Кроме того, располагающийся между ними участок распространения высокоомных интрузивных пород не является монолитным, так как эти породы нарушены Приморским сбросом. Последний по сравнению с другими дизъюнктивами наиболее отчетливо проявлен в тех геолого-геофизических признаках, которые отражают строение верхней части геологического разреза. Среди вероятных причин его недостаточной выраженности на геоэлектрическом разрезе, построенном по данным МТЗ, могут быть: редкая сеть пунктов МТЗ, не позволившая полностью протрассировать узкую зону дробления хорошо сформированного сместителя; неравномерная по глубине обводненность разломной зоны; слабая активность разлома на современном этапе тектогенеза [Ламакин, 1968] и другие. Детальное рассмотрение данного вопроса может быть темой отдельного исследования, но активное функционирование Приморского сброса при рифтогенезе в ансамбле с Морским и Прихребтовым разломами не вызывает сомнений.

Кроме рассмотренного выше критерия, основанного на результатах анализа комплексных геолого-геофизических съемок, объективность отнесения юго-восточной части профиля к крупной межблоковой зоне подтверждается единством ее внутреннего строения. В пределах зоны отчетливо проявлена закономерность локализации деформаций (см. рис. 4), выраженная в виде тенденции уменьшения расстояния между одноранговыми зонами с северо-запада на юго-восток, что свидетельствует о возрастании интенсивности нарушения субстрата от периферии к главной поверхности сбросовых смещений (Морской разлом). При этом три зоны 4-го иерархического уровня имеют близкую пространственную ориентировку и характеризуются сбросовым типом перемещений, причем Приморский и Морской разломы, сочленившись у пос. Бугульдейка, образуют связанную разрывную сеть. Перечисленные признаки позволяют, согласно [Gibbs, 1990; Park, 1997], отнести всю юго-восточную половину профиля к Обручевской разломной системе растяжения. Таким образом, по сравнению с представлениями предшественников поперечный размер Обручевской системы увеличился почти в 2 раза. Эта система и межблоковая зона аналогичного ранга на противоположном берегу оз. Байкал образуют плечи рифта, представляющего 1-й уровень иерархии в рассматриваемом регионе.

В отличие от юго-восточной части профиля пос. Баяндай—м. Крестовский, главным структурным элементом на его северо-западном фланге является слабонарушенный блок земной коры, где за исключением самого крайнего участка не выявлены интенсивные геофизические аномалии (см. рис. 4, 5). Обращает на себя внимание и участок профиля, пересекающий Прибайкальский краевой выступ (переход от Онотского поднятия к Предбайкальскому прогибу). Здесь активизировалась сеть локальных разломов, значения эманационных показателей приближаются к средним, потенциал ЕП ниже среднего по профилю, а в геоэлектрическом разрезе выделяется субвертикальная дискордантная зона высокого сопротивления (МТЗ-8, см. рис. 5, *B*). Можно предположить, что на данном участке локализуется древняя «залеченная» разломная зона, которая, как и юго-восточные структуры подобного типа, послужила концентратором напряжений в новейшее время. Однако поскольку эта зона находится на периферии области позднекайнозойской активизации, здесь сформировались лишь неглубокие разрывы, вызванные короблением верхних слоев коры, что не позволяет поставить данную структуру в один иерархический ряд с уже рассмотренными межблоковыми зонами.

Что касается самого крайнего, северо-западного участка профиля (см. рис. 4; 5, *B, B*), то здесь (в окрестностях пос. Баяндай) по всем признакам обнаруживается краевая часть крупной межблоковой зоны, приуроченной к оси Предбайкальского прогиба. Судя по данным МТЗ и локализации эпицентров слабых, но не связанных с промышленными взрывами сейсмических событий [Семинский, Радзиминович, 2007], баяндаевский сегмент этой Предбайкальской зоны активен на современном этапе. Несмотря на расположение описываемой зоны за границей интенсивно развивающегося рифта, ее активность также является отражением тектонических процессов, происходящих при контактировании Сибирского и Забайкальского блоков литосферы.

Таким образом, результаты комплексного анализа полевых геолого-геофизических материалов подтверждают пространственные взаимоотношения Обручевской зоны и зоны Предбайкальского прогиба, выявленные при составлении схемы зонно-блоковой структуры Прибайкалья на основе исследования трехмерной модели рельефа (см. рис. 1). Реконструкция иерархии зонно-блоковой структуры Западного Прибайкалья оказалась возможной благодаря использованию эффективных методов исследования, а также тому, что геофизические поля, ассоциирующиеся с межблоковыми зонами, в большей степени отражают структуру земной коры по отношению к ее вещественной составляющей. Поскольку такая ситуация не является типичной, целесообразно обобщить опыт использования конкретных геолого-геофизических методов для выделения разноранговых зон взаимодействия блоков.

Полевые структурно-геологические, геоморфологические и гидрогеологические наблюдения как важнейший источник информации о разломных структурах и мигрирующих по ним водах являются обязательной составляющей методического комплекса, однако по объективным причинам они могут проводиться лишь в отдельных точках изучаемых регионов. Остальные методы (из числа использованных) характеризуются экспрессностью, простотой реализации и эффективностью применения в большинстве природных ситуаций. При этом результаты измерений представляют массив количественной информации, для обработки и анализа которой могут применяться различные способы, в том числе и статистические. Так, геолого-геофизические исследования на профиле пос. Баяндай—м. Крестовский подтвердили результаты аналогичных работ на локальных участках Приольхонья [Семинский и др., 2008б; Семинский, Бобров, 2009], согласно которым исходным количественным критерием присутствия межблоковой зоны является отклонение значений плотности линеаментов, объемной активности радона, количества распадов торона, удельного электрического сопротивления, модуля полного вектора магнитной индукции и потенциала ЕП в большую (для D , Q и N) или меньшую (для ρ_k , T и ΔU) сторону от средних значений. Характерно, что границы одной и той же зоны, выделенные с использованием этого критерия по данным разных методов, оказываются тем ближе друг к другу, чем теснее данный параметр связан со степенью нарушенности земной коры разрывами.

Спрявленные элементы рельефа в целом объективно отражают положение разрывных нарушений не только в активной области Байкальского рифта, но и в краевой части платформы, что подтверждают и результаты целенаправленных исследований [Семинский, Радзиминович, 2007; Семинский и др., 2008а]. С другой стороны, аномально высокая плотность линеаментов, кроме глубоких межблоковых зон, может быть свойственна и близповерхностным участкам разреза (см. рис. 4, *B*, инт. 50—55, 61—63 и 67—70 км). Отчетливая выраженность активных межблоковых зон в виде максимумов типична для полей газовых эманаций (см. рис. 4, *Г*, *Е*) и, прежде всего, радона, отражающего более глубокие структуры коры по сравнению с торонам, имеющим небольшой период полураспада. В то же время сместителям, заполненным глиной трения, соответствуют минимумы параметров Q и N , что создает определенную неоднозначность выделения границ межблоковых зон (см. рис. 4, *Д*, *Ж*).

Весьма информативным в плане выделения разноранговых межблоковых зон, проявленных как в пределах верхней части разреза, так и на глубине, является поле удельного электрического сопротивления, минимальные значения которого наблюдаются над интенсивно нарушенными, обводненными участками горного массива (см. рис. 4, *К*, *Л*; 5, *B*). Можно предположить, что эффективность электроразведочных исследований в значительной мере зависит от возможности поступления флюида в межблоковую зону из глубины или от поверхности. Однако с учетом того, что условия приповерхностного водообмена изменяются в зависимости от положения участка исследований (например, они сильно отличаются в зоне Приморского хребта и на Приольхонском плато), изучение связи аномалий удельного электрического сопротивления с условиями водообмена представляет самостоятельную научную задачу. Наибольшей неоднозначностью при структурных исследованиях характеризуются данные магнитной съемки, поскольку магнитное поле в пределах регионального профиля отражает преимущественно вещественный состав субстрата.

В отличие от рассмотренных выше, естественное электрическое поле отражает главным образом положение в регионе древних разломных зон, маркирующихся графитизированными динамометаморфитами и, как следствие этого, отрицательными аномалиями потенциала (см. рис. 4, *З*, *И*). Поскольку древние тектониты, как правило, служат концентраторами напряжений и могут быть причиной возобновления перемещений блоков, электроразведка методом ЕП представляет важную составляющую методического комплекса. Перспективы ее использования для выделения активных межблоковых зон локального уровня связаны с анализом малоамплитудных вариаций, проявляющихся на фоне рассмотренных выше региональных изменений потенциала U (см. рис. 3, *B*).

Особо необходимо отметить, что при выделении межблоковых зон результаты разных методов независимо от их геолого-геофизической основы и глубинности согласуются между собой. Этот неочевидный *a priori* факт свидетельствует о том, что в исследуемом районе межблоковые зоны носят по большому счету «сквозной» характер, т.е. представлены участками земной коры с повышенными нарушенностью и проницаемостью, которые прослеживаются от дневной поверхности до глубин порядка нескольких километров, а, скорее всего, и более.

Таким образом, в целом межблоковые зоны как сложные трехмерные структурные элементы земной коры отчетливо выделяются в различных полях. Однако особенности проявления конкретной зоны в том или ином из них зависят от ее структурно-вещественной выраженности и от природы поля. Поэтому критерии выделения межблоковых зон могут отличаться даже при рассмотрении одного и того же поля, например, в зависимости от уровня иерархии. Благодаря комплексному характеру выполненных исследований недостатки одних методов удалось скомпенсировать достоинствами других. Полученные результаты позволяют рассматривать реализованный методический комплекс в качестве эффективного

инструмента для картирования зонно-блоковой структуры земной коры и рекомендовать его в качестве основы для проведения аналогичных исследований в областях с различными геодинамическими режимами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главная задача геолого-геофизических работ по региональному профилю в Западном Прибайкалье заключалась в изучении особенностей тектонической делимости земной коры в области сочленения древнего Сибирского кратона и Саяно-Байкальского складчатого пояса. Комплекс методов ориентировался на выделение активных структур, проявленных в открытых разрывах и трещиноватости и вследствие этого характеризующихся высокой проницаемостью для воды и газов. По сравнению с предшествующими геолого-геофизическими исследованиями измерения на профиле пос. Баяндай—м. Крестовский отличаются большей детальностью (СП, ЕП, магниторазведка, МТЗ, линеаментный анализ рельефа) либо применением новой аппаратуры (МТЗ). Радон-тороновая съемка в пределах изученного разреза выполнена впервые.

В результате интерпретации полученных данных уточнены принципиальные особенности тектонического строения Западного Прибайкалья, выявлена картина нарушенности земной коры региона и установлено ее соответствие тектонофизическим представлениям о зонно-блоковой структуре литосферы. Выделены два типа участков, которые, чередуясь вдоль профиля пос. Баяндай—м. Крестовский, представлены сравнительно стабильными блоками и дислоцированными зонами земной коры. Участки повышенной нарушенности разрывами образуют отчетливую ранговую соподчиненность межблоковых зон. Они представляют пять смежных уровней и укладываются в схему зонно-блоковой структуры Прибайкалья, которая, в свою очередь, является фрагментом более мелкомасштабных карт, отражающих иерархию зонно-блоковой структуры литосферы Центральной Азии [Семинский, 2008а].

Наиболее крупной межблоковой структурой Западного Прибайкалья является Обручевская разломная система, определяющая специфику геофизических полей всей юго-восточной половины изученного профиля. Она представляет северо-западное плечо Байкальского рифта и имеет ширину ≈ 50 км, что в 2 раза превышает оценки предшественников [Mats, 1993; Мац и др., 2001]. Обручевская разломная система включает Морскую, Приморскую и Прихребтовую межблоковые структуры. Они трассируются до глубин в десятки километров и расширяются по мере приближения к поверхности за счет появления зон высших уровней иерархии. Вследствие этого в пределах Обручевской системы размеры нарушенных участков превышают размеры одноранговых блоков. На северо-западном фланге профиля наблюдается обратное соотношение, что является косвенным отражением затухания тектонической активности в краевой части Сибирского кратона. Морская, Приморская и Прихребтовая межблоковые структуры, наклоненные на юго-восток и имеющие крутое падение, образовались по северо-восточным зонам древних тектонитов и секут поверхности пологих докайнозойских надвигов. Все это с учетом сбросового характера перемещений отражает процесс образования Байкальского рифта в условиях растяжения земной коры.

Межблоковые зоны как участки превышения плотности разрывов над средним уровнем уверенно выделяются в геофизических полях положительными или отрицательными аномалиями. Опыт, приобретенный в ходе исследований по профилю пос. Баяндай—м. Крестовский, показывает, что рассмотренный комплекс методов изучения активной зонно-блоковой структуры земной коры характеризуется высокой информативностью в плане выделения разноранговых межблоковых зон, экспрессностью полевых измерений и возможностью применения в разнообразных природных условиях в сочетании с невысокой стоимостью работ.

Комплекс включает методы, которые удачно дополняют друг друга. Линеаментный анализ рельефа позволяет выделить участки с высокой степенью нарушенности приповерхностной части земной коры. Электропрофилирование и магнитотеллурическое зондирование дают возможность выделить и оконтурить в широком диапазоне глубин проводящие зоны, представленные раздробленными в результате активных блоковых взаимодействий и проницаемыми для флюидов участками земной коры. Отрицательными аномалиями естественного электрического поля выделяются древние разломы с графитовой минерализацией, по которым нередко происходят современные тектонические перемещения. Эманационная съемка выделяет глубокие зоны интенсивной дегазации, причем локальные максимумы и минимумы объемной активности радона маркируют положение отдельных сместителей с проницаемыми или непроницаемыми для газа тектонитами. Кроме перечисленных методов комплекс включает полевые структурно-геологические, геоморфологические и гидрогеологические исследования, позволяющие на основе наблюдений в отдельных точках определить природу и тектонические характеристики зон, выделенных в ходе геофизических работ.

Авторы благодарны руководителю программы СО РАН ОНЗ-7, академику РАН М.И. Эпову и заведующему лабораторией геоэлектрики ИНГГ СО РАН, к.т.н. Е.Ю. Антонову за поддержку, внимание и интерес к полученным результатам. Неоценимую помощь в организации и проведении исследований оказали генеральный директор Восточного геофизического треста, д.г.-м.н. А.В. Поспеев и генеральный директор Иркутского электроразведочного предприятия, к.г.-м.н. Ю.А. Агафонов. В разнотипных геолого-геофизических работах активное участие принимали сотрудник НППГА «Луч» Ю.Н. Кольчев, сотрудники лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН Р.М. Зарипов и А.С. Черемных, а также студенты-геофизики Читинского государственного университета под руководством к.г.-м.н. Д.Л. Авгулевича. Авторы также благодарны рецензентам д.г.-м.н. А.Д. Дучкову и д.г.-м.н. Г.И. Татькову, чьи рекомендации были использованы при работе над заключительным вариантом статьи.

Работа выполнена при поддержке СО РАН (программа ОНЗ-7, проект № 6) и ФЦП (госконтракт 02.740.11.0446).

ЛИТЕРАТУРА

Александров В.К. Надвиговые и шарьяжные структуры Прибайкалья. Новосибирск, Наука, 1990, 102 с.

Аржанникова А.В., Гофман Л.Е. Проявление неотектоники в зоне влияния Приморского разлома // Геология и геофизика, 2000, т. 41 (6), с. 811—818.

Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М., Научный мир, 2009, 680 с.

Гатинский Ю.Г., Рундквист Д.В. Геодинамика Евразии — тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника, 2004, № 1, с. 3—20.

Гольдин С.В. Деструкция литосферы и физическая мезомеханика // Физическая мезомеханика, 2002, т. 5, № 5, с. 5—22.

Горностаев В.П. Некоторые дополнительные сведения о глубинном строении Прибайкалья по данным электроразведки // Геология и геофизика, 1967 (11), с. 98—103.

Горностаев В.П. О глубинной геоэлектрической модели Прибайкалья // Геология и геофизика, 1972 (6), с. 98—102.

Горностаев В.П. Магнитотеллурические исследования впадины оз. Байкал // Физика Земли, 1979, № 6, с. 99—103.

Горностаев В.П., Михалевский В.И., Поспеев В.И. Глубинные магнитотеллурические зондирования на юге Сибирской платформы и в зоне Байкальского рифта // Геология и геофизика, 1970 (4), с. 111—118.

Замараев С.М. Краевые структуры южной части Сибирской платформы. М., Наука, 1967, 248 с.

Замараев С.М., Васильев Е.П., Мазукабзов А.М., Ружич В.В., Рязанов Г.В. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. Новосибирск, Наука, 1979, 126 с.

Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири. М-б 1:1 500 000 / Под ред. А.Г. Золотарева, П.М. Хренова, 1979.

Когут Е.И. Опыт линейментного анализа рельефа для одного из районов Западного Прибайкалья // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXII Всероссийской молодежной конференции. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2007, с. 37—38.

Кожевников Н.О. Некоторые особенности структуры Приольхонья по данным электроразведки (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (2), с. 271—276.

Кожевников Н.О., Бигалке Ю., Кожевников О.К. Региональная структура Приольхонья по данным геоэлектрических исследований // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (2), с. 253—265.

Комаров В.А. Геоэлектрoхимия. Учебное пособие. СПб., Изд-во СПб ун-та, 1994, 136 с.

Красный Л.И. Глобальная делимость литосферы в свете геоблоковой концепции // Советская геология, 1984, № 7, с. 17—32.

Курленя М.В., Опарин В.Н., Еременко А.А. Об отношении линейных размеров блоков горных пород к величинам раскрытия трещин в структурной иерархии массивов // ФТПРПИ, 1993, № 3, с. 3—10.

Ламакин В.В. Неотектоника Байкальской впадины. М., Наука, 1968, 247 с.

Леви К.Г., Аржанникова А.В., Буддо В.Ю., Кириллов П.Г., Лухнев А.В., Мирошниченко А.И., Ружич В.В., Саньков В.А. Современная геодинамика Байкальского рифта // Разведка и охрана недр, 1997, № 1, с. 10—20.

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

Макаров П.В. Эволюционная природа блочной организации геоматериалов и геосред. Универсальный критерий фрактальной делимости // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (7), с. 724—746.

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.

Наумов В.А. Морфология и эволюция краевого шва Сибирской платформы (Северо-Байкальское нагорье). Иркутск, Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1974, 143 с.

Парфенов В.Д. К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника, 1984, № 1, с. 60—72.

Перевозников Д.Д. Геоморфология зоны перехода от Байкальского рифта к сибирской платформе: Автореф. дис. ... к.г.н. Иркутск, Институт географии СО РАН, 1999, 18 с.

Плешанов С.П., Ромазина А.А. Некоторые вопросы кинематики развития разломов центральной части Байкальского рифта // Проблемы разломной тектоники. Новосибирск, Наука, 1981, с. 129—141.

Попов А.М. Результаты глубинных магнитотеллурических зондирований в Прибайкалье в свете данных других геофизических методов // Физика Земли, 1989, № 8, с. 31—37.

Ранцман Е.Я. Места землетрясений и морфоструктура горных стран. М., Наука, 1979, 171 с.

Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. Ч. 2. М., ГИН АН СССР, 1987, с. 173—235.

Ружич В.В. Сейсмоструктурная деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 1997, 144 с.

Садовский М.А., Нерсесов И.Л., Писаренко В.Ф. Иерархическая дискретная структура литосферы и сейсмический процесс // Современная тектоническая активность Земли и сейсмичность. М., Наука, 1987, с. 182—191.

Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., Недра, 1980, 446 с.

Семинский К.Ж. Тектонофизические закономерности деструкции литосферы на примере Гималайской зоны сжатия // Тихоокеанская геология, 2001, т. 20, № 6, с. 17—30.

Семинский К.Ж. Иерархия зонно-блоковой структуры литосферы Центральной и Восточной Азии // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (10), с. 1018—1030.

Семинский К.Ж., Бурзунова Ю.П. Новый подход к анализу хаотической трещиноватости вблизи разломных сместителей // Геология и геофизика, 2007, т. 48 (3), с. 330—343.

Семинский К.Ж., Радзиминович Я.Б. Сейсмичность юга Сибирской платформы: пространственно-временная характеристика и генезис // Физика Земли, 2007, № 9, с. 18—30.

Семинский К.Ж., Бобров А.А. Радоновая активность разломов земной коры (на примере Западного Прибайкалья и Южного Приангарья) // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (8), с. 881—896.

Семинский К.Ж., Gladkov A.C., Лунина О.В., Тугарина М.А. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Прикладной аспект. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, 293 с.

Семинский К.Ж., Gladkov A.C., Вахромеев А.Г., Черемных А.В., Бобров А.А., Когут Е.И. Разломы и сейсмичность юга Сибирской платформы: особенности проявления на разных масштабных уровнях // Литосфера, 2008а, № 4, с. 3—21.

Семинский К.Ж., Кожевников Н.О., Черемных А.В., Бобров А.А., Оленченко В.В., Авгулевич Д.Л. Структура разломных зон Приольхонья (Байкальский рифт) по данным полевой тектоно- и геофизики // Изв. Сибирского отделения секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений, 2008б, вып. 7 (33), с. 111—124.

Спичак В.В. Современные методы измерения, обработки и интерпретации электромагнитных данных. М., Либроком, 2009, 304 с.

Уфимцев Г.Ф. Морфотектоника Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск, Наука, 1992, 216 с.

Федоровский В.С. Купольный тектогенез в коллизионной системе каледонид Западного Прибайкалья // Геотектоника, 1997, № 6, с. 56—71.

Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск, Наука, 1977, 102 с.

Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Буддо В.Ю. Разломообразование в литосфере. Зоны растяжения. Новосибирск, Наука, 1992, 228 с.

Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Лобацкая Р.М., Лысак С.В., Леви К.Г. Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия. Новосибирск, Наука, 1994, 264 с.

- Ben-Zion Y., Sammis C.G.** Characterization of fault zones // *Pure Appl. Geophys.*, 2003, v. 160, p. 677—715.
- Bigalke J., Grabner E.W.** The Geobattery model — a contribution to large scale electrochemistry // *Electrochimica Acta*, 1997, v. 42, № 23—24, p. 3443—3452.
- Delvaux D., Moyes R., Stapel G., Petit C., Levi K., Miroshnitchenko A., Ruzhich V., San'kov V.** Paleostress reconstruction and geodynamics of the Baikal region, Central Asia. Pt. II: Cenozoic rifting // *Tectonophysics*, 1997, v. 282, p. 1—38.
- Gibbs A.D.** Linked fault families in basin formation // *J. Struct. Geol.*, 1990, v. 12, № 5/6, p. 795—803.
- Jacobi R.D.** Basement faults and seismicity in the Appalachian Basin of New York State // *Tectonophysics*, 2002, v. 353, p. 75—113.
- Kozhevnikov N.O., Tezkan B.** The main structure and tectonic features of the Chernorud-Mukhor site on the western shore of Lake Baikal from TEM and SP measurements // *J. Appl. Geophysics*, 1998, v. 39, № 4, p. 237—250.
- Maercklin N., Bedrosian P.A., Haberland C., Ritter O., Ryberg T., Weber M., Weckmann U.** Characterizing a large shear-zone with seismic and magnetotelluric methods: the case of the Dead Sea Transform // *Geophys. Res. Lett.*, 2005, v. 32, L15303, doi: 10.1029/2005GL022724.
- Mats V.D.** The structure and development of the Baikal rift depression // *Earth-Sci. Revs.*, 1993, v. 34, p. 81—118.
- Paleoseismology** / Ed. J.P. McCalpin. San Diego, Academic press, 1996, 585 p.
- Park R.G.** Foundations of structural geology. London, Chapman & Hall, 1997, 202 p.
- Popov A.M., Kiselev A.I., Mordvinova V.V.** Geodynamical interpretation of crustal and upper mantle electrical conductivity anomalies in Sayan-Baikal province // *Earth Planet Space*, 1999, v. 51, p. 1079—1089.
- Schulz S.E., Evan J.P.** Mesoscopic structure of the Punchbowl Fault, Southern California and the geologic and geophysical structure of active strike-slip faults // *J. Struct. Geol.*, 2000, v. 22, p. 913—930.
- Shebalin P., Soloviev A., Le Mouel J.-L.** Scaling organization in the dynamics of blocks-and-faults systems // *Phys. Earth Planet. Int.*, 2002, v. 131, p. 141—153.
- Structural** and tectonic correlation across the Central Asia orogenic collage: North-Eastern segment (Guidebook and abstract volume of the Siberian Workshop IGCP-480) / Ed. E.V. Sklyarov. Irkutsk, IES SB RAS, 2005, 291 p.
- Unsworth M.J., Bedrosian P.A.** On the geoelectric structure of major strike-slip faults and shear zones // *Earth Planet Space*, 2004, v. 56, p. 1177—184.
- Unsworth M.J., Egbert G., Booker J.** High-resolution electromagnetic imaging of the San Andreas Fault in central California // *J. Geophys. Res.*, 1999, v. 104, p. 1131—1150.
- Virujete J.E., Carbonell R., Marti D., Jurado M.J., Perez-Estaun A.** Architecture of fault zones determined from outcrop, cores, 3-D seismic tomography and geostatistical modeling: example from the Albala Granitic Pluton, SW Iberian Variscan Massif // *Tectonophysics*, 2002, v. 361, p. 97—120.

*Рекомендована к печати 9 ноября 2010 г.
А.Д. Дучковым*

*Поступила в редакцию
27 мая 2010 г.*