

*Н. О. Кожевников<sup>1\*</sup>*

## **Проявление зоны глубинного разлома в Приольхонье в естественном электрическом поле**

<sup>1</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Российская  
Федерация  
\*e-mail: kno48@yandex.ru

**Аннотация.** При изучении геологии Приольхонья используются преимущественно наземное геологическое картирование и дистанционные съемки, возможности которых, особенно при экстраполяции их результатов на глубину, ограничены. Очевидно, для изучения структуры Приольхонья необходимо привлекать геофизические методы, позволяющие осуществлять объемное геологическое картирование. В настоящей статье представлены и обсуждаются результаты применения метода естественного электрического поля (ЕП) для изучения Чернорудско-Баракчинской зоны глубинного разлома. Зона выделяется интенсивными отрицательными аномалиями ЕП, которые создаются геобатареей, образованной круто падающими электронными проводниками с электрически связанной графитовой минерализацией и вмещающими ионно-проводящими породами. Аномалии трассируют участки, вдоль которых происходят субвертикальные подвижки, в результате которых образовался Чернорудский грабен.

**Ключевые слова:** Приольхонье, глубинный разлом, естественное электрическое поле

*N. O. Kozhevnikov<sup>1\*</sup>*

## **Tracing of a deep fault zone in the Olkhon region by the self-potential method**

<sup>1</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian  
Federation  
\*e-mail: kno48@yandex.ru

**Abstract.** Surface geological mapping and remote sensing are principal tools when studying the geology of the Olkhon region. However, the possibilities of these techniques, especially in extrapolating their results to depth, are limited. Obviously, to study the structure of the Olkhon region, it is necessary to involve geophysical methods enabling three-dimensional geological mapping. The article presents and discusses the results of applying the self-potential (SP) method in studies of the Chernorud-Barakchin deep fault zone. The zone is distinguished by intense negative SP anomalies, which are produced by a geobattery formed by steeply dipping electronic conductors with electrically interconnected graphite mineralization and surrounding ion-conductive rocks. The anomalies trace near-to-vertical shear planes along which movements occur having resulted in the formation of the Chernorud graben.

**Keywords:** Olkhon region, deep fault zone, self-potential method

### ***Введение***

Хотя Приольхонье является одним из опорных геологических полигонов Восточной Сибири [5], представления о структуре этого региона основываются преимущественно на результатах наземного геологического картирования и ди-

станционных съемок. Однако в характерной для Приольхонья сложной тектонической обстановке возможности таких съемок, особенно при экстраполяции их результатов на глубину, ограничены. В связи с этим привлекают внимание геофизические методы, позволяющие осуществлять объемное геологическое картирование. Данная статья иллюстрирует возможности метода естественного электрического поля (ЕП) при изучении регионального геологического строения Приольхонья.

### *Методика и результаты съемки ЕП*

Съемки методом ЕП проводились в 1980 – 2001 гг. под руководством автора в рамках учебных геофизических практик для студентов ИрГТУ. Измерения выполнены прибором АЭ72 способом потенциала вдоль профилей протяженностью от 2.7 до 13.5 км, ориентированных с СЗ на ЮВ (рис. 1). На всех профилях в качестве референтной принималась крайняя СЗ точка, располагавшаяся у подножия уступа Приморского хребта. Измерения на профилях 1–6 выполнены с шагом 50м, на профилях 7–9 шаг составлял 25м.

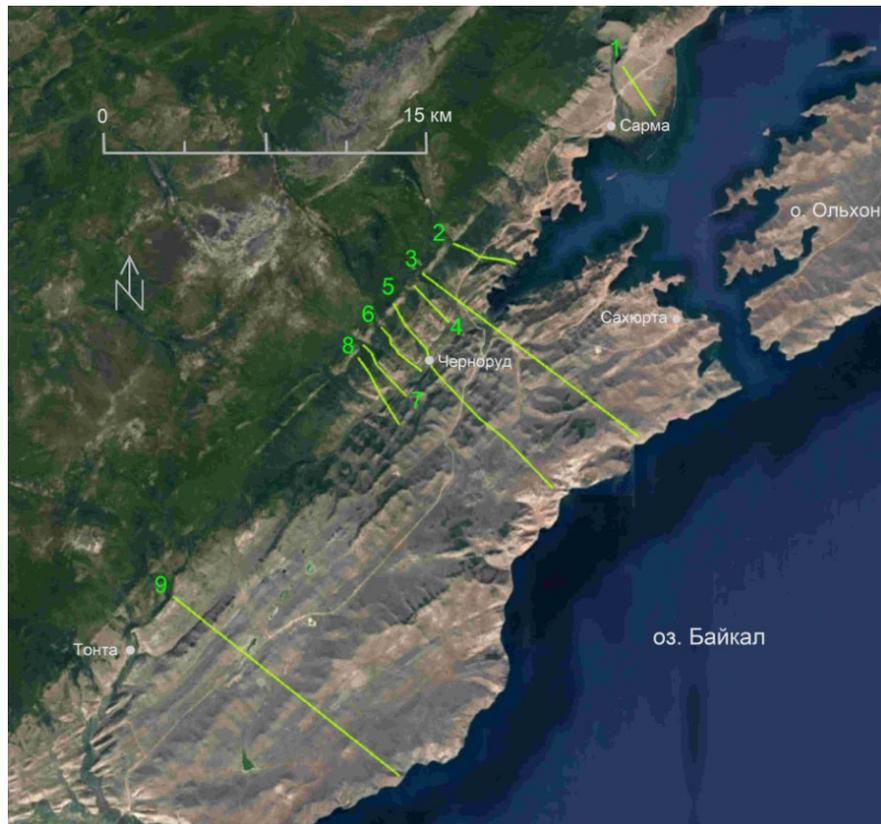


Рис. 1. Региональные профили ЕП в Приольхонье и их номера

Графики потенциала  $U$  естественного электрического поля приведены на рис. 2. По характеру изменения потенциала  $U$  вдоль длинных (3, 5, 9) профилей выделяются два участка – северо-западный и юго-восточный. На СЗ фланге профилей наблюдаются узкие отрицательные аномалии большой амплитуды. К юго-

востоку от интенсивных отрицательных аномалий контрастные аномалии потенциала отсутствуют.

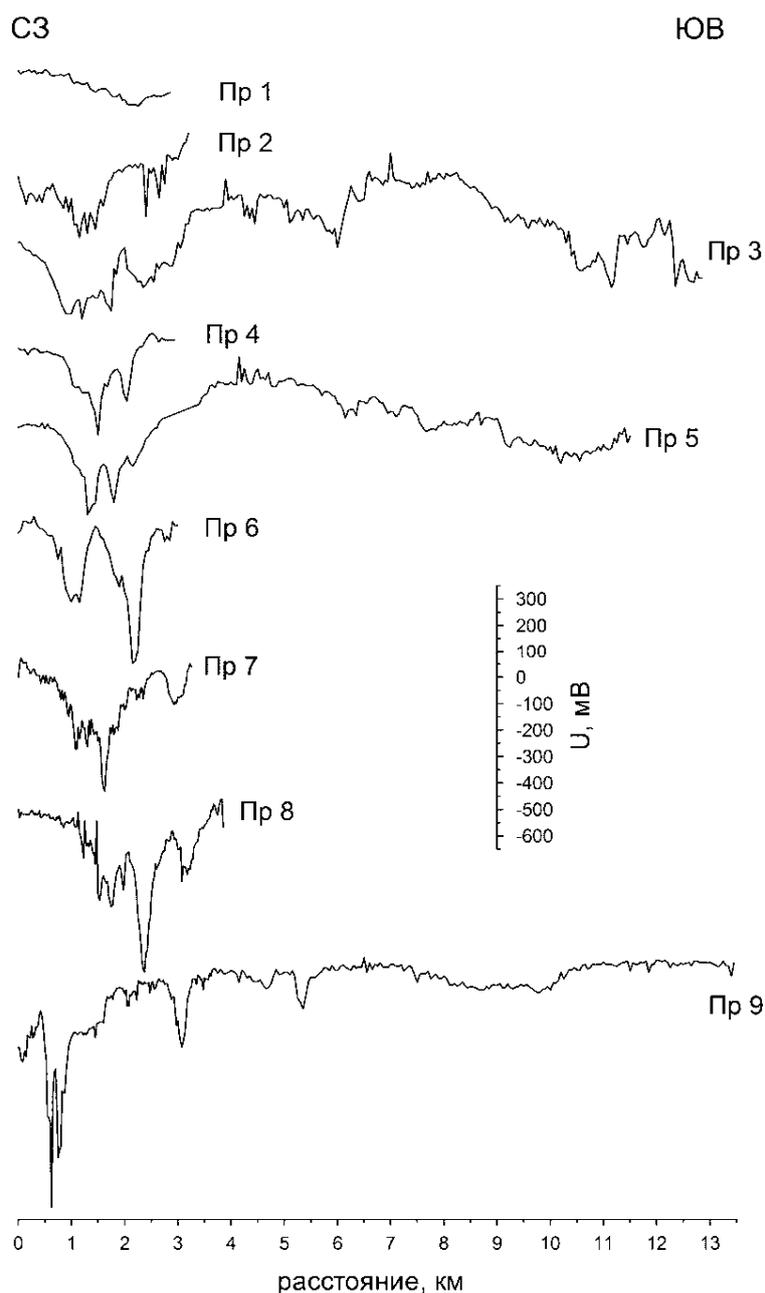


Рис. 2. Графики потенциала  $U$  естественного электрического поля вдоль региональных профилей 1 – 9 (см. рис. 1)

Что касается остальных (1, 2, 4, 6 – 9) профилей, здесь, как и на СЗ фланге профилей 3, 5, 9, наблюдаются интенсивные отрицательные аномалии, которые включают от одного (Пр1) до трех (Пр8) минимумов. Амплитуда аномалий оценивалась по разнице между максимальным и минимальным значением потенциала на профиле. По мере продвижения с северо-востока на юго-запад наблюдается увеличение амплитуды от  $\approx 130$  до  $\approx 850$  мВ.

## *Обсуждение результатов*

При сопоставлении результатов съемок ЕП с данными геологии обращает на себя внимание тот факт, что интенсивные отрицательные аномалии трассируют структуру, известную как Чернорудско-Баракчинская тектоническая зона (ЧБТЗ). Она представлена узкой (до 5 км) и протяженной (более 50 км) структурой северо-восточного простирания, прослеживающейся в северо-западной части Приольхонья в метаморфическом комплексе ольхонской серии рядом с границей краевого выступа фундамента Сибирской платформы. ЧБТЗ описана в работах [2, 3], как пример линейных зон глубинных разломов с проявлением парагенезисов, формировавшихся в восстановительных условиях. Время протекания эндогенных процессов (включая региональный метаморфизм) авторами указанных статей относится к периоду 500-350 млн лет назад. За пределами ЧБТЗ упомянутые признаки глубинной тектонической зоны отсутствуют.

При ответе на вопрос, почему ЧБТЗ выделяется интенсивными отрицательными аномалиями ЕП, необходимо отметить тот факт, что зона включает участки, обогащенные графитовой минерализацией, тогда как за ее пределами графит отсутствует. Широкое развитие здесь интенсивной графитовой минерализации авторы [2, 3] связывают с участием в эндогенных процессах глубинных восстановленных флюидов.

По данным электромагнитных зондирований в пределах изученной площади (см. рис. 1) Чернорудско-Баракчинская зона трассируется не только отрицательными аномалиями ЕП, но и очень низкими (от десятков до десятых долей Ом·м) удельными электрическими сопротивлениями [1]. Это свидетельствует о том, что аномалии ЕП создаются природным гальваническим элементом (или геобатареей).

Последняя представляет собой систему, образованную круто падающим проводником с электронной проводимостью, который располагается во вмещающих породах с ионной проводимостью [6, 9]. Электронный проводник и вмещающая его ионно-проводящая среда образуют гальванический элемент. Направленный вверх поток электронов в инертном проводнике возникает за счет разности окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на глубине и вблизи поверхности. Одновременно с движением электронов в проводнике во вмещающих породах перемещаются ионы, благодаря чему поддерживается электрическая нейтральность всей системы. Падение напряжения при протекании тока ионов во вмещающих проводник породах проявляется как потенциал естественного электрического поля.

Во многих случаях электронный проводник геобатарей представляет собой обогащенную графитом крутопадающую тектоническую зону или систему таких зон [6, 9]. Высокое содержание графита в породах не является достаточным условием для работы геобатарей. Необходимо, чтобы графитовая минерализация образовывала непрерывные проводящие системы [6, 9]. Формированию таких систем способствуют сдвиговые деформации [7].

Амплитуда, ширина и форма аномалий зависят от размеров, геометрии и удельной поверхности проводника, глубины его залегания, распределения  $E_h$  во вмещающих ионно-проводящих породах и кинетики электрохимических процессов [6, 9]. Решение обратной задачи метода ЕП с учетом перечисленных факторов делает возможным изучение окислительно-восстановительной обстановки на глубинах, недоступных для прямых измерений [1, 6, 9].

На участке работ (см. рис. 1) аномалии ЕП располагаются в контуре неотектонической структуры, известной как Мухор-Таловский блок [4]. Он представляет собой грабенообразный прогиб, протягивающийся вдоль Приморского разлома от р. Бугульдейки до залива Мухор и далее в Малое Море. На участке между р. Ангой и заливом Мухор прогиб известен также как Чернорудский грабен.

Поскольку, с одной стороны, Чернорудско-Баракчинская зона существовала до появления Чернорудского грабена, а с другой – положение этих структур в плане совпадает, возникает вопрос: почему наибольшая нарушенность и вертикальные перемещения, в результате которых образовался Чернорудский грабен, наблюдается в пределах древней Чернорудско-Баракчинской зоны?

Как уже упоминалось, породы зоны характеризуются высоким содержанием графита. Наличие в породах графита, особенно в виде непрерывной, связанной системы приводит к понижению их модуля сдвига. Результаты электроразведочных исследований со всей определенностью говорят о том, что в Чернорудско-Баракчинской зоне графит представлен такой системой. Поэтому при возникновении субвертикальных сдвиговых напряжений, которые были инициированы в кайнозое, именно здесь происходили и происходят перемещения большой амплитуды.

Известно, что напряжения сдвига способствуют преобразованию содержащих углерод флюидов в графит, образующий электрически-связанные системы с высокой электропроводностью [7], которые можно «увидеть» с помощью электроразведочных методов. Однако в литературе почему-то не нашел должного отражения тот факт, что максимальные сдвиговые деформации должны происходить там, где уже присутствует связанная в единую систему графитовая минерализация [8]. Очевидно, поскольку речь идет о формировании грабена, преимущественный интерес представляют круто падающие зоны с графитом, образующим протяженные, непрерывные системы. Такие зоны трассируются с помощью метода ЕП в Чернорудско-Баракчинской зоне глубинного разлома.

### *Заключение*

По данным метода ЕП региональная структура Приольхонья определяется наличием северо-западного и юго-восточного тектонических блоков. Северо-западный блок представлен Чернорудско-Баракчинской зоной, в пределах которой особенно интенсивно проявлены метаморфизм и тектоническая проработка пород ольхонской серии. Зона выделяется отрицательными аномалиями потенциала большой амплитуды. Юго-восточный блок по сравнению с северо-западным представляется намного более «спокойным» в тектоническом отношении.

Высокая электропроводность пород Чернорудско-Баракчинской зоны объясняется графитовой минерализацией, образующей непрерывную, электрически связанную систему. Высокое содержание графита привело к понижению модуля сдвига пород зоны. Поэтому под действием субвертикальных сдвиговых напряжений, инициированных в кайнозое, именно здесь происходили и происходят перемещения большой амплитуды. Очевидно, Маломорский рифт, включая Чернорудский грабен, является одним из проявлений этого процесса.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Летников Ф.А., Савельева В.Б., Заири Н.М. Эндогенные процессы и графитовая минерализация в Чернорудско-Баракчинской тектонической зоне (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. – 1997. – т. 38. – № 3. – С. 661-666.
3. Савельева В.Б. Углеродистые тектониты Чернорудско-Баракчинской зоны глубинного разлома (Западное Прибайкалье) // Записки Всероссийского минералогического общества, ч. СХХVII. – 1998. – № 3. – С.12-21.
4. Смолянский Е.Н., Гончар Г.А. Основные черты неотектоники Приольхонья // Геофизика на пороге третьего тысячелетия. Труды второй Байкальской молодежной школы-семинара. – Иркутск, Изд-во ИрГТУ, 2001 – с. 5-21.
5. Федоровский В. С., Склярёв Е. В. Ольхонский геодинамический полигон (Байкал): аэрокосмические карты высокого разрешения и геологические карты нового поколения // Геодинамика и тектонофизика. – 2010. – Vol. 1. – № 4. – С. 331-418.
6. Bigalke J., Grabner E.W. The Geobattery model – a contribution to large scale electrochemistry // *Electrochimica Acta*. – 1997. – Vol. 42. – Nos. 23-24. – P. 3443-3452.
7. Nover G., Stoll J.B., Gönna J. Promotion of graphite formation by tectonic stress – a laboratory experiment // *Geophys. J. Int.* – 2005. – Vol. 160. – P. 1059-1067.
8. Oohashi K., Hirose T., Shimamoto T. Graphite as a lubricating agent in fault zones: An insight from low- to high-velocity friction experiments on a mixed graphite-quartz gouge // *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. – 2013. – Vol. 118. – P. 2067-2084.
9. Stoll J., Bigalke J., Grabner E.W. Electrochemical modelling of self-potential anomalies // *Surveys in Geophysics*. – 1995. – Vol. 16. – P. 107-120.

© Н. О. Кожевников, 2023