

УДК 523.31-334.7+551.521.2+550.379

**КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ
ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ АНГАРСКОГО РАЗЛОМА —
КРУПНЕЙШЕГО РАЗРЫВНОГО НАРУШЕНИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА
И.К. Семинский^{1,2}, А.К. Семинский², А.В. Поспеев^{2,3}, Ф.Р. Рустамова⁴**

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 126а, Россия

²Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

³Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

⁴АО Урангео, ОСП «Бурятгеоцентр», 670000, Улан-Удэ, ул. Ленина, 55, Россия

Ангарский разлом имеет общую протяженность около 150 км и ориентирован перпендикулярно Байкальской впадине, являясь крупным разрывным нарушением сейсмически-активной рифтовой зоны. Высокая плотность населения в пределах области его влияния обуславливает актуальность изучения строения данной структуры. Однако Ангарский разлом практически не изучен методами геофизики. По результатам проведенного в 90-е годы прошлого века спецкартирования отмечается блоковое строение Ангарской разломной зоны, но не выделен единый сместитель. Вопрос его положения до сих пор остается дискуссионным.

С целью выявления сместителя Ангарского разлома и изучения его строения был использован комплекс геофизических методов, включавший в себя электроразведочную съемку методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ), эманиционную радоновую и пешеходную магниторазведочную съемки.

В результате комплексных геофизических исследований, направленных на изучение южной части Ангарского разлома, выявлены аномалии во всех измеряемых полях (магнитотеллурическом, эманиционном и магнитном). Наиболее явное проявление аномалеобразующего объекта, который авторы ассоциируют с погруженным сместителем Ангарского разлома, отразилось в результатах интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (область повышенных относительно вмещающей толщи значений УЭС = 8500 Ом·м) и радоновой эманиционной съемки (показатель объемной активности радона ≥ 20). В меньшей степени объект оказывает влияние на магнитное поле, что может свидетельствовать о его умеренных магнитных характеристиках или значительной глубине залегания. Выявленный аномалеобразующий объект тяготеет к левому берегу Иркутского водохранилища и находится в толще пород кристаллического фундамента, а в верхней части разреза перекрыт породами осадочного чехла.

Магнитотеллурическое зондирование, эманиционная радоновая съемка, магнитная съемка, Байкальский рифт, Ангарский разлом

**INTEGRATION OF GEOPHYSICAL METHODS TO STUDY DEEP STRUCTURE
OF THE ANGARA FAULT, THE LARGEST IN THE BAIKAL RIFT**

I.K. Seminsky, A.K. Seminsky, A.V. Pospeev, F.R. Rustamova

The Angara regional fault which is transversal to the Baikal basin totals about 150 km in length and ranks as a major strike-slip fault with the normal component in the seismically active rift zone. Given that its vicinities represent an area with high population density, the emphasis needs to be placed primarily on the study of its structural features. At this, the Angara fault has been poorly studied by geophysical methods. Results of the specialized mapping carried out in the 1990s revealed the block structure of the Angara fault zone, however without a reliable identification of the fault plane, which leaves its position still to be debatable. To establish the Angara fault plane and studying its deep structure, the integration of such geophysical methods as magnetotelluric (MT) sounding, radon emanation and fieldwalking magnetic surveys was required. Their application in the study of the deep structure of the southern parts of the Angara fault allowed revealing anomalies in all of the measured fields, accordingly. The anomaly-forming object, which the authors associate with the deep penetrated Angara fault plane, was expressed in the most distinct way by the magnetotelluric data (as a high-resistivity region (ER = 8500 Ohm·m) relative to the host rock) and radon emanation survey (radon volumetric activity index RAI ≥ 20). The fact that the magnetic field received only minor distortions from the object may indicate either moderate magnetic characteristics of the latter or a significant occurrence depth. The identified anomaly-forming object localized within the crystalline basement tends to be more sharply expressed in the left bank of the Irkutsk Reservoir, while in the upper part of the cross-section it is overprinted by rocks of the sedimentary cover.

Magnetotelluric sounding, radon emanation survey, magnetic survey, Baikal Rift, Angara fault

ВВЕДЕНИЕ

Байкальская рифтовая зона (БРЗ) — сложнейший структурный элемент литосферы планеты, располагающийся в области сочленения таких структур, как Сибирская и Амурская тектонические плиты. Зона представляет собой вытянутую на 2500 км область впадин и сопряженных с ними поднятий. Впадина озера Байкал — ключевой элемент рифтовой системы, ее кристаллическое ложе в глубоководной части располагается на глубине 6—7 км и перекрыто осадками кайнозойского возраста. Рифтообразование началось около 65 млн л. н. [Логачев, 2003; Мац, 2012] и продолжается по настоящее время, проявляясь, кроме прочего, повышенной сейсмичностью территории. Гипоцентры землетрясений, происходящих в пределах БРЗ, обычно локализуются на глубинах от 15 до 20 км, что в несколько раз выше положения гипоцентров землетрясений, приуроченных к краевым частям континентов. Сейсмические события с магнитудой более 5.5 происходят в пределах наиболее активной части БРЗ примерно один раз в 5—10 лет [Мельникова, 2014].

Крупнейший рифтовый разлом общей протяженностью около 150 км, ориентированный перпендикулярно Байкальской впадине, перекрыт водами р. Ангара, поэтому и носит одноименное название. Ангарский разлом — древний докайнозойский элемент земной коры Прибайкалья, активизированный в процессе рифтогенеза [Levi et al., 1997]. Разлом определяется как правосторонний сдвиговзброс [Семинский и др., 2001]. Осадочный чехол в районе Ангарского разлома сложен толщами юрского, кембрийского и неопротерозойского возрастов, залегающими на нижеархейских и нижнепротерозойских породах кристаллического фундамента.

Зона динамического влияния описываемой тектонической структуры характеризуется сравнительно низкой сейсмической активностью, что может свидетельствовать о нахождении разлома на раннедизъюнктивной стадии развития [Семинский и др., 2001]. За последние два десятилетия на данной территории было зафиксировано всего 12 сейсмических событий. Очаги данных землетрясений располагались в юго-восточном сегменте дизъюнктива и в подавляющем большинстве находились вблизи места его сочленения с Обручевским разломом. Сейсмичность вдоль Ангарского разлома снижается по мере удаления от геодинамически-активной Байкальской рифтовой зоны в глубь Сибирской плиты, однако исключать вероятность возникновения сильных землетрясений в его наиболее активной юго-восточной части нельзя.

Вблизи Ангарского разлома располагаются такие города, как Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское, Черемхово, Свирск и др. общей численностью населения около полутора миллионов человек. Обеспечение сейсмобезопасности территории с высокой плотностью населения вблизи наиболее активного сегмента крупнейшего разлома Байкальской рифтовой зоны обуславливает актуальность проведенных исследований.

ПРОБЛЕМАТИКА

В соответствии с устоявшимися представлениями [Structural geology..., 1992; Архипов и др., 1996; Общие вопросы..., 2000; Тектоника..., 2001] краевые части платформ в значительной степени охватываются деструктивными процессами, происходящими в смежных подвижных поясах. В формировании разломной структуры юга Иркутского амфитеатра играли силы тангенциального сжатия, действовавшие сначала (поздний мезозой) со стороны Байкальской, а затем (мезокайнозой) Саянской ветвей Саяно-Байкальского подвижного пояса. В условиях вертикальной расслоенности осадочного чехла они привели к формированию плитообразных блоков, ограниченных по горизонтали сдвигами, а по вертикали послынными срывами или надвигами [Семинский и др., 2005].

Что касается детального строения Ангарского разлома, то до настоящего времени дискуссионным является вопрос наличия сместителя. На основе результатов предыдущих исследований [Семинский и др., 2001] можно сформулировать три предположения о строении разлома:

– его обнажения перекрыты водами Ангары и поверхностными отложениями (задернованность берегов и т.п.);

– он выражен только в кристаллическом фундаменте и, возможно, в подъяурских осадках;

– сместитель разлома явно не выражен ни в осадочных, ни в кристаллических породах.

Несмотря на очевидную актуальность исследований специфики разломной структуры земной коры в районе Ангарского разлома, до настоящего времени данная территория покрыта только средне-масштабными (1 : 20 000) гравиметрической и аэромагнитной съемками, что обуславливает необходимость выполнения специализированных детальных геофизических работ.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью изучения структуры Ангарского разлома и его глубинного строения был применен комплекс геофизических работ, включавший в себя магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), эманацион-

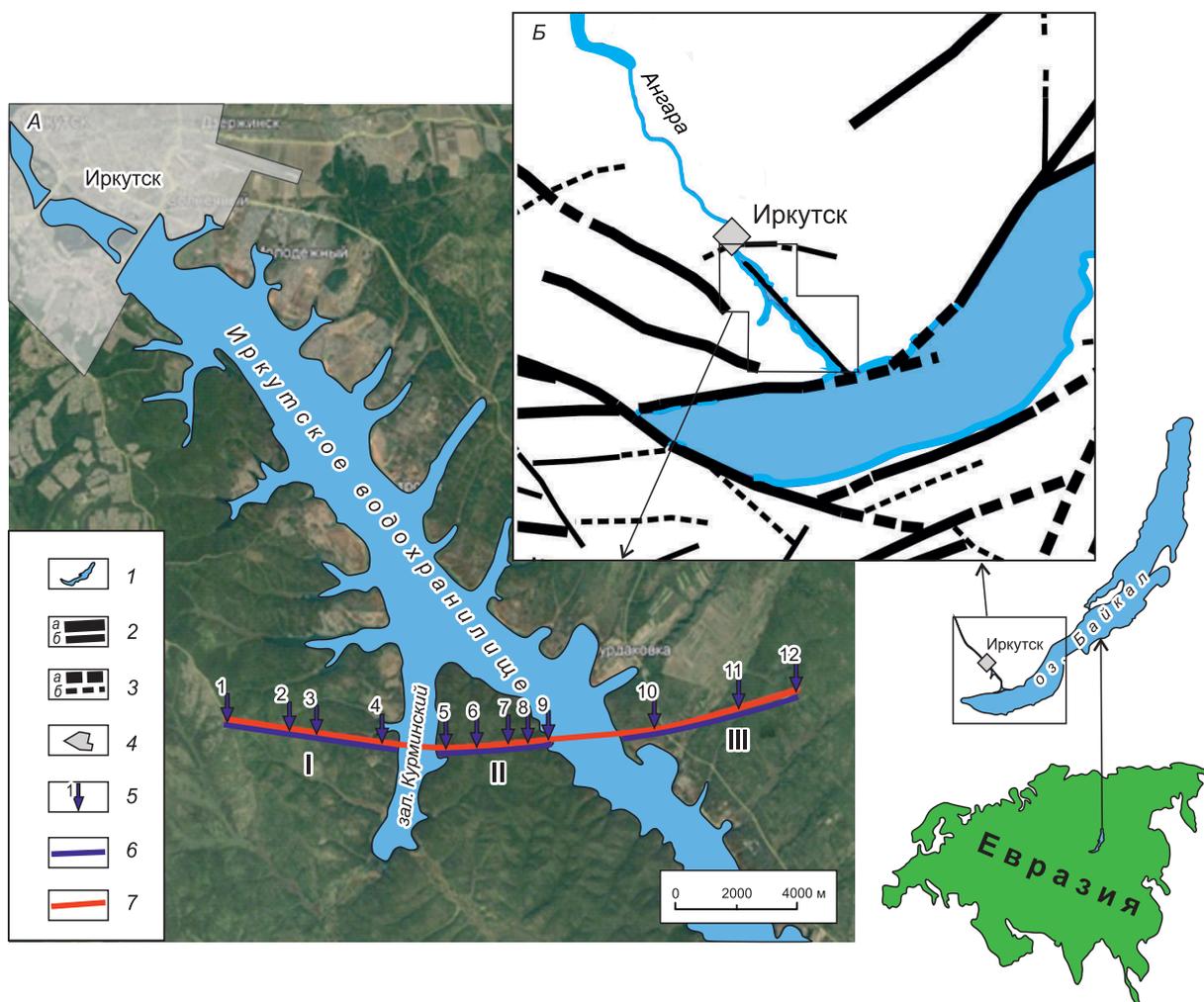


Рис. 1. Положение профиля исследования (А); дизъюнктивные структуры юга Байкальской рифтовой зоны [Семинский, 2009] (Б).

1 — водные объекты; 2, 3 — генеральные (а) и региональные (б) разломы, отчетливо (2) и менее отчетливо (3) проявленные в рельефе; 4 — граница г. Иркутск; 5 — точки установки станций магнитотеллурического зондирования; б — профили эманацционной съемки; 7 — профиль магниторазведочной съемки. I—III — сегменты профиля.

ную радоновую и пешеходную магниторазведочную съемки. Данный комплекс является оптимальным при проведении подобных исследований, так как при общей кондиционности получаемых результатов предлагаемые методы характеризуются высокой производительностью, возможностью проведения исследований на территориях, доступных только для пешеходной съемки, а также оптимальным соотношением материальных и трудовых затрат.

Работы производились по профилю протяженностью в 21 км субширотного простирания (вкрест исследуемой структуре) (рис. 1). Выбор расположения профиля обусловлен следующими факторами: во-первых, необходимость сосредоточить исследования на наиболее активном юго-восточном сегменте исследуемого объекта; во-вторых, снижение влияния Обручевского разлома на результаты геофизических работ; в-третьих, минимизация воздействия урбанизированных территорий на результаты магнитной съемки; в-четвертых, доступность профиля для пешеходных полевых исследований.

МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

В качестве основного метода исследования глубинного строения Ангарского разлома был выбран метод МТЗ, ранее показавший свою эффективность в изучении разломно-блоковых структур Байкальского рифта [Мороз, Мороз, 2012; Эпов и др., 2012; Семинский и др., 2013; Поспеев и др., 2021]. Однако следует отметить существенный дефицит данных глубинной электроразведки исследуемого региона, полученных посредством современных цифровых станций.

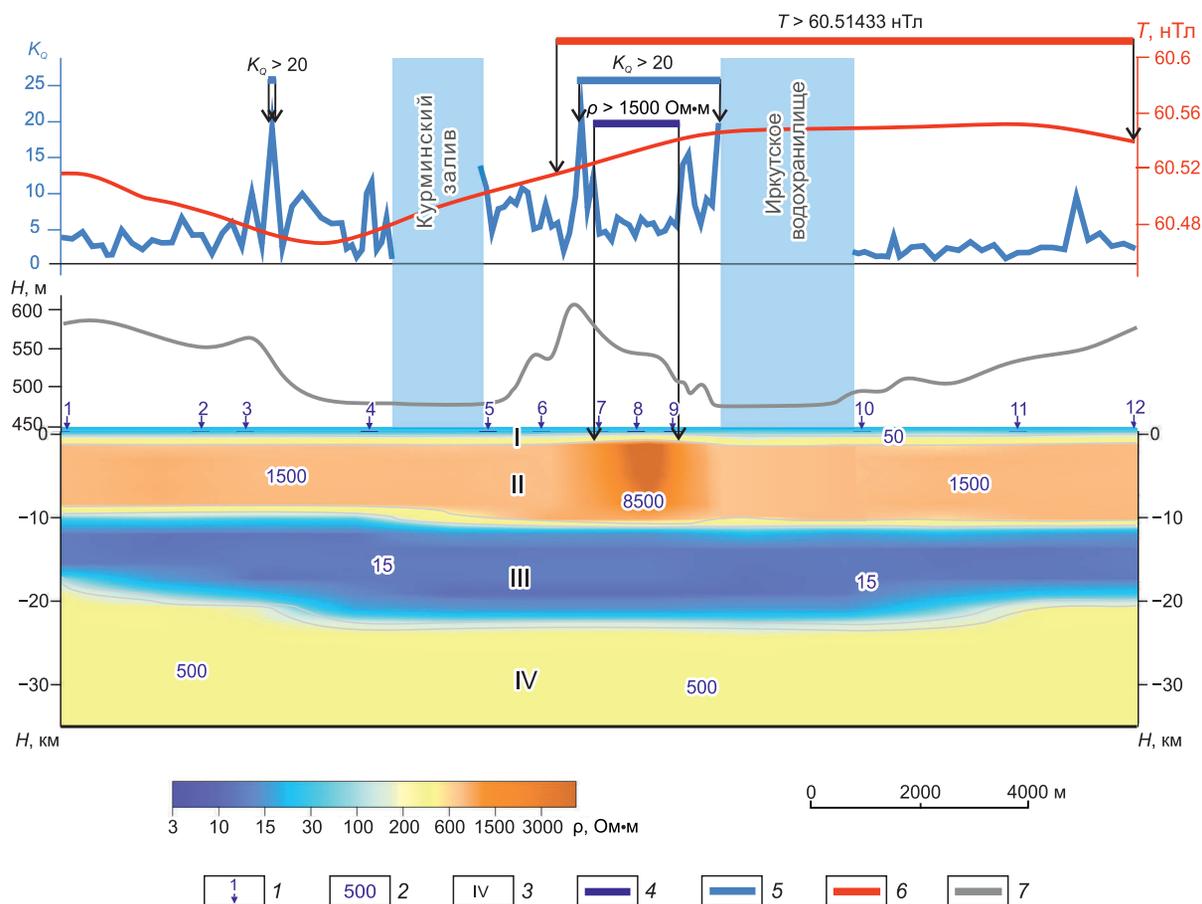


Рис. 2. Результаты геофизических исследований вдоль профиля.

1 — пункты МТЗ и их номера; 2 — значения УЭС (Ом·м); 3 — номер геоэлектрического слоя; 4 — область аномальных значений геоэлектрических характеристик; 5 — области аномальных значений показателя объемной активности радона; 6 — область аномальных значений магнитного поля; 7 — профиль рельефа.

Точки МТЗ обработаны с шагом между наблюдениями от 1.0 до 3.5 км (см. рис. 1) с применением канадских цифровых станций Phoenix Geophysics MTU-5A. На каждом пункте зондирования в течение 30 ч регистрировались четыре компонента электромагнитного поля Земли в диапазоне частот от 0.0001 до 300 Гц.

Обработка полевых материалов проводилась в программных комплексах SSMT-2000 (Phoenix Geophysics ltd) и ЭПИ-КИТ (ООО «Северо-Запад»). Для решения обратной задачи электроразведки использовался программный комплекс LineInterMT (разработка А.В. Поспеева). В основу логики интерпретации положен принцип выбора квазипродольных по отношению к геоэлектрическим неоднородностям кривых МТЗ, причем дополнительная коррекция их гальванических влияний производится путем нормализации полиномом заданного порядка. Инверсия кривых осуществляется в одномерном варианте, а для уточнения региональных влияний неоднородностей применялась программа 2D-моделирования И.Л. Варданянц [1978].

К сложностям, сопровождающим работы МТЗ, результаты которых описываются в настоящей статье, можно отнести минимум одиннадцатилетнего цикла солнечной активности (источника поля), а также незначительное осложнение электроразведочных данных влиянием железной дороги. Как следствие, указанные факторы ведут к снижению отношения сигнал/помеха, проявляющегося как дисперсия регистрируемого сигнала на поздних периодах измерения.

В результате интерпретации данных МТЗ получен разрез (рис. 2), на котором выделяются четыре геоэлектрических горизонта (I—IV), различающихся по удельному электрическому сопротивлению и толщине:

I — осадочный чехол мощностью 1 км и удельным электрическим сопротивлением (УЭС) около 50 Ом·м;

II — кристаллический фундамент мощностью 9 км и УЭС около 1500 Ом·м;

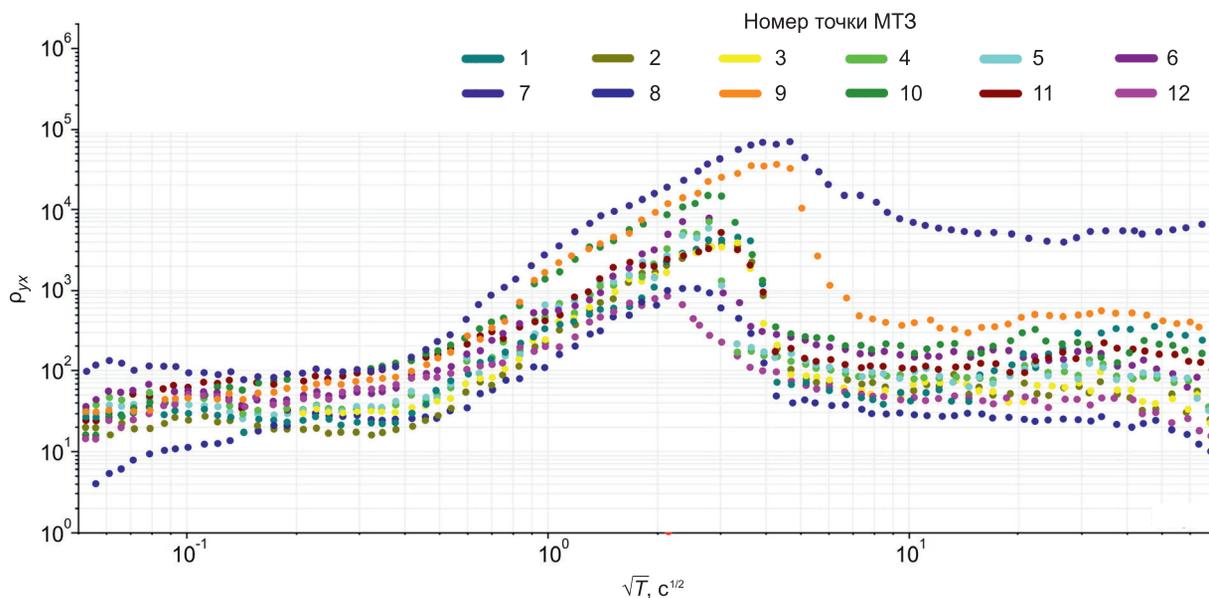


Рис. 3. Поперечные кривые МТЗ ρ_{xy} , полученные на всех ПК профиля исследования.

III — литосферный проводящий слой мощностью около 20 км с УЭС около 15 Ом·м;

IV — относительно высокоомный (500 Ом·м) слой, ассоциируемый с литифицированными породами земной коры.

В центральной части профиля (ПК № 8, 9), в районе предполагаемого сместителя Ангарского разлома выделяется высокоомная (УЭС около 8500 Ом·м) аномальная зона в кристаллическом фундаменте, ее ширина составляет около 1 км. Не исключено, что она связана с наличием в теле фундамента субвертикального магматического интрузива [Матюков, Баталева, 2012]. Наличие высокоомной аномалии отчетливо проявляется на поперечных кривых МТЗ (рис. 3).

РАДОНОВАЯ СЪЕМКА

В качестве дополнительного метода повышения информативности комплекса при картировании разломов, скрытых в четвертичных отложениях, использовалась эманационная радоновая съемка.

Согласно существующим представлениям, разломы отчетливо проявляются в эманационном поле в виде радоновых аномалий. В зависимости от разнородных факторов, таких как современная активность разлома, его внутреннее строение, обводненность и газопроницаемость перекрывающих его отложений, форма наблюдаемой аномалии может быть простой [Ioannides et al., 2003; Moussa, El Arabi, 2003; Font et al., 2008] или сложной [King et al., 1993; Toutain, Baubron, 1999; Inceöz et al., 2006; Wiersberg, Erzinger, 2008; Richon et al., 2010]. Наиболее современные результаты эманационных исследований, базирующиеся на широком тектонофизическом представлении о «разломных зонах» [Семинский, 2003], свидетельствуют также о значительном влиянии на форму радоновой аномалии таких факторов, как наличие заполнителя в самом разломе и сосредоточенность или рассредоточенность главного сместителя [Семинский и др., 2014].

Вдоль исследуемого профиля замеры объемной активности радона (Q) осуществлялись с применением измерительного комплекса «Камера-01», шаг между точками наблюдения составлял 100 м. Комплект оборудования включал в себя: блок детектирования «БДБ-13»; адсорбционные колонки (адсорберы); персональный компьютер, оснащенный программным обеспечением «Радон». Для определения параметра Q на точке измерения адсорбер (заполненный активированным углем) опускали в грунт на несколько сантиметров и накрывали крышкой, препятствующей выходу радона в атмосферу и защищающей адсорбер от переувлажнения. Процесс адсорбции радона на поверхности угля длился двое суток, после чего на измерительном оборудовании производился замер средней за время адсорбции величины Q . Блок детектирования бета-излучения типа БДБ-13 характеризуется чувствительностью $0.27 \pm 0.03 \text{ Бк}^{-1} \text{ с}^{-1}$ и пределом относительной погрешности $\pm 30 \%$.

Выбранная методика замеров объемной активности радона в почвенном воздухе обладает рядом преимуществ, определяющих ее эффективность для данного исследования. К ним относятся: высокая производительность (сорбционный метод позволяет устанавливать до ста адсорберов в сутки), а также

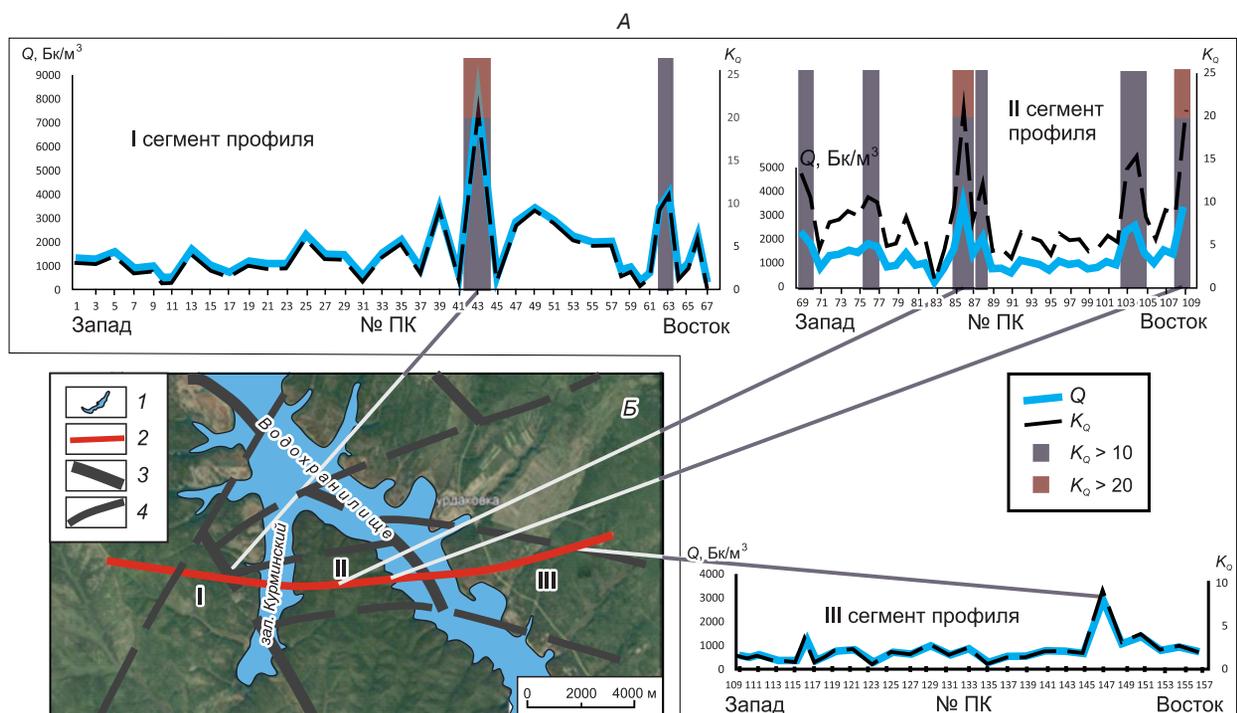


Рис. 4. Графики флуктуаций объемной активности почвенного радона (Q , Бк/м³) и показателя радоновой активности (K_Q) (А) вдоль профиля (Б):

1 — водные объекты; 2 — положение профиля; 3, 4 — разрывы, имеющие северо-западную (3) или отличную от таковой (4) ориентировку в плане [Семинский и др., 2005].

защищенность результата измерения от влияния краткосрочных экзо- и эндогенных факторов (результат замера показывает концентрацию сорбированного радона за двое суток). Наряду с сильными сторонами данной методики следует отметить и некоторые сложности, связанные с особенностями проведения пробоотбора: высокая гидрофобность активированного угля, что накладывает существенные ограничения на применение сорбционного метода в дождливую погоду и невозможность проведения замеров в почвах, насыщенных грунтовыми водами. Кроме того, по понятным причинам исследования радиоактивности невозможны при пересечении профилем водных преград. Результаты эманационной съемки представлены на рис. 4.

Флуктуации радона в пределах сегментов профиля составили (Бк/м³):

I сегмент — $344 \leq Q \leq 8060$, $Q_{\text{фон}} = 1390$, $Q_{\text{ср}} = 1762$;

II сегмент — $166 \leq Q \leq 3510$, $Q_{\text{фон}} = 1060$, $Q_{\text{ср}} = 1331$;

III сегмент — $302 \leq Q \leq 2950$, $Q_{\text{фон}} = 733$, $Q_{\text{ср}} = 810$.

Предварительный анализ результатов эманационной съемки позволяет сделать вывод, что западное крыло Ангарской разломной зоны в месте расположения профиля является более активным. Прерывистость наблюдаемых радоновых аномалий, выраженная в наличии участков с низкими значениями Q в пределах разломной зоны, может быть объяснена двумя главными факторами: во-первых, наличием в главном сместителе какого-либо заполнителя (глинки трения, тонкодисперсных продуктов выветривания или интрузии) практически непроницаемого для глубинных газов, а во-вторых, рассредоточенностью исследуемой разломной зоны, характеризующейся наличием системы вторичных разрывов, между которыми присутствуют относительно ненарушенные слабопроницаемые блоки. Заметные отличия параметра $Q_{\text{фон}}$ различных сегментов профиля могут быть объяснены экзогенными факторами, интенсивность влияния которых, учитывая недельные перерывы в полевых работах, могла значительно отличаться. Для сопоставления радоновой активности сегментов профиля в пределах одной выборки предлагается отойти от классического параметра Q и использовать относительный показатель K_Q , равный отношению $Q/Q_{\text{мин}}$. Расчет данного показателя производился отдельно для каждого сегмента профиля (см. рис. 4, А). Результаты расчетов позволили выявить в пределах существующих аномалий несколько отрезков сверхвысокой геохимической активности, а в трех точках показатель K_Q превысил значение 20, что является пределом существующей градации [Семинский и др., 2014]. Первая такая

точка расположена в двух километрах западнее берега Курминского залива, а вторая и третья находятся на мысу, разделяющем Курминский залив и Иркутское водохранилище, тяготея к левому берегу водохранилища. Подобное расположение геохимически активных точек в пределах профиля объясняется, вероятнее всего, их приуроченностью к разломным сместителям. В первом случае такая точка находится в непосредственной близости от разрывного нарушения, выступающего в качестве оперяющего для Ангарского разлома (см. рис. 4, Б). Во втором и третьем случаях близкое расположение точек друг к другу позволяет выдвинуть предположение, что обе они отражают положение на поверхности одного крупного сместителя Ангарского разлома, а рассредоточенность аномалии обусловлена, вероятнее всего, наличием какого-либо заполнителя, что подтверждают результаты интерпретации данных магнитотеллурического зондирования.

Приуроченность сместителя разлома к левому берегу Иркутского водохранилища также косвенно подтверждается результатами площадного радиометрического опробования водоисточников в пределах Иркутска [Семинский, Семинский, 2018], согласно которым повышенные концентрации радона были зафиксированы в источниках подземных вод, приуроченных к левому берегу Ангары.

МАГНИТОРАЗВЕДОЧНАЯ СЪЕМКА

Потенциал получения дополнительной информации о скрытом сместителе Ангарского разлома посредством магнитной съемки кроется в аномалеобразующих характеристиках магматического интрузива, залегание которого ожидается в зоне нарушений первого порядка исследуемой зоны тектонических дислокаций и косвенно подтверждено данными магнитотеллурической и радоновой съемок [Филиппович, Золотая, 2021].

В качестве измерительной аппаратуры напряженности магнитного поля был использован протонный магнитометр GSM-19 (GEM System ltd). Прибор обладает разрешением 0.01 нТл и абсолютной погрешностью 0.2 нТл за границей полного диапазона температур. Чувствительность GSM-19 достигает 0.02 нТл, диапазон 20 000—100 000 нТл.

Шаг по профилю между измерениями магнитной индукции составлял 25 м, на каждом ПК производилось три замера, среднее арифметическое из которых принималось в работу. При обработке данных магнитной съемки учитывалась амплитуда вариаций и время замеров для введения поправок и расчета значений напряженности магнитного поля на всех пунктах наблюдения. Для измерений магнитных вариаций были использованы данные геомагнитной обсерватории векового хода, расположенной в пос. Патроны, в 10 км от района работ и в 13 км от г. Иркутск. Протонный магнитометр, идентичный описанному выше, установлен стационарно и производит непрерывную регистрацию геомагнитного поля.

В ходе съемки установлено, что аномальное магнитное поле в районе работ выдержано и изменяется плавно и последовательно. Выделены две области пиковых значений поля — в западной части (понижение до 60.49 нТл) и в центральной, переходящей в восточную (повышение до 60.55 нТл) частях исследуемого профиля. По наблюдаемому аномальному магнитному полю сложно однозначно сказать о положении магнитовозмущающих объектов, но сделать предположение возможно. Аномалия пониженных значений магнитных характеристик в западной части профиля может быть связана с наличием близлежащего разломного узла (см. рис. 2). Повышение значений магнитной индукции наблюдается в центральной и восточной частях профиля, т. е. в районе, где предположительно располагается погруженный сместитель Ангарского разлома. Отсутствие резких изменений графика магнитных свойств территории исследования может свидетельствовать о глубокопогруженном аномальном объекте.

В пользу правильности толкования результатов измерений говорят и данные независимого от представленных исследований синтетического моделирования магнитовариационных наблюдений, проведенного сотрудниками ИФЗ РАН на базе наблюдений геомагнитных обсерваторий. На основании моделирования подтверждается повышенное удельное электрическое сопротивление Ангарского разлома [Орехова и др., 2021].

ВЫВОДЫ

В результате комплексных геофизических исследований, направленных на изучение строения южной части Ангарского разлома, выявлены аномалии во всех измеряемых полях (магнитотеллурическом, эманационном и магнитном). Наиболее явное проявление аномалеобразующего объекта, который авторы ассоциируют с погруженным сместителем Ангарского разлома, отразилось в результатах интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (область повышенных относительно вмещающей толщи значений $УЭС = 8500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и радоновой эманационной съемки (показатель объемной активности радона ≥ 20). В меньшей степени объект оказывает влияние на магнитное поле, что наиболее вероятно говорит о его умеренных магнитных характеристиках и погруженности в разрезе.

Выявленный аномалеобразующий объект тяготеет к левому берегу Иркутского водохранилища и проявляется в породах кристаллического фундамента, перекрываясь толщей осадочных отложений, что частично подтверждает второе из выдвинутых на основе работ [Семинский и др., 2001, 2005] предположений о строении разлома.

Также в результате проведенного исследования отмечается эффективность комплексирования результатов электроразведки методом магнитотеллурического зондирования и эманационной радоновой съемки применительно к изучению разрывных нарушений, имеющих сложное внутреннее строение или характеризующихся низкой доступностью для исследования. Иными словами, применительно к структурно-тектоническим исследованиям на территории Байкальской рифтовой зоны комплекс электроразведочной и радоновой съемок предлагается причислить к базовым геофизическим методам.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278) и гранта № 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории») с использованием оборудования и инфраструктуры уникальной научной установки «Южно-Байкальский инструментальный комплекс для мониторинга опасных геодинамических процессов» Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН по гранту № 075-15-2021-682.

ЛИТЕРАТУРА

Архипов Ю.В., Высоцкий К.А., Калинин А.Т. О деформациях платформенного чехла Волго-Уральской области // Геотектоника, 1996, № 5, с. 55—65.

Варданянц И.Л. Расчеты методом сеток магнитотеллурических полей над двумерно-неоднородными средами. Ч. 1 // Вопросы геофизики, 1978, № 27, с. 36—40.

Варданянц И.Л. Расчеты методом сеток магнитотеллурических полей над двумерно-неоднородными средами. Ч. 2 // Вопросы геофизики, 1978, № 28, с. 155—163.

Матюков В.Е., Баталева Е.А. Возможности метода магнитотеллурического зондирования при поиске и разведке полезных ископаемых // Наука и новые технологии, 2012, № 8, с. 41—44.

Мац В.Д. Возраст и геодинамическая природа осадочного выполнения Байкальского рифта // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (9), с. 1219—1244.

Мельникова В.И., Гилева Н.А., Радзиминович Я.Б., Масальский О.К. О возможности возникновения сильных землетрясений в Западном Забайкалье // Геофизические методы исследования земной коры, 2014, с. 194—197.

Мороз Ю.Ф., Мороз Т.А. Глубинный геоэлектрический разрез Байкальского рифта // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2012, с. 114—126.

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

Общие вопросы тектоники. Тектоника России. Материалы XXXIII тектонического совещания / Ред. Ю.В. Карякин. М., ГЕОС, 2000, 648 с.

Орехова Д.А., Кругляков М.С., Коротаев С.М., Буднев Н.М., Кириаков В.Х., Миргазов Р.Р. О возможности выбора между конкурирующими моделями Байкальского рифта по магнитовариационным наблюдениям в районе глубоководного мониторинга E_z // Материалы VIII Всероссийской школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна (ЭМЗ-2021). М., ИФЗ РАН, 2021, с. 175—179.

Поспеев А.В., Семинский И.К., Немцева Д.Б. Первые результаты магнитотеллурических зондирований при картировании рифейских отложений Прибайкальского краевого прогиба // Геодинамика и тектонофизика, 2021, т. 12, № S3, с. 769—775.

Семинский А.К., Семинский К.Ж. Мониторинг радона и физико-химических характеристик подземных вод Южного Прибайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле, 2018, т. 26, с. 84—98, <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.26.84>.

Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003, 244 с.

Семинский К.Ж. Главные факторы развития впадин и разломов Байкальской рифтовой зоны: тектонофизический анализ // Геотектоника, 2009, № 6, с. 1—17.

Семинский К.Ж., Гладков А.С., Лунина О.В. Тектонофизическая характеристика зоны Ангарского разлома (юг Сибирской платформы) // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (8), с. 1260—1270.

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

Семинаский К.Ж., Кожевников Н.О., Черемных А.В., Поспеева Е.В., Бобров А.А., Оленченко В.В., Тугарина М.А., Потапов В.В., Зарипов Р.М., Черемных А.С. Межблоковые зоны в земной коре юга Восточной Сибири: тектонофизическая интерпретация геолого-геофизических данных // Геодинамика и тектонофизика, 2013, т. 4, № 3, с. 203—278.

Семинаский К.Ж., Бобров А.А., Дэмбэрэл С. Вариации объемной активности радона в разломных зонах земной коры: пространственные особенности // Физика Земли, 2014, № 6, с. 80—98, doi: 10.7868/S0002333714060088.

Филиппович А.В., Золотая Л.А. Анализ ретроспективных геолого-геофизических материалов при изучении магматических пород бодракского субвулканического комплекса Крыма // Геофизика, 2021, № 6, с. 125—133.

Тектоника неогей: общие и региональные аспекты. Материалы XXXIV тектонического совещания. М., ГЕОС, 2001, т. 1, 400 с.; т. 2, 358 с.

Эпов М.И., Поспеева Е.В., Витте Л.В. Особенности состава и строения земной коры краевой части Сибирского кратона (в зоне влияния рифтогенных процессов) по данным магнитотеллурических зондирований // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (3), с. 380—398.

Font L., Baixeras C., Moreno V., Bach J. Soil radon levels across the Amer fault // Radiat. Meas., 2008, v. 43, p. S319—S323.

Inceöz M., Baykara O., Aksoy E., Dogru M. Measurements of soil gas radon in active fault systems: a case study along the North and East Anatolian fault systems in Turkey // Radiat. Meas., 2006, v. 41, p. 349—353.

Ioannides K., Papachristodoulou C., Stamoulis K., Karamanis D., Pavlides S., Chatzipetros A., Karakala E. Soil gas radon: a tool for exploring active fault zones // Appl. Radiat. Isot., 2003, v. 59, p. 205—213.

King C.Y., Zhang W., King B.S. Radon anomalies on three kinds of faults in California // Pure Appl. Geophys., 1993, v. 141 (1), p. 111—124.

Levi K.G., Miroshnichenko A.I., San'kov V.A., Babushkin S.M., Larkin G.V., Badardinov A.A., Wong H.K., Colman S., Delvaux D. Active faults of the Baikal depression // Bull. Centres Rech. Elf Explor. Prod., 1997, v. 21 (2), p. 399—434.

Moussa M.M., El Arabi A.M. Soil radon survey for tracing active fault: a case study along QenaSafaga road, Eastern Desert, Egypt // Radiat. Meas., 2003, v. 37 (3), p. 211—216.

Richon P., Klinger Y., Tapponnier P., Li C., Van Der Woerd J., Perrier F. Measuring radon flux across active faults: relevance of excavating and possibility of satellite discharges // Radiat. Meas., 2010, v. 45, p. 211—218.

Structural geology of fold and thrust belts / Eds. S. Mitra, G.W. Fisher. London, The Johns Hopkins Press Ltd., 1992, 255 p.

Toutain J.P., Baubron J.C. Gas geochemistry and seismotectonics: a review // Tectonophysics, 1999, v. 304, p. 1—27.

Wiersberg N., Erzinger J. Origin and spatial distribution of gas at seismogenic depths of the San Andreas Fault from drill-mud gas analysis // Appl. Geochem., 2008, v. 23, p. 1675—1690.