

Детальные геофизические исследования Илыч-Чикшинской системы разломов (Ижма-Печорская моноклираль)

Ю. Е. Езимова, В. В. Удоратин, А. Ш. Магомедова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54,
e-mail: ezimova89@mail.ru

Поступила в редакцию 03.03.2022 г., принята к печати 11.04.2022 г.

Объект исследования. В статье рассматривается Илыч-Чикшинская система разломов, участвующая в строении Ижма-Печорской моноклинали. Илыч-Чикшинский глубинный разлом является южной ветвью Припечорской системы, разделяющей два геоблока – Тиманский и Печороморско-Большеземельский. **Материалы и методы.** Для изучения разломов выполнялись профильные детальные магнитометрическая и радоновая съемки, а также использовались фондовые сейсморазведочные материалы и карты геопотенциальных полей различных масштабов. Измерения объемной активности радона проводились при помощи портативных радиометров РРА-01М-01 и Альфа-рад плюс. Для магнитометрических наблюдений использовался магнитометр МИНИМАГ. **Результаты.** Радоновая съемка по двум профилям, проходившая в разные годы, показала, что разломы Илыч-Чикшинской системы не имеют явного отображения в поле радона. Объемная активность радона в разные периоды времени изменялась в широком диапазоне – от 50–200 до 200–600 Бк/м³, что указывает на отсутствие глубинного постоянного источника радона. По материалам магнитометрической съемки установлено, что Илыч-Чикшинский разлом на фоне спокойного отрицательного поля соответствует градиентной зоне шириной 4 км. **Заключение.** Наличие низкоинтенсивных прерывистых радоновых аномалий вдоль линии профилей связано с повышенными концентрациями материнских радионуклидов уранового ряда в почве и приповерхностных горных породах. Поскольку породы фундамента и осадочного чехла являются немагнитными, локальная магнитная аномалия свидетельствует о присутствии интрузий основного и ультраосновного состава в зоне Илыч-Чикшинского разлома.

Ключевые слова: Припечорская система разломов, Илыч-Чикшинская система разломов, радоновая съемка, объемная активность радона, магнитометрическая съемка

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках темы НИР. Регистрационный номер в системе ЕГИСУ НИОКТР – 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085

Detailed geophysical studies of the Ilych-Chikshinskaya fault system (Izhma-Pechora Monocline)

Yuliya E. Ezimova, Valerii V. Udoratin, Aleksandra Sh. Magomedova

Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, 54 Pervomayskaya st., 167982 Syktyvkar, Russia,
e-mail: ezimova89@mail.ru

Received 03.03.2022, accepted 11.04.2022

Research subject. The Ilych-Chikshinskaya fault system involved in the structure of the Izhma-Pechora monocline. The Ilych-Chikshinskii deep fault is the southern branch of the Pripechorskaya fault system, which separates the Timansky and Pechoromorsko-Bolshezemelsky geoblocks. **Materials and methods.** The data obtained during profile detailed magneto-

Для цитирования: Езимова Ю.Е., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш. (2022) Детальные геофизические исследования Илыч-Чикшинской системы разломов (Ижма-Печорская моноклираль). *Литосфера*, **22**(4), 536–547. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-4-536-547>

For citation: Ezimova Yu.E., Udoratin V.V., Magomedova A.Sh. (2022) Detailed geophysical studies of the Ilych-Chikshinskaya fault system (Izhma-Pechora Monocline). *Lithosphere (Russia)*, **22**(4), 536–547. (In Russ.) <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-4-536-547>

metric and radon surveys, the materials of fund seismic surveys, and the maps of gravitational and magnetic fields of various scales were used. Measurements of the volume radon activity were carried out using portable radiometers PPA-01M-01 and Alfarad plus. Magnetometric observations were carried out with a MINIMAG magnetometer. *Results.* Radon surveys on two profiles were conducted in different years. According to the obtained results, the faults of the Ilych-Chikshinskaya system have no obvious manifestation in the radon field. The volume radon activity in different periods varied across a wide range from 50–200 to 200–600 Bq/m³, which indicates the absence of a constant deep source of radon. According to the data of detailed magnetometric surveys, the Ilych-Chikshinskii fault, against the background of a calm negative field, corresponds to a gradient zone of 4 km wide. *Conclusion.* The presence of low-intensity discontinuous radon anomalies along the line of profiles is associated with increased concentrations of parent uranium radionuclides in the soil and near-surface rocks. Since the rocks of the basement and sedimentary cover are nonmagnetic, the local magnetic anomaly indicates the presence of mafic and ultramafic intrusions in the zone of the Ilych-Chikshinskii fault.

Keywords: Pripechorskaya fault system, Ilych-Chikshinskaya fault system, radon survey, volume radon activity, magnetometric survey

Funding information

The work was carried out in the framework of the research topic. Registration number in the EGISSU R&D system – 1021062211107-6-1.5.6; FUUU-2022-0085

ВВЕДЕНИЕ

Изучение глубинных разломов литосферы важно при решении широкого круга задач, связанных с геологическим, тектоническим строением и магматизмом. Глубинные разломы являются не просто границами крупных тектонических блоков, но и участками развития в различной степени раздробленных, перекристаллизованных пород, а также зонами локализации интенсивных процессов, обуславливающих транспортировку энергии и вещества из мантии и нижних слоев коры в верхние горизонты, где происходят отложение и концентрация полезных ископаемых (Гарецкий и др., 2005). Для платформенных областей выделение разломов приобретает большое значение при исследовании строения глубокозалегающих отложений нефтегазоносных провинций, включая основание осадочного бассейна (Дружинин и др., 2018).

При составлении карт тектонического районирования Русской плиты и Тимано-Североуральского региона (В.А. Дедеев, А.С. Перфильев, В.Н. Пучков, М.В. Фишман, 1969 г.) по материалам геолого-геофизических исследований выделена Припечорская система глубинных разломов рифейского заложения. Она разделяет байкальский складчатый фундамент на два крупнейших геоблока – Тиманский и Печороморско-Большеземельский, различающиеся по вещественному составу и характеру магматизма (Довжикова, 2007; Белякова и др., 2008; Прищепа и др., 2013).

В ходе изучения разломной тектоники Печоро-Колвинского авлакогена на основе интерпретации геофизических данных было уточнено местоположение и внутреннее строение Чаркаю-Пылемецкого разлома, который представляет со-

бой северо-западную ветвь Припечорской системы. Разлом является западной границей Печоро-Колвинского авлакогена (Езимова и др., 2017, 2022; Езимова, Удоратин, 2018; Удоратин и др., 2021). Для полного представления о строении и проявлении в геофизических полях Припечорской системы разломов необходимо детально изучить Илыч-Чикшинский (ИЧ) разлом, входящий в одноименную систему и являющийся ее южной ветвью.

В связи с этим цель настоящей работы заключается в определении характерных особенностей проявления ИЧ системы разломов в геофизических полях.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Геологическое строение

Илыч-Чикшинская система разломов представляет собой особую структурно-формационную зону, которая протягивается вдоль Ронаельской ступени и Мичаю-Пашнинского вала, входящих в состав Ижма-Печорской моноклинали. Фундамент в пределах системы имеет двухъярусное строение. Нижний ярус представлен дислоцированными вулканогенными породами, верхний ярус, молассовый, – терригенными и туфотерригенными толщами. Глубина залегания фундамента увеличивается в восточном направлении до 3–5 км. Осадочный чехол сложен чередованием терригенных и карбонатных пород. Заканчивается разрез породами триаса, сложенными песчаниками, алевролитами и глинами. На юго-западе триас перекрыт юрскими отложениями (рис. 1). Четвертичные отложения представлены песками, суглинками, глинами, алевролитами, галечниками мощностью до 50–70 м.

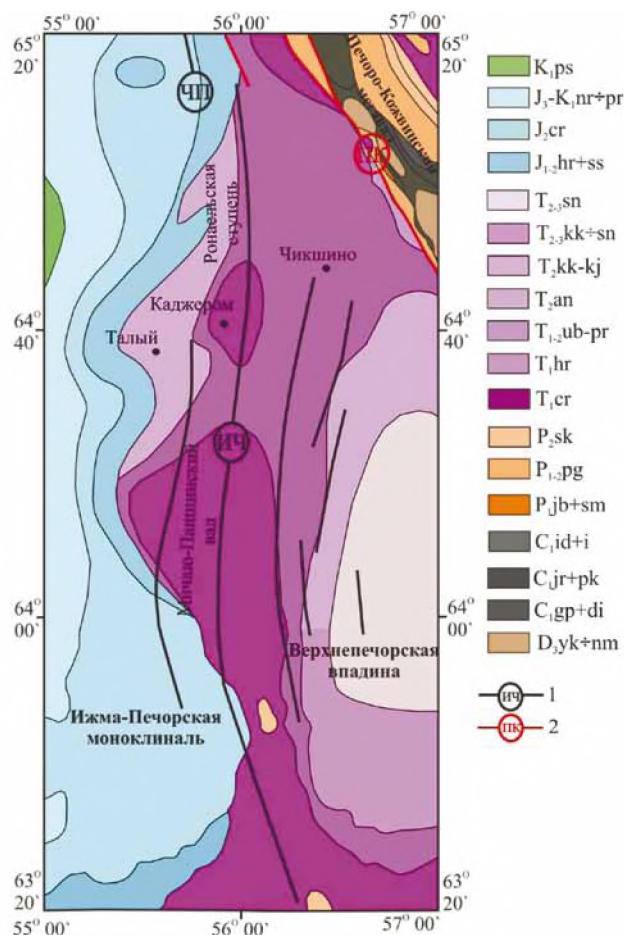


Рис. 1. Фрагмент геологической карты доплиоценовых образований территории исследований, по (Государственная..., 2010, 2017), с дополнениями.

1 – разломы, выделенные по геофизическим данным (Белякова и др., 2008): ЧП – Чаркаю-Пылмецкий, ИЧ – Илыч-Чикшинский; 2 – разломы главные, достоверные, выходящие на картографируемую поверхность: ПК – Подчерем-Каменский.

Fig. 1. A fragment of the geological map of pre-Pliocene formations of the study area, according to (State..., 2010, 2017), with additions.

1 – faults identified by geophysical data (Belyakova et al., 2008): ЧП – Charkayu-Pylmetskii, ИЧ – Ilych-Chikshinskii; 2 – main faults, reliable, facing the mapped surface: ПК – Podcherem-Kamenskii.

По данным сейсмо-, магнито- и гравиразведки, а также глубокого бурения, зона насыщена интрузивными образованиями различного состава. Интрузии средних и кислых пород развиты здесь в подчиненном количестве по сравнению с основными и ультраосновными (Довжикова, 2007; Белякова и др., 2008).

Геофизические поля

На первом этапе выполнялся анализ и интерпретация фоновых сейсморазведочных материалов МОВ, МОГТ 2Д. На рис. 2а представлена схема сейсмической изученности территории. Основная часть сейсморазведочных работ проводилась в 1980–1990 гг. ПГО “Печорагеофизика” (в настоящее время ОАО “Севергеофизика”) под руководством З.А. Блискун, Т.А. Бутаковой, Л.В. Дегтяревой, Т.А. Карпюк, Н.В. Коршуновой, А.Ф. Панцерно, С.Г. Фокиной, Л.В. Шитикова и др. В результате таких работ изучено строение осадочного чехла, детально уточнены и подготовлены к бурению антиклинальные структуры. Полученные данные использовались при построении структурных и тектонических карт по фундаменту и различным горизонтальным осадочного чехла региона.

Помимо сети профилей на схеме изученности отмечены разломы, выделенные коллективом авторов (Белякова и др., 2008). Представленная схема разломной тектоники использовалась авторами в качестве опорной при детальном трассировании разрывных нарушений.

Как показывают сейсмические данные, выразительность ИЧ разлома по фундаменту и нижним слоям осадочного чехла меняется в продольном направлении. В пределах Ронаельской ступени отмечается разделение со смещением Чаркаю-Пылмецкого и Илыч-Чикшинского разломов (рис. 2б). На этом участке выделяется несколько разломных зон, затухающих в толще среднего-позднего девона. Вертикальные амплитуды смещения крыльев по разлому составляют первые сотни метров.

На территории Мичаю-Пашнинского вала выделяется две группы разломов. К первой группе относятся разломы, секущие как фундамент, так и осадочный чехол, затухающие в девоне-перми (рис. 2в). Вторая группа разрывных нарушений прослеживается только по отражающим горизонтам верхней перми, что является результатом влияния тектонических подвижек со стороны Предуральского краевого прогиба. Геологический разрез Мичаю-Пашнинского вала отличается большими мощностями пермских отложений, что характерно для структур краевого прогиба.

В результате интерпретации сейсморазведочных материалов авторами составлена обновленная схема разломной тектоники (рис. 3).

Сопоставление карты разломной тектоники и карт геопотенциальных полей показало, что выделенные нами разломы в гравитационном поле представляют собой широкую зону, являющуюся продолжением Печоро-Кожвинской полосы положительных значений. Западным и восточным ограничениями Илыч-Чикшинской системы служат полосовые области отрицательных значений над Ижма-

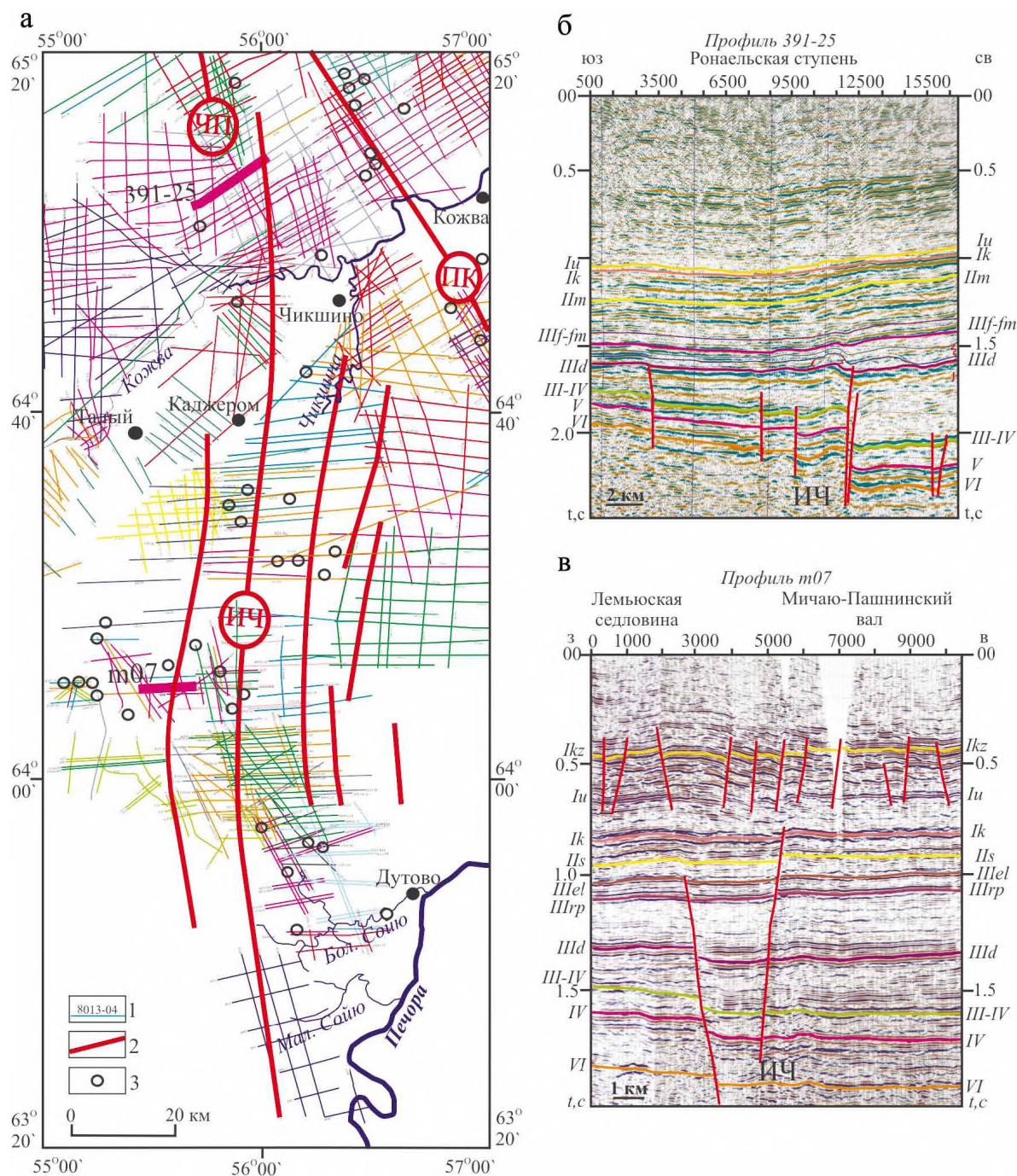


Рис. 2. Схема сейсмической изученности Илыч-Чикшинской системы разломов и прилегающих территорий (составили Ю.Е. Езимова и В.В. Удоратин по материалам ПГО “Печорагеофизика”).

а: 1 – сейсмические профили, 2 – разломы, выделенные Л.Т. Беляковой с соавторами (2008), 3 – скважины; б – временной разрез через Чаркаю-Пылемецкий и Илыч-Чикшинский разломы по профилю 391-25 (материалы ПГО “Печорагеофизика”); в – временной разрез через разлом Илыч-Чикшинской системы по профилю m07 (материалы ПГО “Печорагеофизика”).

Fig. 2. The scheme of seismic knowledge of the Ilych-Chikshinskaya fault system and adjacent territories (compiled by Yu.E. Ezimova and V.V. Udoratin based on the materials of the PGO “Pechorageofizika”).

а: 1 – seismic profiles, 2 – the faults, identified by Belyakova et al. (2008), 3 – boreholes; б – time section through the Charkayu-Pylemeckii and Ilych-Chikshinskii faults along the profile 391-25 (based on the materials of the PGO “Pechorageofizika”); в – time section through the fault of the Ilych-Chikshinskaya system along the m07 profile (based on the materials of the PGO “Pechorageofizika”).

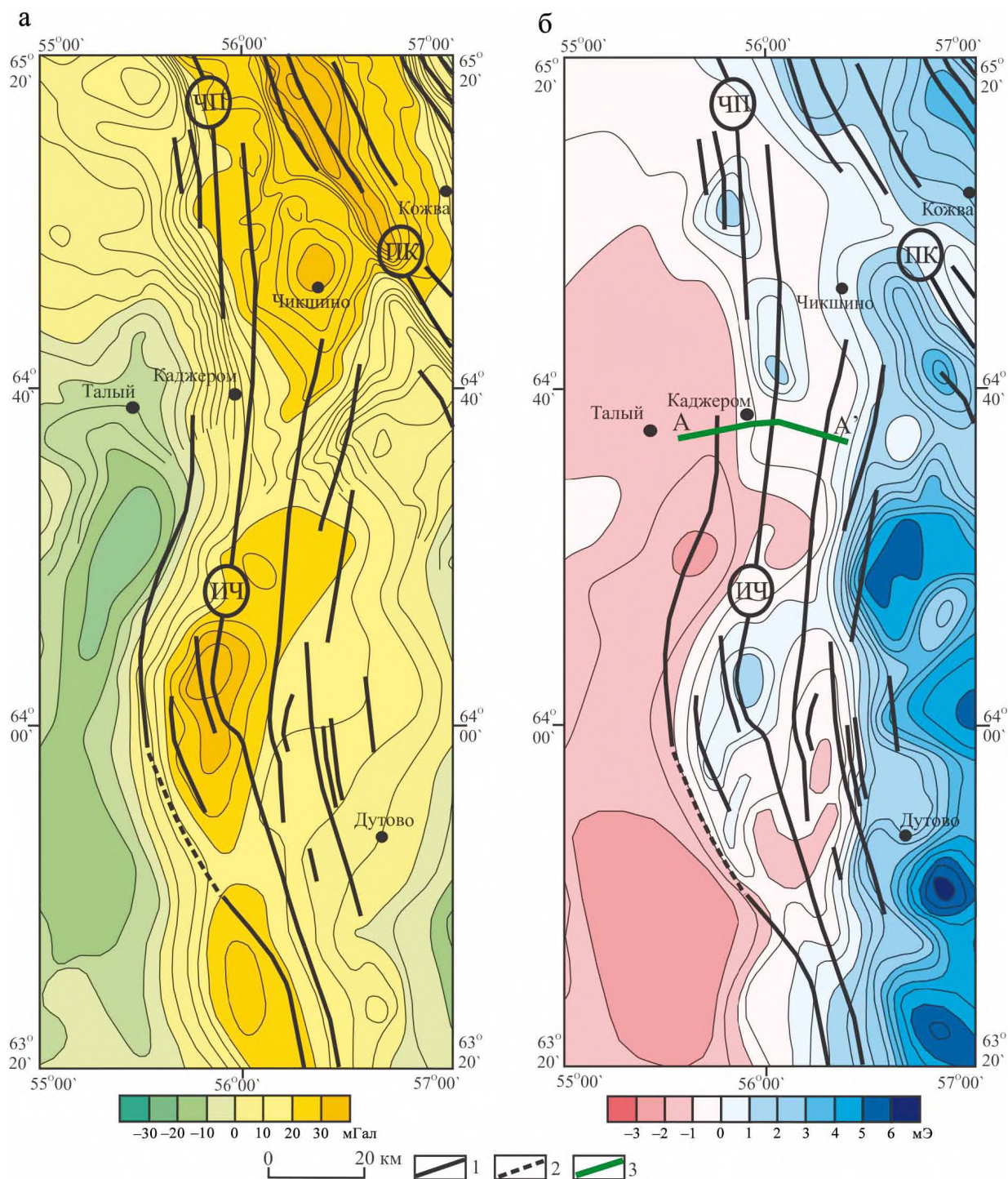


Рис. 3. Схемы сопоставления разломной тектоники и геопотенциальных полей.

а – фрагмент “Гравиметрической карты СССР” (1961); б – фрагмент “Карты аномального магнитного поля СССР” (1967). 1 – разломы, выделенные по сейсмическим данным (составили Ю.Е. Езимова и В.В. Удоратин по материалам ПГО “Печора-геофизика”), 2 – предполагаемые разломы, 3 – профиль детальной магнитометрической съемки.

Fig. 3. Comparison schemes of fault tectonics and geopotential fields.

а – fragment of “Gravimetric map of USSR” (1961); б – fragment of “Map of the anomalous magnetic field of USSR” (1967). 1 – faults identified from seismic data (compiled by Yu.E. Ezimova and V.V. Udoratin based on the materials of the PGO “Pechora-geofizika”), 2 – alleged faults, 3 – profile detailed magnetometric survey.

Печорской моноклиналию и Верхнепечорской впадиной соответственно. Главный ИЧ разлом выделяется по цепочке линейно-вытянутых высокоинтенсивных аномалий. Крайний западный разлом трассируется на севере по градиентной ступени, на юге – по максимуму поля.

В магнитном поле ИЧ система соответствует узкой переходной зоне от отрицательного магнитного поля Ижма-Печорского блока к положительному – над Верхнепечорским блоком. Область характеризуется мозаичным полем. ИЧ разлом протягивается по цепочке крупных, вытянутых в меридиональном направлении максимумов. Южная часть разлома, имеющая северо-западное простирание, трассируется на участке со сложной, мозаичной морфологией поля.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Практическая часть исследований включает в себя радоновые наблюдения по профилям А–А' и Б–Б' и пешеходную магнитометрическую съемку по профилю А–А' (рис. 4а). Оба участка пересекают ИЧ систему разломов на территории Мичаю-Пашнинского вала. Профиль А–А' проходит по автомобильной дороге Талый–Каджером–Чикшино, профиль Б–Б' – по дороге Нижний Одес–Вуктыл. Длина профилей составляет 30 и 45 км соответственно.

Методика радоновых наблюдений подробно описана авторами (Удоратин и др., 2020). Как показывают результаты исследований, измерения объемной активности радона (ОАР) следует начинать через 30–60 мин после бурения скважины. Однако при экспрессной съемке (Удоратин и др., 2021) в ходе картирования разломов достаточно проводить измерение сразу после бурения скважины. Несмотря на то что показатели ОАР ниже, разломные зоны связываются с максимумами ОАР.

Исследования в 2015 и 2021 гг. выполнялись в летний период (июнь–июль) в дневные часы в сухую погоду. Измерения ОАР производились с помощью портативного радиометра “Альфарад плюс” (рис. 4б). На каждом пункте наблюдения перед замером зачищалась площадка от растительности и камней. Для уменьшения влияния метеопараметров и ветра бурилась скважина глубиной 0.5 м и диаметром 0.1 м. Для отбора пробы почвенного воздуха накопительная камера плотно закрывала устье скважины (см. рис. 4б, в). В течение первых 3 мин происходила закачка воздуха из скважины и последующие 20 мин – измерение ОАР. После каждого замера осуществлялась прокачка системы окружающим воздухом.

Пешеходная магнитная съемка проводилась при помощи протонного магнитометра Minimag (см. рис. 4г), предназначенного для измерения

модуля геомагнитного поля (ΔT). Предел основной систематической погрешности магнитометра при измерении магнитной индукции не превышал ± 2 нТл. Шаг между пунктами наблюдения составлял 50 м. Топографическая привязка выполнялась с помощью GPS Garmin 62S, точность привязки при полной видимости горизонта достигала 3 м. Привязка производилась с шагом 100 м. Одновременно с пешеходными наблюдениями записывались вариации магнитного поля. Магнитометрическая станция устанавливалась в спокойном магнитном поле и вела регистрацию вариаций с шагом 1 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Профильные измерения

Результаты измерений представлены на графиках (рис. 5, 6). Для наглядности графики совмещены с сейсмогеологическими разрезами, составленными на основе сейсмических профилей, расположенных наиболее близко к участкам проведения исследований. Сейсмические профили и участки радоновых исследований не совпадают в плане (см. рис 4а), что усложняет сопоставление результатов детальных исследований с сейсмогеологическим разрезом.

Для выделения участков с повышенным уровнем радона, как и в предыдущих исследованиях (Езимова и др., 2022), использовался метод среднего значения с учетом стандартного отклонения (Walia et al., 2008; Yang et al., 2018):

$$Q > Q_{\text{ср}} + n\sigma (n = \frac{1}{2}, 1 \text{ или } 2),$$

где $Q_{\text{ср}}$ – среднее значение ОАР по профилю, σ – стандартное отклонение от среднего значения. При $n = 1$ или 2 ширина аномалий крайне узкая или ее не удастся выделить совсем.

Профиль А–А'

Профиль пересекает северную часть Мичаю-Пашнинского вала, где трассируется четыре разлома (см. рис. 5а). На карте масштаба 1 : 1 000 000 профиль расположен в спокойном отрицательном магнитном поле, за исключением его восточного окончания, который попадает в область положительных значений (см. рис. 3б). Локальное магнитное поле плавно возрастает от -200 до $+45$ нТл. Илыч-Чикшинский разлом отчетливо выделяется градиентной зоной (ПН 295–380). Ширина зоны составляет 4 км. Интенсивность изменяется в диапазоне $-22 \dots -67$ нТл.

Радоновые исследования на территории ИЧ системы разломов выполнялись на протяжении двух полевых сезонов – в 2015 и 2021 гг. В 2015 г.

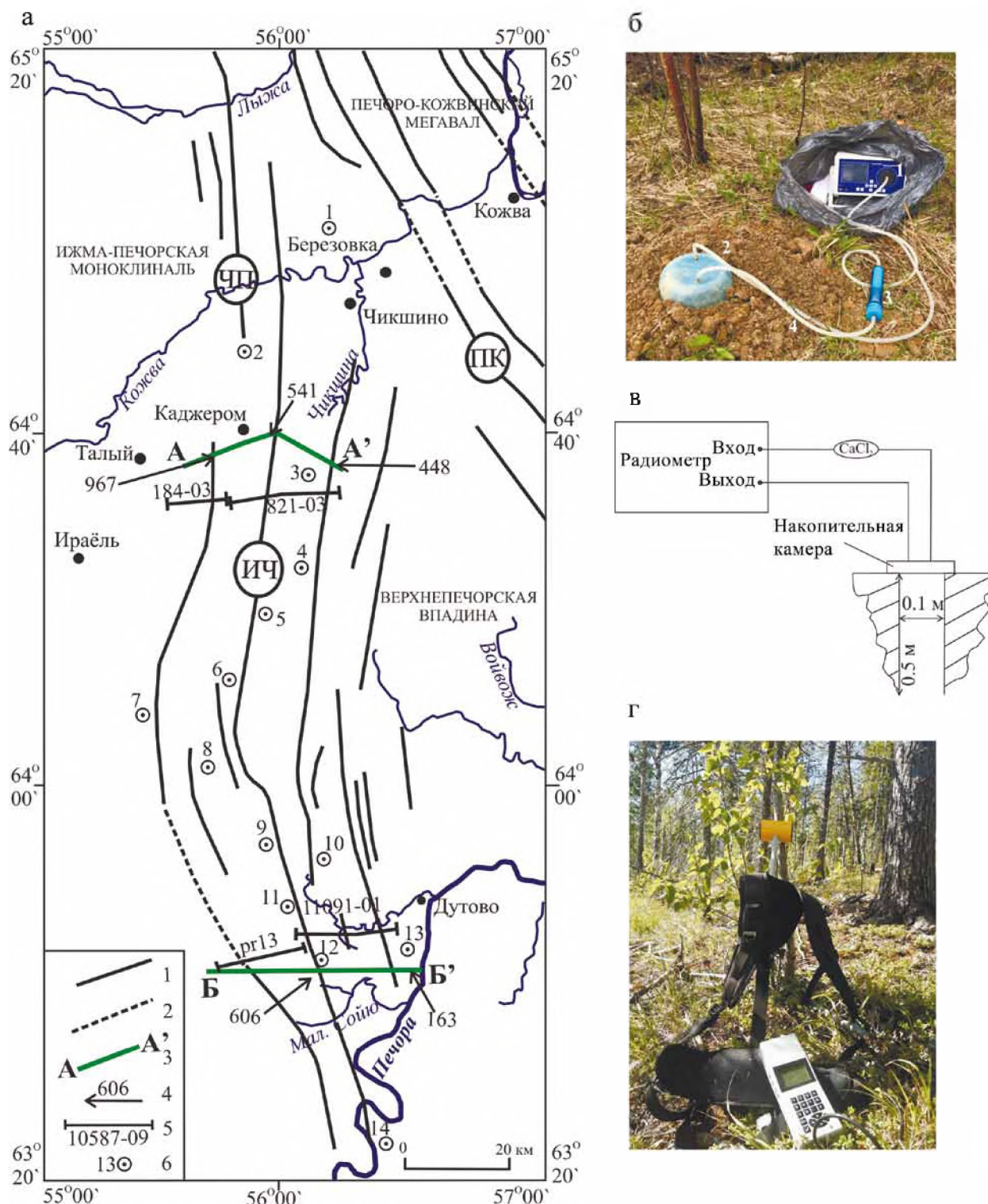


Рис. 4. Детальные радоновые и магнитометрические исследования через Илыч-Чикшинскую зону разломов.

а – схема района работ: 1, 2 – см. рис. 3; 3 – профили радоновой и магнитометрической съемки; 4 – максимальные значения объемной активности радона (ОАР) по профилю; 5 – сейсмические профили; 6 – скважины: 1 – 1-Чаркаю, 2 – 8-Луза, 3 – 1-Сунаель, 4 – 3,4-Исаково, 5 – 1-Вос. Лемью, 6 – 1-Сев. Мичаю, 7 – 6-Зап. Лемью, 8 – 1-Юж. Лемью, 9 – 1-Савинобор, 10 – 1-Динью, 11 – 1-Трипангель, 12 – 25-Сев. Савинобор, 13 – 1-Зап. Дутово, 14 – 89-Пашня;

б – портативный радиометр (фото Ю.Е. Езимова): 1 – радиометр, 2 – накопительная камера, 3 – осушитель воздуха, 4 – соединительные трубки;

в – схема отбора пробы почвенного воздуха;

г – магнитометр MiniMag (фото А.Ш. Магомедовой).

Fig. 4. Detailed radon and magnetometric studies through the Ilych-Chikshinskaya fault systems.

а – scheme of the work area: 1, 2 – see Fig. 3; 3 – profiles of radon and magnetometric surveys; 4 – maximum values of the volume radon activity (VRA) along the profile; 5 – seismic profiles; 6 – wells: 1 – 1-Charkayu, 2 – 8-Luza, 3 – 1-Sunael', 4 – 3,4-Isakovko, 5 – 1-Vos. Lem'yu, 6 – 1-Sev. Michayu, 7 – 6-Zap. Lem'yu, 8 – 1-Yuzh. Lem'yu, 9 – 1-Savinobor, 10 – 1-Din'yu, 11 – 1-Tripan'el', 12 – 25-Sev. Savinobor, 13 – 1-Zap. Dutovo, 14 – 89-Pashnya;
б – portable radiometer (photo by Yu. E. Ezimova); 1 – radiometer, 2 – storage chamber, 3 – air dryer, 4 – connecting tubes;
в – soil air sampling scheme;
г – magnetometer MiniMag (photo by A.Sh. Magomedova).

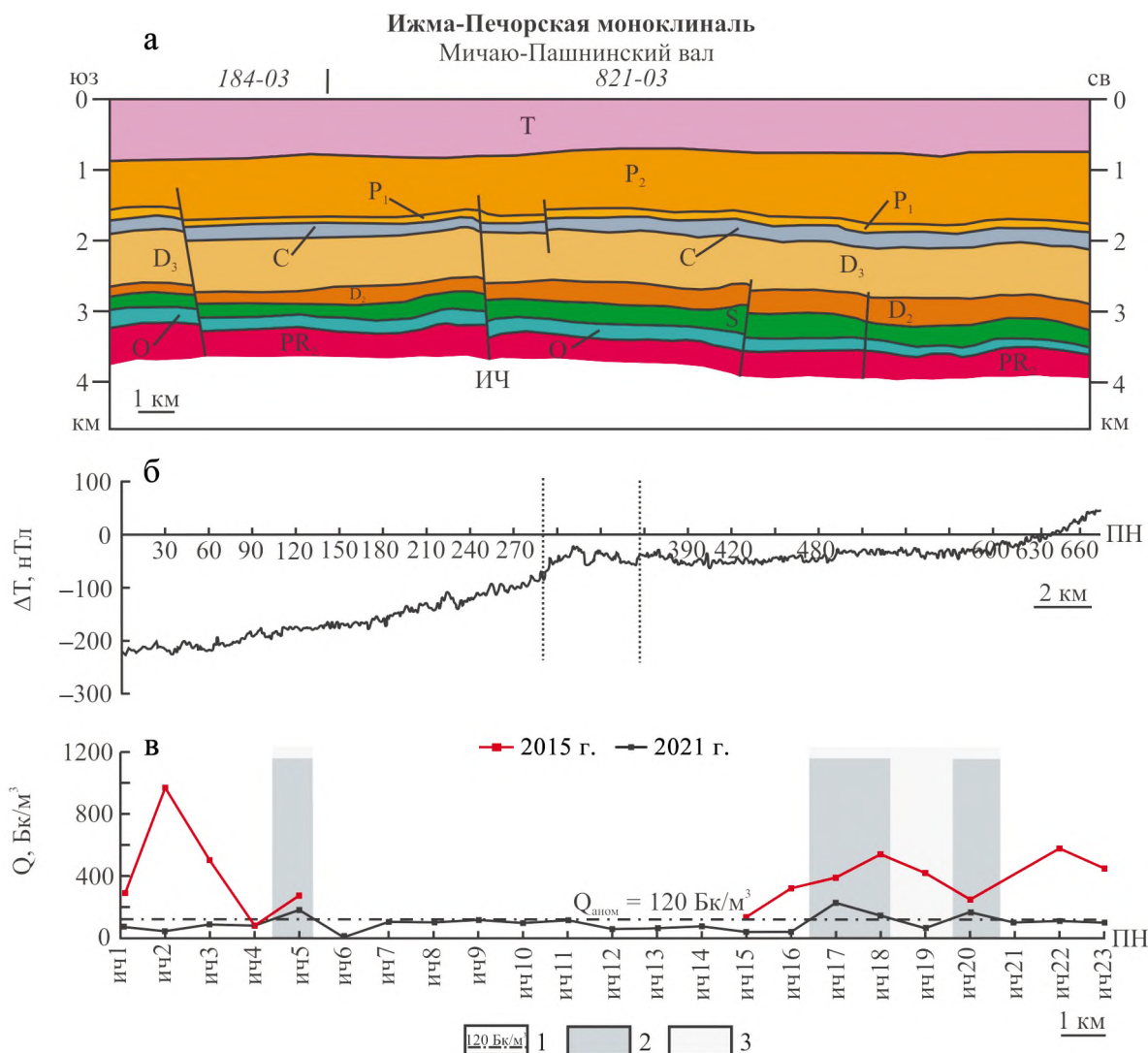


Рис. 5. Детальные геофизические исследования.

а – сейсмогеологический разрез через Илыч-Чикшинскую систему; б – график изменения аномального магнитного поля по профилю А–А', вертикальные пунктирные линии ограничивают градиентную область магнитного поля, связанную с разломом; в – график изменения ОАР по профилю А–А': 1 – нижняя граница аномальных значений ОАР, 2 – области профиля с аномальными значениями ОАР, 3 – предполагаемая граница радоновой аномалии, связанная с разломом. Местоположение профилей – см. рис. 4а.

Fig. 5. Detailed geophysical studies.

а – seismogeological section through the Ilych-Chikshinskaya system; б – graph of changes in the anomalous magnetic field along the profile A–A', vertical dotted lines limits the magnetic field associated with the fault; в – the graph of changes in the VRA along the A–A' profile: 1 – area of lower limit of anomalous the VRA values, 2 – profile areas with anomalous the VRA values, 3 – the supposed boundary of the radon anomaly associated with the fault. Location of profiles – see Fig. 4a.

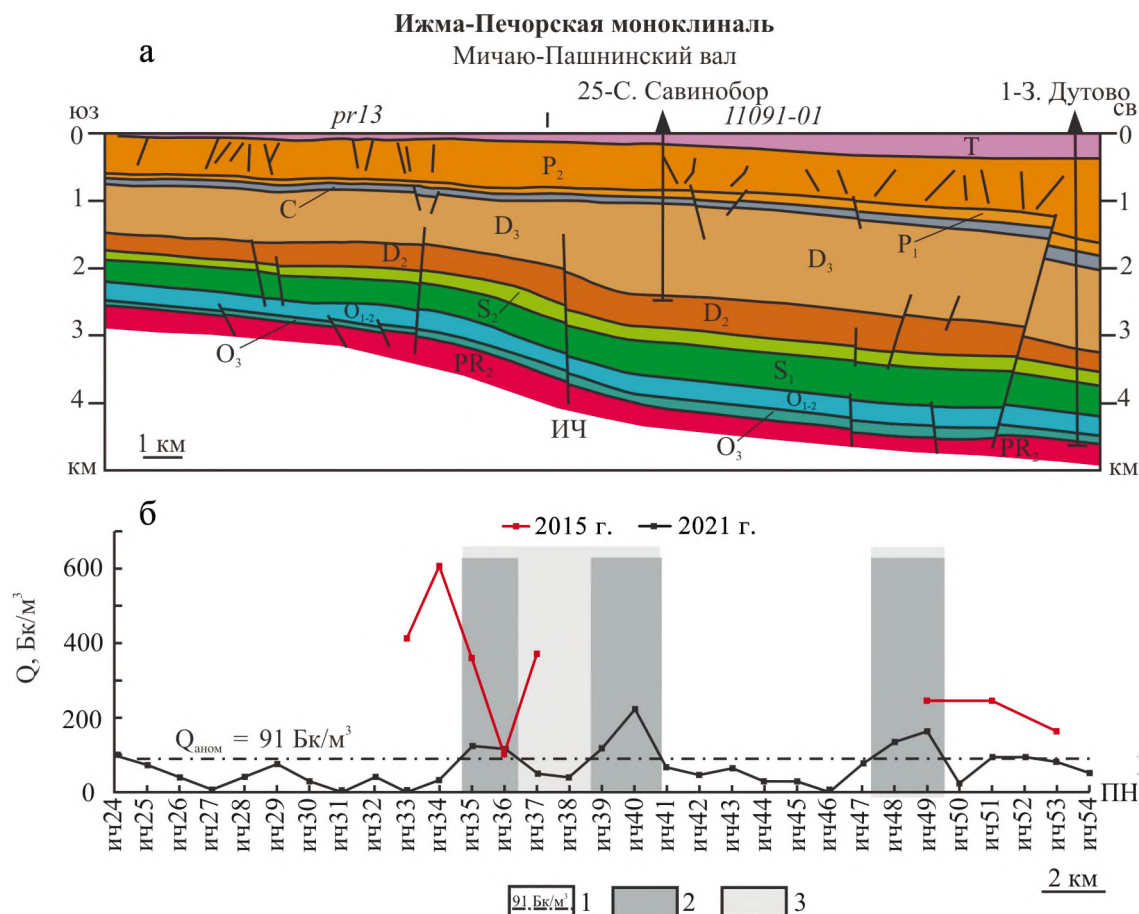


Рис. 6. Детальные геофизические исследования.

а – сейсмогеологический разрез через Илыч-Чикшинскую систему; б – график изменения объемной активности радона по профилю Б–Б'. Условные обозначения – см. рис. 5.

Fig 6. Detailed geophysical surveys.

а – seismogeological section through the Ilych-Chikshinskaya system; б – graph of changes in the VRA along the profile Б–Б'. Legend – see Fig. 5.

пробные измерения ОАР осуществлялись в отдельных взятых разломных зонах и вблизи них.

Полученные значения по профилю А–А' показаны на рис. 5в. Красным цветом обозначены значения, зарегистрированные в 2015 г., они находятся в диапазоне 100–970 Бк/м³, среднее значение 400 Бк/м³. По профилю выделяется три области с аномальными значениями ОАР (ич2–ич3, ич18, ич22), в пределах которых ОАР превышает 513 Бк/м³. Две аномалии шириной 1 и 4 км связываются с существующими разломами.

В 2021 г. уровень радона снизился. Максимальные показатели ОАР достигали 227 Бк/м³, среднее значение ОАР – 95 Бк/м³. Несмотря на крайне низкую концентрацию радона, удалось выделить три зоны с повышенными значениями ОАР (ич5, ич17–ич18, ич20). Участок профиля между пунктами наблюдения ич16–ич21 является областью, связанной с двумя разломами, затухающими в отложениях

верхнего девона. Илыч-Чикшинский разлом не имеет отражения в поле радона.

Профиль Б–Б'

По профилю в 2015 г. в выбранных пунктах наблюдения концентрация радона изменялась в диапазоне 100–600 Бк/м³ (см. рис. 6б). Среднее значение составляло 313 Бк/м³, нижняя граница аномальных значений – 393 Бк/м³. Концентрация радона, превышающая этот показатель, отмечается в пунктах наблюдения ич33–ич34, которые располагались над разломной зоной. В 2021 г. уровень ОАР понизился до 0–220 Бк/м³. Средняя концентрация почвенного радона составила 66 Бк/м³, аномальные значения ОАР превышают 91 Бк/м³. Несмотря на низкие показатели ОАР по профилю, отмечается три зоны (ич35–ич36, ич39–ич40, ич48–ич49) значений, превышающих аномальный уровень. Об-

ласть профиля ич35–ич40 шириной 6 км связывается с ИЧ разломом, причем сам разлом попадает в зону минимума, заключенную между двумя максимумами. Вторая зона шириной 2 км приурочена к границе между Ижма-Печорской моноклиной и Верхнепечорской впадиной.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследований, проведенных в пределах ИЧ системы разломов, отличаются от тех, что были получены на территории сопредельного Печоро-Кожвинского мегавала (ПКМ) (см. рис 4а).

Сопоставив результаты радоновой съемки в пределах ИЧ системы и ПКМ, приведем черты сходства и различия в их строении и проявлении в других геофизических полях.

К чертам сходства следует отнести рифейский возраст заложения крупных разломов, сбросово-взбросовую морфологию, отчетливое проявление в региональных геофизических полях.

Различия заключаются в следующем.

1. *Состав и глубина залегания фундамента.* Фундамент ПКМ сложен гранитами, туфами основного и кислого состава, пирокластическими породами кислого состава, риолитами. Глубина залегания увеличивается в восточном направлении до 6–7 км. Фундамент Ижма-Печорской впадины представлен сланцами, габбро, габбро-амфиболитами, диоритами, метабазами, туфами. Глубина залегания фундамента, как уже упоминалось выше, не превышает 5 км.

2. *Выход на поверхность.* Все разломы Илыч-Чикшинской системы перекрыты мощной толщей осадочных образований перми и триаса. На ПКМ многие разрывные нарушения выходят на поверхность.

3. *Разломы позднепалеозойского времени заложения.* Разрывные нарушения в толще верхней перми прослеживаются только на территории Мичаю-Пашнинского вала.

4. *Проявление на сейсмических разрезах.* ИЧ система на временных разрезах выделяется как узкая зона резкого изменения динамических особенностей, для которой свойственны амплитуды вертикального смещения отражающих горизонтов, не превышающие первые сотни метров.

5. *Выразительность в локальном магнитном поле.* В отличие от разрывных нарушений Печоро-Кожвинского мегавала ИЧ разлом находит свое отражение в локальном магнитном поле и соответствует протяженной градиентной зоне. Согласно данным (Богданов и др., 2002; Довжикова, 2007; Белякова и др., 2008), к зоне ИЧ разлома тяготеют рифей-вендские и среднедевонские интрузивные образования габбро-диорит-плагиогранитного и габбро-диорит-гранитного состава (скв. 1-Сев. Савинобор), габброиды (скв. 1-Динью), габбро-

диабазы (скв. 3,4-Исаково) и габбро-амфиболиты (скв. 89-Пашня). Магнитная восприимчивость таких пород изменяется в широких пределах $(0-25) \times 10^{-3}$ ед. СИ. Поскольку сланцы фундамента (скв. 1-Сунаель) и осадочный чехол немагнитные, аномалия, выявленная по профилю А–А', обусловлена наличием интрузий основного и ультраосновного состава в зоне влияния разлома.

Илыч-Чикшинская система, состоящая из множества разрывных нарушений рифейского и палеозойского заложения, не имеет очевидного проявления в поле радона. В разное время в разломах уровень почвенного радона на одних пунктах наблюдения изменяется в широких пределах. В один период исследований на обоих участках отмечается близкий уровень радона. Так, в 2015 г. он составил 200–600 Бк/м³, за исключением одного пика, где ОАР превысила 970 Бк/м³. В 2021 г. снизился до 50–230 Бк/м³, что близко к фоновым значениям. В настоящей работе фоновые значения ОАР в почвенном слое в приповерхностных песчано-глинистых отложениях на глубине 0.5–1.0 м принимаются в интервале 5–100 Бк/м³ (Новиков, Капков, 1965).

Несмотря на крайне низкие показатели ОАР, удалось выделить области, связанные с существующими разломами. Для ИЧ разлома характерно неоднозначное проявление в поле радона. Если по профилю А–А' дизъюнктив соответствует зоне, где показатели ОАР минимальны, то по профилю Б–Б' он попадает в широкую зону чередования максимумов и минимумов.

Вариативность показателей ОАР в разные годы и крайне низкие значения ОАР указывают на отсутствие постоянного источника радона на территории ИЧ-системы. В таком случае фундамент не может рассматриваться в качестве основного источника радона. Отсюда следует, что динамика радона в почвенном воздухе в большей мере зависит от концентрации радия в почве и приповерхностных слоях осадочного чехла.

Важным критерием, оказывающим отрицательное воздействие на транспортировку и накопление радона, а также на отбор пробы почвенного воздуха, является повсеместное распространение болот, что указывает на близость подземных вод к поверхности. Почва, богатая глиной, с высоким содержанием воды, выступает в роли барьера для выхода газа в атмосферу (Климшин и др., 2014; Albert et al., 2021).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены результаты геофизических исследований, проведенных на территории Илыч-Чикшинской системы разломов, входящей в состав Припечорской системы разломов южной ветвью. Илыч-Чикшинская система разломов принимает участие в строении восточного кры-

ла Ижма-Печорской впадины и, согласно сейсмическим данным в широтном направлении, делится на две части: северную – Ронаельскую и южную – Мичаю-Пашнинскую. Разломы северной части отличаются малой глубиной проникновения – до среднего–верхнего девона включительно. Для южной части характерно наличие двух групп разломов: разломы рифейского заложения, распространяющиеся до нижней верхней перми, и группа разломов, образованных в позднем палеозое.

Ильч-Чикшинская система не имеет явного отражения в поле радона, что отличает ее от разломов северной части Припечорской системы, участвующих в строении Печоро-Кожвинского мегавала. Концентрация радона в один период держится на одном уровне, несмотря на большое расстояние между профилями. В разные периоды ОАР варьирует в больших пределах. Присутствие низкоинтенсивных прерывистых аномалий по профилям связано с изменениями концентрации материнских радионуклидов в верхней части осадочного разреза. Локальная магнитная аномалия указывает на присутствие интрузивных тел основного и ультраосновного состава в зоне влияния Ильч-Чикшинского разлома. Таким образом, на данной территории радоновая съемка как самостоятельный метод изучения разломов предоставляет неоднозначные результаты и должна использоваться совместно с другими геофизическими методами.

По результатам геолого-геофизических исследований северной и южной ветвей Припечорской системы разломов выявлены основные различия между ними. К ним относятся состав и глубина залегания фундамента, глубина проникновения разломов в осадочном чехле, вертикальные амплитуды смещения крыльев по разломам, проявление в локальных магнитном и радоновом полях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белякова Л.Т., Богацкий В.И., Богданов Б.П., Довжикова Е.Г., Ласкин В.М. (2008) Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. Киров: Кировская обл. типография, 228 с.
- Богданов М.М., Корюкина Н.Г., Лапкина Н.С. (2002) Палеотектонические и термобарические предпосылки формирования углеводородных скоплений в карбонатном нижнепалеозойском комплексе Печоро-Колвинского авлакогена Тимано-Печорского бассейна. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, (10), 28-35.
- Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И., Данкевич И.В. (2005) Разломы консолидированной литосферы Беларуси по геофизическим данным. *Литасфера*, 25(2), 102-113.
- Государственная геологическая карта доплиоценовых образований. (2010) Масштаб 1 : 1 000 000 (Третье поколение). Сер. Уральская. Лист Q-40 (Печора). (Ред. В.П. Водолазская).
- Государственная геологическая карта доплиоценовых образований. (2017) Масштаб 1 : 1 000 000 (Третье поколение). Сер. Уральская. Лист Р-40 (Североуральск). (Ред. М.А. Шишкин)
- Гравиметрическая карта СССР. (1961) (Под ред. Н.Б. Сажиной). Масштаб 1 : 1 000 000.
- Довжикова Е.Г. (2007) Позднекембрийский магматизм Припечорской зоны разломов (центральной части Печорской плиты). Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 19 с.
- Дружинин В.С., Начапкин Н.И., Осипов В.Ю. (2018) Выделение и картирование глубинных разломов по сейсмическим данным и их проявление в геофизических полях. *Изв. Уральского государственного горного университета*, 3(51), 47-53.
- Езимова Ю.Е., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш. (2017) Локализация тектонических нарушений Печоро-Колвинского авлакогена по сейсмическим данным и их проявление в радоновом поле. *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*, 9, 23-29.
- Езимова Ю.Е., Удоратин В.В. (2018) Особенности глубинного строения Припечорской системы разломов. *Проблемы тектоники и геодинамики земной коры и мантии*. Мат.-лы 50(L) тект. совещ. Т. 1. М.: ГЕОС, 162-166.
- Езимова Ю.Е., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш. (2022) Закономерности проявления разломов Печоро-Колвинского авлакогена в поле радона. *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*, 67(1), 20-49. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.102>
- Карта аномального магнитного поля СССР. (1967) (Под ред. П.А. Кукина). Масштаб 1 : 1 000 000.
- Климшин А.В., Антипин А.Н., Микляев П.С., Петрова Т.Б., Цапалов А.А. (2014) Влияние уровня грунтовых вод на перенос радона в почвенном воздухе на полигоне в Екатеринбурге. *АНРИ*, 2(77), 45-52.
- Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н. (1965) Радиоактивные методы разведки. Л.: Недра, 759 с.
- Прищепа О.М., Богацкий В.И., Григоренко Т.И., Орлова Л.А., Чумакова О.В. (2013) Новые представления о перспективах нефтегазоносности северо-западных районов Тимано-Печорской провинции. *Нефтегаз. геология. Теория и практика*, 8(2), 1-36.
- Удоратин В.В., Езимова Ю.Е., Магомедова А.Ш. (2020) Методика измерений объемной активности радона для платформенных областей. *Физика Земли*, 4, 132-143. <https://doi.org/10.31857/S0002333720040092>
- Удоратин В.В., Езимова Ю.Е., Магомедова А.Ш. (2021) Радоновая съемка для картирования разломных зон Тимано-Североуральского региона. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 153 с.
- Albert J., Scharf M., Enzmann F., Walzl M., Sirocko F. (2021) Local radon flux maxima in the quaternary sediments of Schleswig-Holstein (Germany). *Int. J. Earth Sci.*, 110(4), 1501-1516. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02026-8>
- Walia V., Mahajan S., Kumar A., Singh S., Bajwa B.S., Dhar S., Yang T.F. (2008) Fault delineation study using soil-gas method in the Dharamsala area NW Himalayas, India. *Radiation Measurements*, 43, 337-342.
- Yang Y., Li Y., Guan Z., Chen Z., Zhang L., Chao Jia Lv, Sun F. (2018) Correlation between the radon concentration in soil gas and the activity of Anninghe and the Zemuhe faults in Sichuan, southwestern of China. *Applied Geochemistry*, 89, 23-33. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.11.006>

REFERENCES

- Albert J., Scharf M., Enzmann F., Walzl M., Sirocko F. (2021) Local radon flux maxima in the quaternary sediments of Schleswig-Holstein (Germany). *Int. J. Earth Sci.*, **110**(4), 1501-1516. <https://doi.org/10.1007/s00531-021-02026-8>
- Belyakova L.T., Bogatskii V.I., Bogdanov B.P., Dovzhikova E.G., Laskin V.M. (2008) Foundation of the Timan-Pechora oil and gas basin. Kirov, Kirov regional topography, 228 p. (In Russ.)
- Bogdanov M.M., Koryakina N.G., Lapkina N.S. (2002) Paleotectonic and thermobaric prerequisites for the formation of hydrocarbon accumulations in the Lower Paleozoic carbonate complex of the Pechoro-Kolvinsky aulacogen of the Timan-Pechora basin. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, (10), 28-35. (In Russ.)
- Dovzhikova E.G. (2007) Late Cambrian magmatism of the Pechora fault zone (central part of the Pechora Plate). Cand. geol. and min. sci. diss. Syktyvkar, IG Komi SC UB RAS, 19 p. (In Russ.)
- Druzhinin V.S., Nachapkin N.I., Osipov V.Yu. (2018) Identification and mapping of deep faults based on seismic data and their manifestation in geophysical fields. *Izv. Ural State Mining University*, **3**(51), 47-53. (In Russ.)
- Ezimova Yu.E., Udoratin V.V., Magomedova A.Sh. (2017) Localization of tectonic faults in the Pechora-Kolvinsky aulacogen according to seismic data and their manifestation in the radon field. *Bull. IG Komi SC UB RAS*, (9), 23-29. (In Russ.)
- Ezimova Yu.E., Udoratin V.V. (2018) Features of the deep structure of the Prepechora fault system. *Problems of tectonics and geodynamics of the earth's crust and mantle*. Materials 50(L) Tectonic Meeting. V. 1. Moscow, GEOS Publ., 162-166. (In Russ.)
- Ezimova Yu.E., Udoratin V.V., Magomedova A.Sh. (2022) Patterns of manifestation of faults of the Pechoro-Kolvinsky aulacogen in the field of radon. *Bull. St.Petersburg State Univ. Earth Sciences*, **67**(1), 20-49. (In Russ.). <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.102>
- Garetskii R.G., Karataev G.I., Dankevich I.V. (2005) Faults of the consolidated lithosphere of Belarus according to geophysical data. *Lithosphere*, **25**(2), 102-113. (In Belarus)
- Gravimetric map of the USSR. (1961) (Ed. N.B. Sazhina). Scale 1 : 1 000 000. (In Russ.)
- Klimshin A.V., Antipin A.N., Miklyaev P.S., Petrova T.B., Capalov A.A. (2014) Influence of ground water level on radon transfer in soil air at the polygon in Ekaterinburg. *ANRI*, **2**(77), 45-52. (In Russ.)
- Map of the anomalous magnetic field of the USSR. (1967) (Ed. P.A. Kukin). Scale 1 : 1 000 000. (In Russ.)
- Novikov G.F., Kapkov Yu.N. (1965) Radioactive prospecting methods. Leningrad, Nedra Publ., 759 p. (In Russ.)
- Prishchepa O.M., Bogatskii V.I., Grigorenko T.I., Orlova L.A., Chumakova O.V. (2013) New ideas about the prospects for oil and gas potential in the northwestern regions of the Timan-Pechora province. *Oil and gas geology. Theory and practice*, **8**(2), 1-36. (In Russ.)
- State geological map of pre-Pliocene formations. (2010) Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Ural Series, sheet Q-40 (Pechora). (Ed. V.P. Vodolazskaya). (In Russ.)
- State geological map of pre-Pliocene formations edited by M.A. Shishkin. (2017) Scale 1 : 1 000 000 (third generation). Ural Series, sheet P-40 (Severoural'sk). (In Russ.)
- Udoratin V.V., Ezimova Yu.Ye., Magomedova A.Sh. (2020) Technique for measuring radon volumetric activity in platform regions. *Izv. Phys. Solid Earth*, **4**, 558-569 (translated from *Fizika Zemli* **4**, 132-143). <https://doi.org/10.31857/S0002333720040092>
- Udoratin V.V., Ezimova Yu.E., Magomedova A.Sh. (2021) Radon survey for mapping the fault zones of the Timano-Severouralsk region. Syktyvkar, IG Komi SC UB RAS, 153 p. (In Russ.)
- Walia V., Mahajan S., Kumar A., Singh S., Bajwa B.S., Dhar S., Yang T.F. (2008) Fault delineation study using soil-gas method in the Dharamsala area NW Himalayas, India. *Radiation Measurements*, **43**, 337-342.
- Yang Y., Li Y., Guan Z., Chen Z., Zhang L., Chao Jia Lv, Sun F. (2018) Correlation between the radon concentration in soil gas and the activity of Anninghe and the Zemuhe faults in Sichuan, southwestern of China. *Applied Geochemistry*, **89**, 23-33.