

УДК 551.243; 550.389.1

ОБЪЕМНАЯ АКТИВНОСТЬ РАДОНА В ПРЕДЕЛАХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН КИРОВСКО-КАЖИМСКОГО И ПЕЧОРО-КОЛВИНСКОГО АВЛАКОГЕНОВ

© 2017 г. В. В. Удоратин, Ю. Е. Езимова, А. Ш. Магомедова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167000, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mails: udoratin@geo.komisc.ru; ezimova89@mail.ru; asmagomedova@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 18.01.2017 г.; принята к печати 28.02.2017 г.

Статья посвящена радиометрическим исследованиям в пределах Кировско-Кажимского (ККА) и Печоро-Колвинского авлакогенов (ПКА). ККА является структурой первого порядка Волго-Уральской антеклизы, которая располагается в пределах древней Восточно-Европейской платформы. ПКА расположен в центральной части Тимано-Печорской эпипайкальской плиты. Задача исследований заключалась в отработке методики экспрессной эманационной съемки авлакогенов, выявления закономерностей пространственных вариаций объемной активности радона в почвенном воздухе и оценки активности разломных зон. Работы проводились на западном и восточном бортах центральной и северной частях Кировско-Кажимского авлакогена, а также в центральной части западного борта Печоро-Колвинского авлакогена. Разломные зоны выделялись по данным сейсмических методов, где на временных разрезах явно выражены большие амплитуды вертикальных смещений. На территории ККА исследования проводились в течение трех полевых сезонов. В первый год измерения объемной активности радона (ОАР) проводились с поверхности земли. В последующие годы для каждого измерения бурилась скважина глубиной 50 см для уменьшения влияния метеоусловий и почвенного слоя. Обобщая полученные в разные годы результаты, можно сделать вывод, что в пределах разломной зоны значения радоновой активности со скважины находятся в диапазоне от 200 до 2000 Бк/м³, а с поверхности земли – не превышают 300 Бк/м³. В 2015–2016 гг. экспрессная радоновая съемка проводилась по ранее отработанной методике на территории западного борта ПКА. Результаты показали, что разломные зоны отчетливо отражаются в поле радона повышенными значениями ОАР в диапазоне 400–1555 Бк/м³. Наибольшие значения ОАР отмечаются в пределах разломов, выходящих ближе к поверхности земли. Результаты экспрессной эманационной съемки на территории двух авлакогенов показали, что все разломные зоны отчетливо проявляются в поле радона повышенными значениями ОАР. Максимальные значения радоновой активности соответствуют тектоническим нарушениям, которые наиболее близко подходят к дневной поверхности. Вдоль линии разлома значения ОАР могут изменяться, в разное время в пределах одного участка разлома значения ОАР могут варьировать. Ширина зоны повышенных значений радоновой активности всегда больше самой зоны разлома. Таким образом, пространственное распределение радона над разломами оценивается как достаточно сложное, однако использование данного метода для комплексного изучения разломной тектоники представляется перспективным.

Ключевые слова: авлакоген, разломы, объемная активность радона

VOLUMETRIC ACTIVITY OF RADON WITHIN FAULT ZONES OF KIROV-KAZHIM AND PECHORA-KOLVIN AULACOGENS

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

Institute of Geology Komi SC UB of RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktyvkar, 167000, Russia, e-mails: udoratin@geo.komisc.ru; ezimova89@mail.ru; asmagomedova@geo.komisc.ru

Received 18.01.2017; accepted 28.02.2017

The article is devoted to radiometric studies within the Kirov-Kazhim (KKA) and the Pechora-Kolva aulacogenes (PKA). KKA is the first-order structure of the Volga-Ural anticline, which is located within the ancient East European Platform. The PKA is located in the central part of the Timan-Pechora Epibaykal plate. The aim of the research was to develop a technique for express emanation survey of aulacogenes, to reveal the patterns of spatial variations in the volume radon activity (VRA) in soil air and to estimate of the fault zones activity. Studies were carried out on the western and eastern sides of the central and northern parts of the KKA and the central part of the PKA western side. The fault zones were identified according to the seismic methods data, where large amplitudes of vertical displacements were clearly expressed in the seismic sections. The investigations were conducted during three field seasons within the KKA. In the first year, measurements of the VRA were

Для цитирования: Удоратин В.В., Езимова Ю.Е., Магомедова А.Ш. (2017) Объемная активность радона в пределах разломных зон Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов. *Литосфера*, 17(6), 136–152. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-6-136-152

For citation: Udoratin V.V., Ezimova Yu.E., Magomedova A.Sh. (2017) Volumetric activity of radon within fault zones of Kirov-Kazhim and Pechora-Kolvin aulacogenes Volumetric activity of radon within fault zones. *Litosfera*, 17(6), 136–152. DOI: 10.24930/1681-9004-2017-6-136-152

made from the ground surface. In the following years, a borehole with a depth of 50 cm was drilled for each measurement. A borehole was necessary to reduce the influence of meteorological conditions and soil layer. Summarizing the results obtained in different years allowed to conclude that within the fault zone the values of the VRA from the borehole were in the range from 200 to 2000 Bq/m³. The values of the VRA obtained from the ground surface was not higher, than 300 Bq/m³. In 2015–2016 years, express radon survey was carried out according to a previous method in the western side of the PKA. The results showed that the fault zones were clearly reflected in the radon field by elevated values of the VRA in the range 400–1555 Bq/m³. The highest values of the VRA was recorded within the faults which most closely approached to the ground surface. The results of the express emanation survey on the territory of two aulacogenes show that all the fault zones clearly appear in the radon field by increased values of the VRA. The maximum values of the radon activity correspond to tectonic dislocation, which most closely approached to the ground surface. Along the fault line values of the VRA can change. At different times within a single fault site, the VRA values can also fluctuate. The width of the increased values the VRA zone is always greater than the own width of fault. Thus, the spatial distribution of radon over the faults is estimated as quite complex, but using this method for complex study of fault tectonics is promising.

Keywords: aulacogen, faults, express emanation survey, volumetric activity of radon

Acknowledgements

The work was supported by the program of fundamental research of UB RAS No. 15-18-5-11.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение глубинного строения, тектоники, неотектоники связано, прежде всего, с выявлением новых критериев для поиска месторождений рудных полезных ископаемых и наиболее актуальных для территории Тимано-Североуральского региона месторождений углеводородов. Немаловажную роль в последние годы такие исследования играют и для рассмотрения вопросов сейсмичности региона. Особое внимание в данном аспекте уделяется изучению разломной тектоники. Выделение разломных зон на местности имеет существенное практическое значение для определения границ распространения связанных с ними рудопоявлений, месторождений углеводородов, землетрясений и т. д. Для большей части Тимано-Североуральского региона, выделение разломов геологическими методами невозможно из-за слабой обнаженности коренных пород. Поэтому при их изучении на первое место выходят геофизические методы. Несомненно, что наиболее надежными являются сейсмические методы, однако не всегда удается получить материалы хорошего качества, применяя эти дорогостоящие, и в основном направленные на поиски углеводородов методы. Более доступные в производстве данные магнито-, электро- и гравиразведки также позволяют картировать разломные зоны, причем наиболее эффективным является их комплексное применение.

Территория Республики Коми находится в области сочленения трех крупных структур: северо-восточная часть Русской плиты Восточно-Европейской платформы, южных и центральных частей Печорской плиты (включая Тиманское поднятие), а также Приполярной и Полярной частей Западного Урала. Границей между Русской и Печорской плитами является юго-западное ограничение Тимана – Западно-Тиманский разлом. Вос-

точная граница плитной части территории республики ограничивается Главным Уральским разломом.

В результате подробного анализа всего разностороннего материала по глубинному строению региона, неотектонической активности, дизъюнктивной тектоники, исторических и собственных инструментальных сейсмологических данных нами выделены наиболее потенциально активные в сейсмическом отношении участки и составлена схема сейсмического районирования масштаба 1 : 1 000 000, где отмечаются Кировско-Кажимская, Припечорская и Мезенско-Вашкинская зоны сейсмической интенсивности, отмеченные ранее зарегистрированными землетрясениями. Наиболее сейсмически активной является Кировско-Кажимская зона. В пределах данной территории были известны землетрясения на Тимане, Кировско-Кажимском (ККА) и Печоро-Колвинском (ПКА) авлакогенах. В связи с этим основное внимание нами было обращено именно на эти структуры.

В рамках геофизических исследований нами были выполнены работы для выявления поисковых признаков разломов, где был применен комплекс методов, решающих следующие задачи:

- 1) изучение магнитных и гравиметрических полей района исследований и определение местоположения зон разрывов в первом приближении;
- 2) изучение геологического разреза с помощью сейсмических данных;
- 3) измерение объемной активности Rn-222, как фактора наличия повышенной трещиноватости в геологическом разрезе и присутствия в породах материнских изотопов U и Th;
- 4) расчленение геологического разреза методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и наполнение его литологическим содержанием на основе предельных значений удельного электрического сопротивления с последующим качествен-

ным определением на флюидную проницаемость горных пород разреза;

5) измерение среднеквадратичных значений микросейсмических сигналов в области узкополосного спектра плотности и мощности по линейному профилю вкрест простирания разломной зоны.

Начиная с 2013 г. нами проводятся комплексные исследования в пределах ККА, Среднего и Южного Тимана, ПКА. В данной работе мы коротко остановимся на результатах исследований территории авлакогенов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задача наших исследований заключалась в отработке методики экспрессной эманационной съемки в условиях Кировско-Кажимского (ККА) и Печоро-Колвинского (ПКА) авлакогенов, выявления закономерностей пространственных вариаций объемной активности радона (ОАР) и оценки активности разломных зон. Работы проводились на западном и восточном бортах центральной и северной частях Кировско-Кажимского авлакогена, а также центральной части западного борта Печоро-Колвинского авлакогена. Разломные зоны выделялись по данным сейсмических методов, где на временных разрезах явно выражены большие амплитуды вертикальных смещений. В связи с этим задача радоновой съемки – это определение ОАР в пределах разломных зон, а также до и после них с целью выделения зон с наиболее проницаемыми породами.

Рассматриваемая крупная платформенная структура, известная в литературе как Казанско-Кажимский палеопргоиб (авлакоген), трансформировавшаяся в позднейшее время своего развития в инверсионный Вятский мегавал (Вятскую зону дислокаций), является структурой I-го порядка Волго-Уральской антеклизы. Эта долгоживущая структура со сложной историей развития вытянута в субмеридиональном (уральском) направлении более чем на 600 км (от пос. Кажим на севере до г. Казань на юге) и имеет ширину от 40 до 150 км. Структура отчетливо выделяется по низким гипсометрическим глубинам залегания поверхности кристаллического основания и резкому увеличению мощности верхнедевонских отложений. Границы структуры, по мнению многих геологов, занимавшихся вопросами ее глубинного строения, имеют тектоническую природу и в породах кристаллического основания сопровождаются серией тектонических разломов глубокого заложения субширотного, северо-западного и северо-восточного направлений, секущих основание структуры на крупные блоки, также с признаками их неоднократного подновления.

Казанско-Кажимский прогиб территориально охватывает юг Республики Коми, центральные

районы Кировской области и восточные районы Марийской Республики, разобщая Котельничско-Сысольскую и Татарско-Коми-Пермьскую системы сводовых поднятий (рис. 1).

На севере он прослеживается к Предтимастью и раскрывается в сторону Вычегодского прогиба. Необходимо обратить внимание на южное замыкание Казанско-Кажимского авлакогена, граница которого исследователями очерчивается по-разному. В.М. Проворов, В.Я. Кучин, А.Н. Коротких, Ю.Н. Кальнов южное замыкание авлакогена ограничивают территорией Республики Марий Эл. Е.Д. Войтович полагает, что Казанско-Кажимский прогиб вдается своим южным окончанием в западную часть Татарстана на расстояние 130 км при ширине 80–90 км. Сомнения в выделении здесь южного фрагмента авлакогена вызывают материалы региональных сейсморазведочных профилей МОГТ, на которых нет выразительного грабенообразного прогиба по отложениям низов осадочного чехла, как нет и инверсионного валообразного Вятского поднятия в отложениях перми-карбона, т. е. элементов-признаков, по которым, собственно, и выделяется авлакоген (В.И. Богацкий, Б.П. Богданов). Все признаки авлакоген носит только до широты г. Кирова, поэтому нами он рассматривается под названием Кировско-Кажимский авлакоген (ККА).

Тектоническое районирование кристаллического фундамента Кировско-Кажимского авлакогена (ККА) и прилегающих территорий выполнялось на основе интерпретации данных сейсморазведочных работ и бурения, а также гравитационного и магнитного полей [Кругликов, 2007; Удоратин, 2014].

Печоро-Колвинский прогиб располагается в центральной части Печорской синеклизы. Административно его южная и центральная части находятся в республике Коми, а северная – в Ненецком автономном округе. Эта надпорядковая структура характеризуется северо-западным простиранием, длиной 700 км и шириной 60–120 км. На западе авлакоген граничит с Ижма-Печорской впадиной, на востоке Колвинской системой разломов отделяется от Хорейверской впадины. На севере имеет общую границу с Северо-Печорской моноклиной. На юге граничит со структурами Предуральского краевого прогиба (рис. 2).

По поверхности байкальского фундамента авлакоген разбит на отдельные разноамплитудные блоки которые по осадочному чехлу соответствуют структуры I порядка: на западе – Печоро-Кожвинский мегавал, на востоке – Колвинский мегавал, центральную часть занимает Денисовский прогиб. В свою очередь они осложнены структурами более низкого порядка. По осадочному чехлу Печоро-Колвинский авлакоген выделяется в единую крупную сложнопостроенную структуру на основе общности геологического развития в

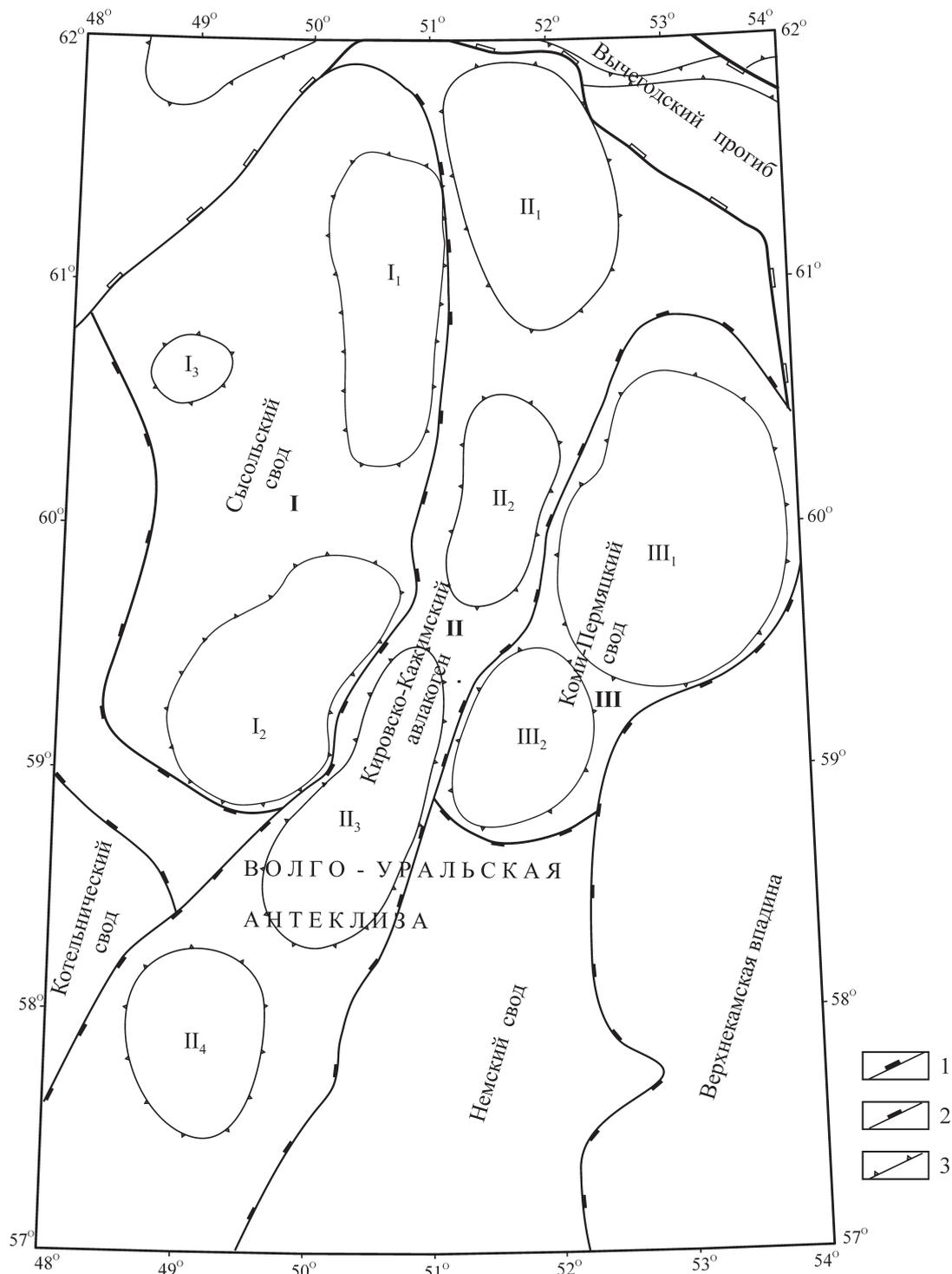


Рис. 1. Карта тектонического районирования Кировско-Кажимского авлакогена и прилегающих территорий [Удуратин, 2014].

Границы структур: 1 – надпорядковых, 2 – первого порядка, 3 – второго порядка; Структуры второго порядка: I₁ – Поингский выступ, I₂ – Летниковский выступ, I₃ – Лойминский выступ; II₁ – Локчимская депрессия, II₂ – Кажимская депрессия, II₃ – Слободская депрессия, II₄ – Верхошижемская депрессия, III₁ – Лойненский выступ, III₂ – Троицкий выступ.

Fig. 1. Tectonic map of Kirov-Kazhim aulacogene and surrounding areas [Udoratin, 2014].

Structure borders: 1 – superorder, 2 – the first order, 3 – the second order; Second order structures: I₁ – Poinga swell, I₂ – Letnikov swell, I₃ – Loyminsk swell; II₁ – Lokchim depression, II₂ – Kazhim depression, II₃ – Slobodsk depression, II₄ – Verhoshizhensk depression, III₁ – Loynensk swell, III₂ – Troitsk swell.

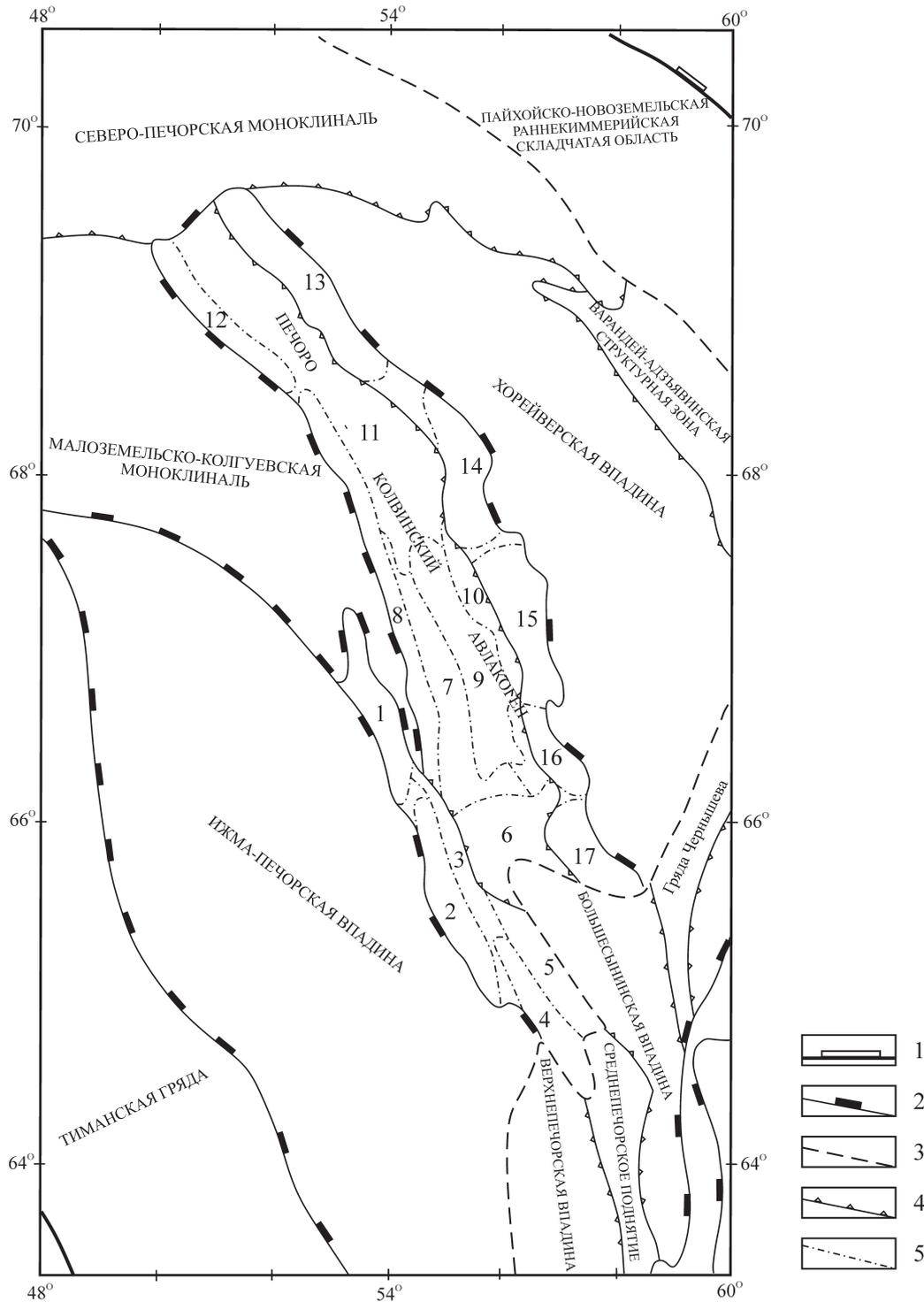


Рис. 2. Карта тектонического районирования по осадочному чехлу Печоро-Колвинского авлакогена и прилегающих территорий [Белякова и др., 2008].

Границы тектонических элементов: 1 – регионов, плит, с различным временем становления континентальной коры; 2 – плит и складчатых систем с единым временем становления континентальной коры; 3 – крупнейших (надпорядковых) структур; 4 – крупных (I порядка) структур; 5 – средних (II порядка) структур. Структуры второго порядка: Печоро-Колвинский мегавал: 1 – Лебединский вал; 2 – Мутноматериковый вал; 3 – Нялгаюская ступень; 4 – Лыжско-Кыртаельский вал; 5 – Печорогородская ступень; 6–7 – Денисовский прогиб: 6 – Лодминская перемычка, 7 – Тибейвисская депрессия; 8 – Шапкина-Юрьяхинский вал; 9 – Лайский вал; 10 – Верхнелайская депрессия; 11 – Усть-Печорская депрессия; 12 – Колоколморский вал; Колвинский мегавал: 13 – Поморский вал; 14 – Ярейюский вал; 15 – Харьягинский вал; 16 – Возейский вал; 17 – Усинский вал.

Fig. 2. The map of tectonic zonation for sedimentary cover of the Pechora-Kolva aulacogen and surrounding areas [Belyakova et al., 2008].

The boundaries of tectonic elements: 1 – regions, slabs, with different time of the continental crust formation; 2 – plates and fold systems with a universal time of continental crust formation; 3 – superorder structures; 4 – first order structures; 5 – second order structures. Second order structures: Pechora-Kozhva megaswell: 1 – Lebedin swell; 2 – Mutnomaterik swell; 3 – Nyaltayus stage; 4 – Lyzha-Kyrtael swell; 5 – Pechorogorodsk stage; 6–7 – Denisov downfold: 6 – Lodmin bridge; 7 – Tibeyvisk depression; 8 – Shapkina-Jur'yaha swell; 9 – Laya swell; 10 – Verkhnelaya depression; 11 – Ust'-Pechora depression; 12 – Kolokolmorsk swell; Kolva megaswell: 13 – Pomorsk swell; 14 – Yareiyusk swell; 15 – Khar'yaga swell; 16 – Vozey swell; 17 – Usinsk swell.

до- и послеинверсионные этапы развития, наличием значительных мощностей ниже и среднепалеозойских отложений по сравнению с прилегающими Ижма-Печорской и Хорейверской впадинами.

Эманационный метод – один из старейших методов радиометрической разведки месторождений полезных ископаемых, широко используемый для решения фундаментальных задач сейсмологии, а также в инженерной и промысловой геофизике. Измерения концентрации радона в подпочвенном воздухе проводятся для различных в геодинамическом отношении регионов с целью выявления разломов, определяемых в тектонике как активные.

Газово-эманационная съемка для картирования тектонических нарушений успешно применялась в СССР в 70–80-е годы прошлого века, однако в последние два десятилетия интенсивность подобного рода работ сократилась до критического, для существования данного метода, количества. Результаты классических исследований в области эманационной съемки (работы А.Г. Граммакова, Ю.П. Булашевича, И.М. Хайковича и др.) позволяют при помощи покровных отложений мощностью до 8 м связать радоновые аномалии в приповерхностном слое с разрывными нарушениями, объясняя это несколько большим, чем в ненарушенных породах, коэффициентом эманирования и диффузии газа [Овсюченко и др., 2013].

Изучением радоновой проблемы занимались такие исследователи как С. Ломбарди, В.И. Уткин, М.В. Жуковский, П.В. Коваль, Г.И. Войтов, А.А. Спивак, К.Ж. Семинский, А.А. Бобров, А.В. Черемных, Н.О. Кожевников и др. Они занимались, в основном, картированием разломных сместителей или районированием территории по радоноопасности, причем в большинстве работ разломы рассматривались, как узкая зона тектонита магистрально-го сместителя.

В районе Западного Прибайкалья (Байкальский рифт) и Южного Приангарья (юг Сибирской платформы) была проведена профильная радоновая съемка для 26 разнотипных разломов. Установлено, что изученные дизъюнктивы выделяются в поле радона в виде широких зон аномальных значений ОАР, поперечные размеры которых примерно в 1.4 раза больше ширины зоны, повышенной трещиноватости, сформировавшейся в результате перемещения крыльев. Показано, что радоновая активность разломных зон при прочих равных усло-

виях зависит от их размера, морфогенетического типа и степени тектонической активности в кайнозое. Она в среднем выше у рифтовых дизъюнктивов по сравнению с краевыми платформенными, больше у сбросов по отношению к сдвигам, возрастает с увеличением масштабного ранга и степени тектонической активности разлома, являющейся наиболее значимым геодинамическим фактором формирования эманационного поля [Семинский и др., 2009].

При проведении эманационных работ были отмечены некоторые структурные особенности разломных зон, связанные с распределением поля объемной активности радона (ОАР) от типа тектонита. Если тектонит представлен брекчией дробления, то в поле ОАР он отмечается максимумом, если глинякой трения, то ось разломной зоны отмечается минимумом, а в крыльях наблюдаются области повышенных значений. Еще одной из особенностей проявления структуры разломной зоны в поле ОАР стала асимметрия пиков, выраженная растянутостью по направлению падения оси разломной зоны, имеющая место на некоторых участках со сбросовым типом подвижек. Это объясняется тем, что висячее крыло при тектонических подвижках разрушается сильнее. Обобщив полученные данные, была составлена модель распределения ОАР над условной разломной зоной, которая выделяется в эманационном радоновом поле в виде аномалий [Семинский и др., 2009].

Измерения объемной активности радона (ОАР) проводились при помощи радиометра РРА-01М-01, характеризующего чувствительностью не менее 1.2×10^{-4} м³/(с Бк) и 30-процентным пределом допускаемой относительной погрешности. Совместно с радиометром использовалось пробоотборное устройство ПОУ-04.

Условия измерения и отбора проб с поверхности земли:

1. Температура окружающего воздуха от минус 2° до +50°.
2. Относительная влажность до 100% при +25°.
3. Атмосферное давление от 84 до 106.7 кПа (630–800 мм рт. ст.).
4. Не допускается проведение отбора проб с поверхности мерзлого или залитого водой грунта.
5. Блоки радиометра должны быть защищены от прямого воздействия солнечных лучей и атмосферных осадков.

Измерения ОАР выполнялись как с поверхности земли, так и со скважины. Для каждого измерения выбралась площадка 30×30 см, очищенная от мусора, растительности и камней, на которой бурилась скважина диаметром 10 см и глубиной 50 см. Измерения начинались не раньше, чем через 20 минут после подготовки участка. В качестве осушителя почвенного воздуха использовался патрон-осушитель, заполненный индикаторным гранулированным силикагелем. Шаг между точками наблюдения составлял от 500 до 1000 м; число измерений на одном пункте – от 2 до 5, в зависимости от вариаций полученных значений. Время одного измерения в зависимости от выбранного режима – от 20 до 60 мин. После каждого замера осуществлялась прокачка системы окружающим воздухом в течение четырех минут. Все полученные значения радоновой активности записывались в специальный журнал.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Опытные работы

В 2012 г. нами впервые проводился мониторинг ОАР на западном борту центральной части Кировско-Кажимского авлакогена по профилю Крутой Лог–Липовка. В качестве эталонного был выбран участок в пределах разломной зоны,

отчетливо прослеживающийся на глубинном сейсмическом разрезе по профилю 080605 (рис. 3) большими амплитудами вертикальных смещений между населенными пунктами Крутой Лог и Липовка (рис. 4, 5, 6). В течение последующих 2013–2014 гг. были продолжены наблюдения по отработанным ранее точкам.

На рис. 5 приведены графики распределения вариаций поля радона в пределах разломной зоны вдоль линии профиля Крутой Лог–Липовка.

В 2012 г. мониторинг ОАР проводился с поверхности земли. На графике (рис. 5а) отчетливо выделяются три участка повышенных значений ОАР: Р77, Р79, Р81–83 с максимальным значением в районе пункта наблюдения Р79. В 2013 г. мониторинг ОАР также выполнялся с поверхности земли. Анализ графиков (рис. 5б) показывает, что характер поля радона, в целом, повторяет результат 2012 г. Это области повышенных значений ОАР в точках Р77, Р79, Р81–83, но с явным смещением максимальных значений ОАР в пункте наблюдения Р81–83. В то же время на южном окончании участка наблюдения выделилась область повышенных значений в Р86–87.

В 2014 г. мониторинг ОАР проводился с отбором проб из скважины. Результат исследований подтвердил выполненные в 2012–2013 гг. работы. На графике (рис. 5в) отчетливо повторились области повышенных значений ОАР в точках Р77, Р79,

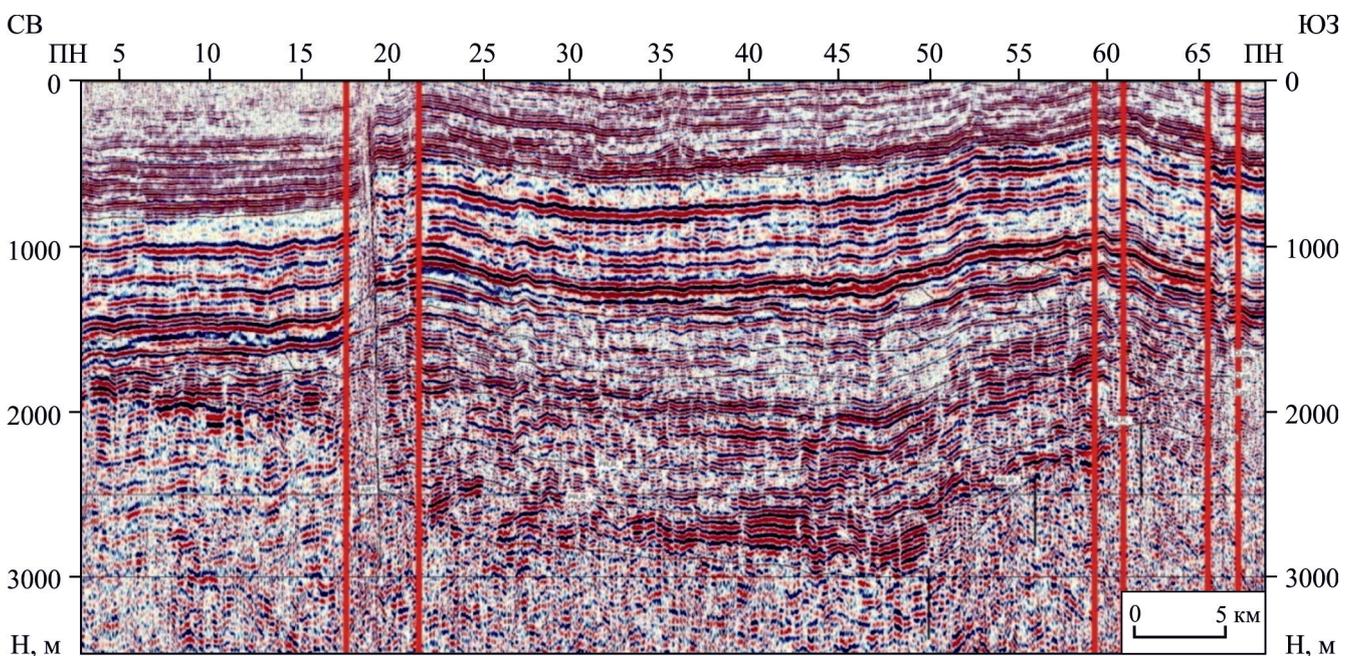


Рис. 3. Фрагмент глубинного сейсмического разреза через центральную часть Кировско-Кажимского авлакогена по профилю 080605 (П.В. Кругликов, 2007)

Fig. 3. The fragment of deep seismic section across the central part of the Kirov-Kazhim aulacogen on profile 080605 (P.V. Kruglikov, 2007).

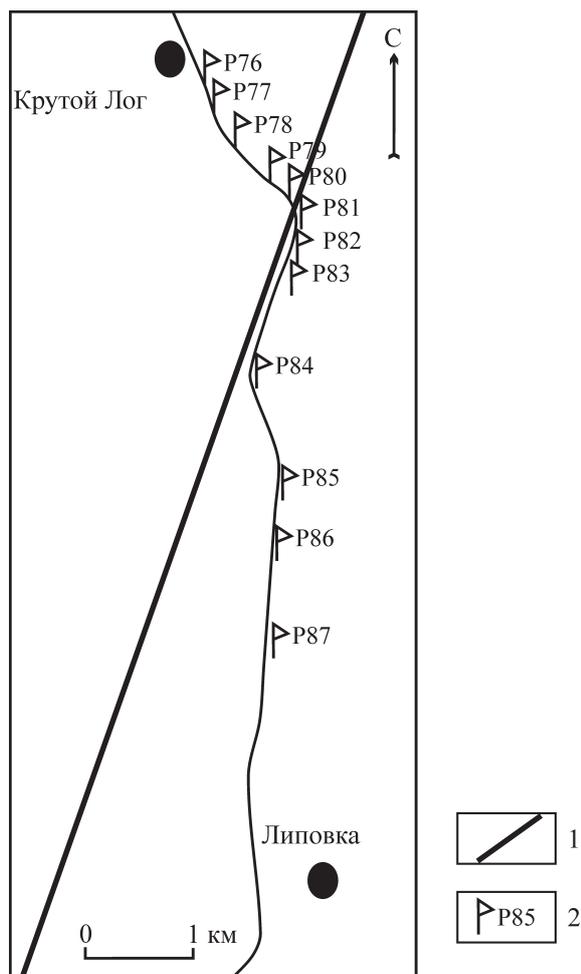


Рис. 4. Схема участка проведения мониторинга ОАР на опытном участке Крутой Лог–Липовка.

1 – зона разлома, 2 – пункты наблюдения.

Fig. 4. The scheme of the VRA monitoring station on the experimental plot Krutoy Log–Lipovka.

1 – fault zone, 2 – observation points.

P83. С некоторой условностью можно отнести к повышенным значениям ОАР и область точки P86.

В итоге, обобщая полученные в разные годы результаты, можно сделать следующие выводы:

- на протяжении трех лет в одних и тех же областях разломной зоны отчетливо наблюдаются повышенные значения ОАР;

- в пределах разломной зоны значение ОАР со скважины, глубиной 50 см находятся в диапазоне от 200 до 1500 Бк/м³, и ниже 200 Бк/м³ за пределами зоны;

- в пределах разломной зоны значение ОАР с поверхности земли находятся в диапазоне от 30 до 280 Бк/м³, и близки к нулю за пределами зоны;

- при неоднократных измерениях ОАР на одной и той же точке наблюдения, значения, полученные

при замерах со скважины, находятся в наиболее узком диапазоне, т. е. нет большого разброса в отличие от значений, полученных при измерениях с поверхности земли.

Мониторинг ОАР в пределах разломных зон Кировско-Кажимского авлакогена

Работы выполнялись на западном и восточном бортах центральной и северной частях ККА. Измерения проводились как по линиям сейсмических профилей в зонах разломов, несколько перекрывая их, так и в областях, где разломы выделялись по данным потенциальных полей. Всего было отработано 40 участков, из них 15 на западном борту, 10 – на восточном борту, 15 – на северном окончании авлакогена. Общее количество точек составило 280, с различной степенью детальности по различным участкам, шаг между точками наблюдения – от 500 до 1000 м, число измерений на одном пункте – от 2 до 5, в зависимости от вариаций полученных значений, время одного измерения – от 40 до 60 минут.

В процессе обработки нами построены графики ОАР по отдельным профилям, пересекающим борта авлакогена. В результате выявлены характерные особенности поведения ОАР в пределах разломных зон.

Перед анализом полученных данных необходимо отметить, что построения карты разломной тектоники основывались на материалах сейсморазведочных работ и результатах интерпретации физических полей. Центральная и южная части авлакогена достаточно хорошо изучены сейсмическими работами, чего нельзя сказать о северной части. Построение схемы разломной тектоники в этой области является в определенной степени условной.

Рассмотрим результаты выполненных работ в северной части ККА по профилям Койгородок–Кажим (западный борт ККА), Турунь–Усть-Черная (восточный борт ККА), Кобра–Красная Речка–Лесной (западный и восточный борт ККА).

Профиль Койгородок–Кажим. Радоновая съемка выполнялась по профилю вдоль автомобильной дороги между с. Койгородок и п. Кажим с шагом 1 км (см. рис. 6, 7а) Всего отработано 28 пунктов наблюдения. На графике отчетливо выделяются четыре области повышенных значений ОАР: P5–P9, P14–P19, P23, P27 (рис. 7б). Три области соответствуют ранее выделенным разломным зонам. Участок P14–P19, отвечающий самым высоким значениям ОАР, располагается между известными разломами.

Профиль Турунь–Усть-Черная. Радоновая съемка выполнялась по профилю вдоль автомобильной дороги между поселками Турунь и Усть-Черная с шагом 1 км (см. рис. 6, 8а). Всего отработано 23 пункта наблюдения. На графике

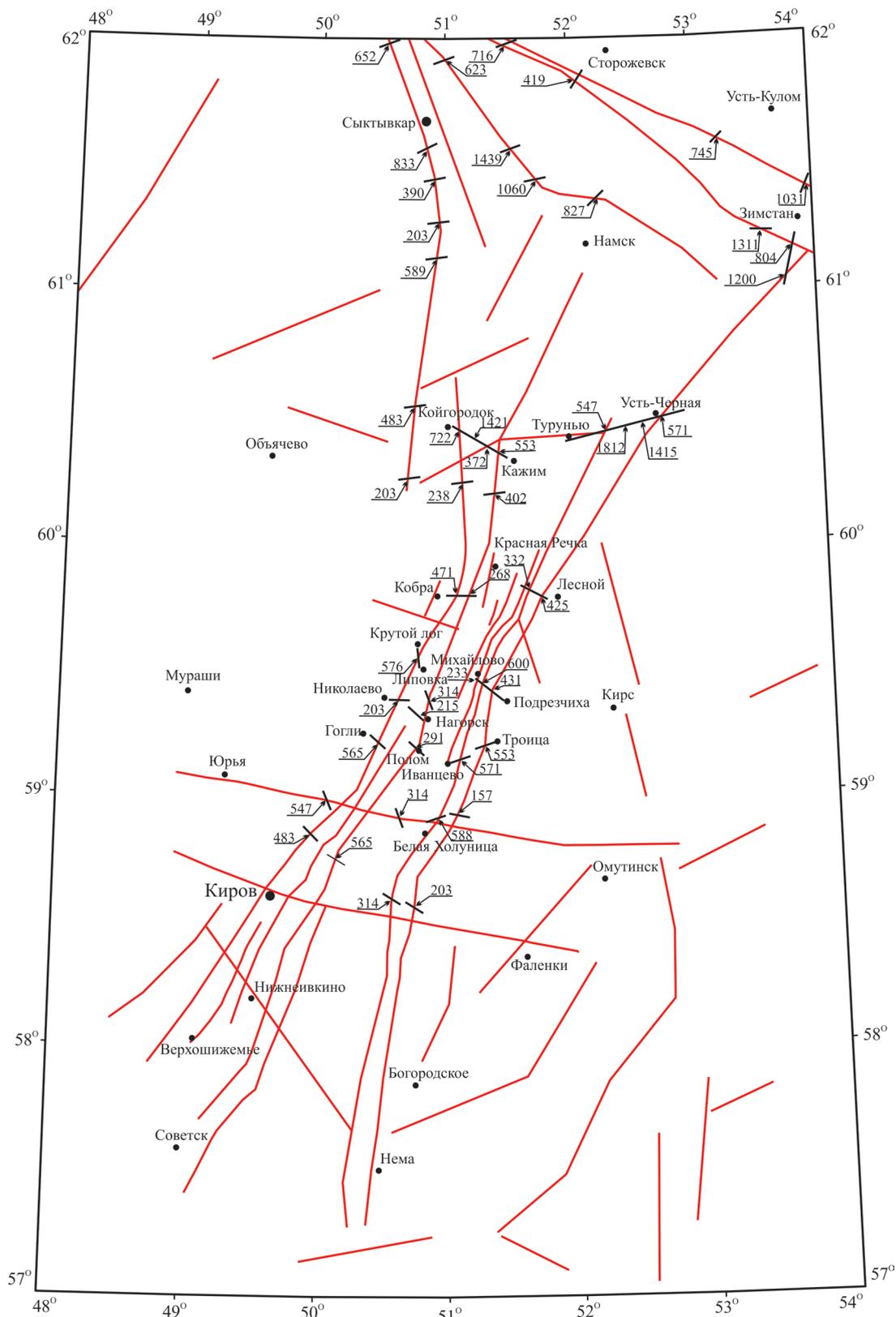


Рис. 6. Схема участков мониторинга ОАР в пределах разломных зон ККА. Стрелками показано максимальное значение ОАР на участке.

Fig. 6. The scheme of the VRA monitoring within the Kirov-Kazhim aulacogen. The arrows show the maximum value on the section.

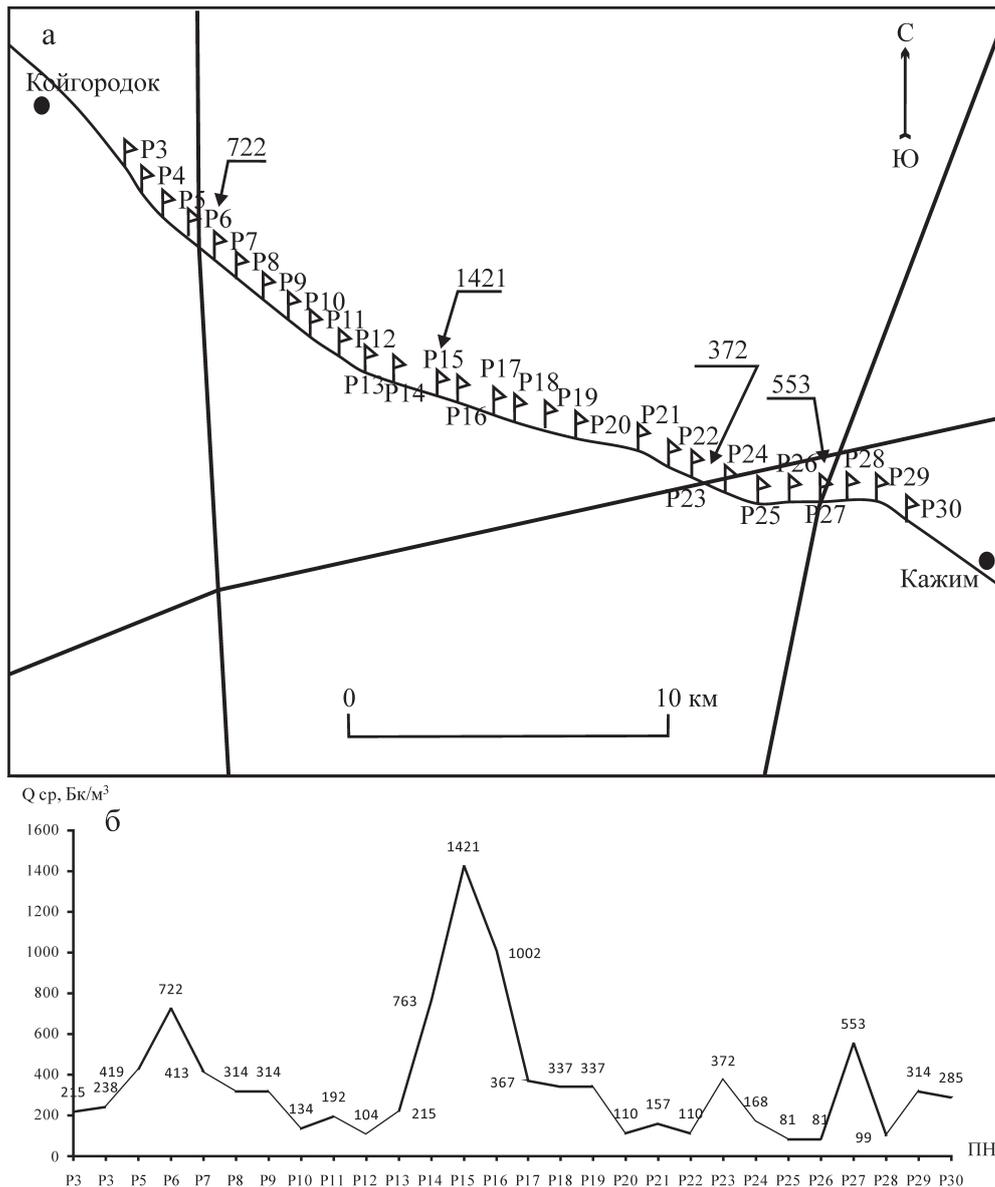


Рис. 7. а. Схема измерения ОАР по профилю Койгородок–Кажим. Стрелками показаны пункты с максимальные значения ОАР. Линии – разломы. б. График ОАР по профилю Койгородок–Кажим.

Fig. 7. а. The scheme of the VRA measurements on the profile Koygorodok–Kazhim. The arrows show maximum value of the VRA. Lines – faults. б. The graph of the VRA on the profile Koygorodok–Kazhim.

отчетливо выделяются две области повышенных значений ОАР: P40–P48, P51–P52, отвечающие двум ранее выделенным разломным зонам (рис. 8б). Между ними располагается участок P40–P48, который характеризуется самыми высокими значениями ОАР, с двумя выраженными на графике пиками.

Профиль Кобра–Красная Речка–Лесной. Следующее сечение авлакогена выполнено по профилю вдоль автомобильной дороги через населенные пункты Кобра–Красная Речка–Лесной (рис. 6, 9а). Измерения проводились в районах из-

вестных разломных зон с разрывом. На общем низком фоне, отчетливо выделяются относительно высокие значения ОАР, соответствующие разломным зонам (рис. 9б).

Профиль Михайлово–Подрезчиha. На данном участке рассматривается самая узкая часть авлакогена. На рис. 10б показан график ОАР по профилю Михайлово – Подрезчиha, пересекающий восточный борт ККА в центральной его части (см. рис. 6, 10а). График характеризуется сложной изрезанной формой, где на общем среднем фоне ОАР все-таки можно выделить явные повышения

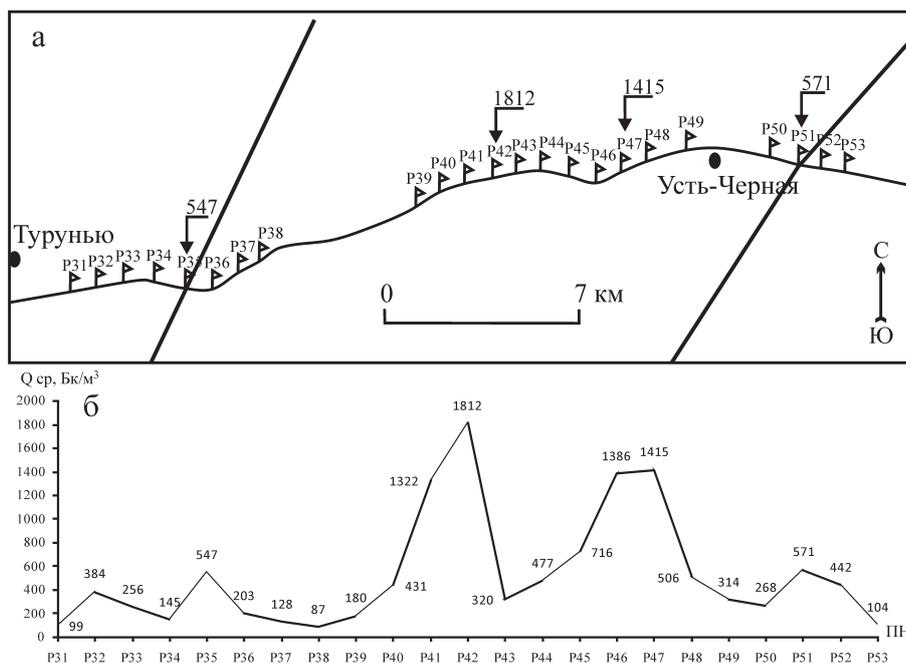


Рис. 8. а. Схема измерения ОАР по профилю Турунью–Усть-Черная. Стрелками показаны пункты с максимальные значения ОАР. Линии – разломы. б. График ОАР по профилю Турунью–Усть-Черная.

Fig. 8. a. The scheme of the VRA measurements on the profile Turun'ya–Ust'-Chyornaya. The arrows show maximum value of the VRA. Lines – faults. б. The graph of the VRA on the profile Turun'ya–Ust'-Chyornaya.

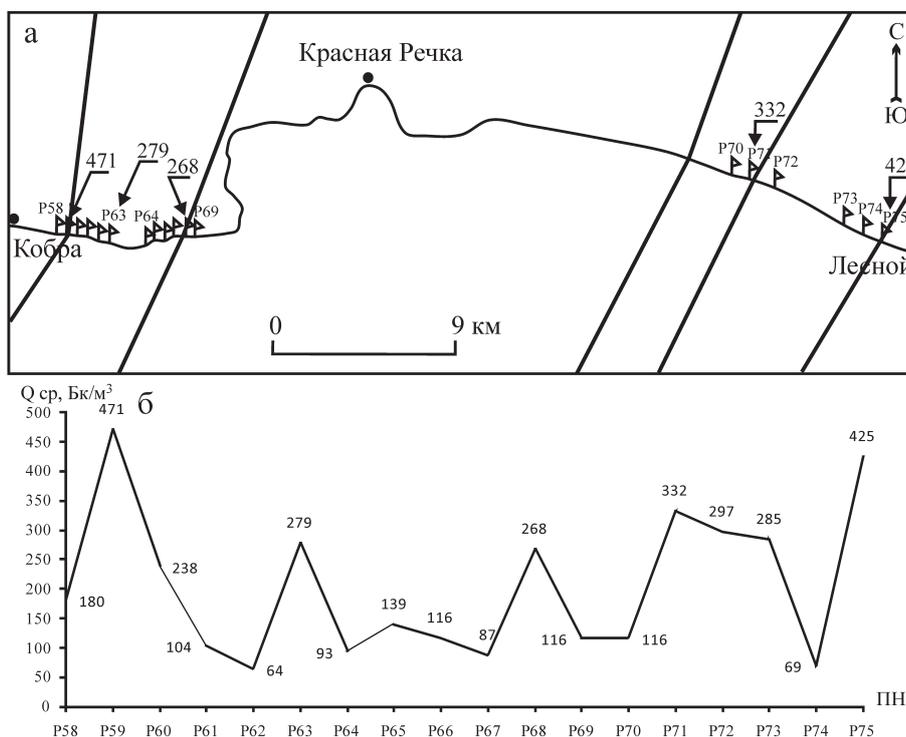


Рис. 9. а. Схема измерения ОАР по профилю Кобра–Красная Речка–Лесной. Стрелками показаны пункты с максимальные значения ОАР. Линии – разломы. б. График ОАР по профилю Кобра–Красная Речка–Лесной. Пунктирная линия – разрыв между пунктами наблюдения.

Fig. 9. a. The scheme of the VRA measurements on the profile Kobra–Krasnaya Rechka–Lesnoy. The arrows show maximum value of the VRA. Lines – faults. б. The graph of the VRA the profile Kobra–Krasnaya Rechka–Lesnoy. Dotted line – gap between observation points.

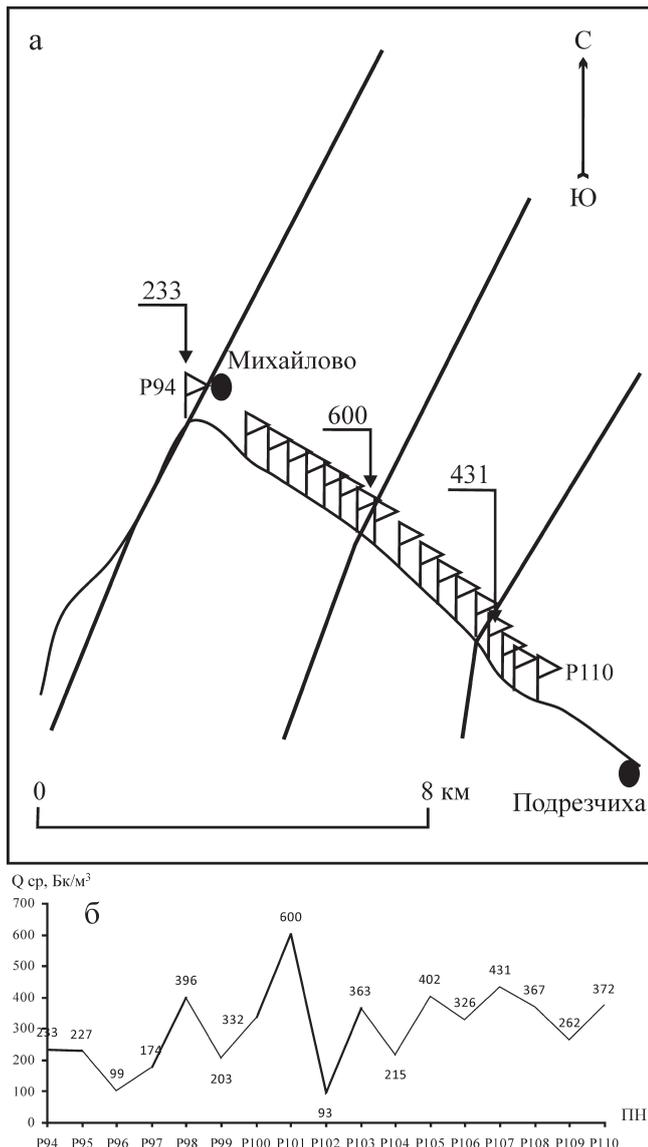


Рис. 10. а. Схема измерения ОАР по профилю Михайлово–Подрезчиha. Стрелками показано пункты с максимальные значения ОАР. Линии – разломы. б. График ОАР по профилю Михайлово–Подрезчиha.

Fig. 10. а. The scheme of the VRA measurements on the profile Mihaylovo–Podrezchiha. The arrows show maximum value of the VRA. Lines – faults. б. The graph of the VRA on the profile Mihaylovo–Podrezchiha.

в точках P98, P101, P105–108, отвечающие разломным зонам.

В центральной части ККА отработаны профили Николаево–Лыжана, Шабаны–Нагорск, Гогли–Заево, Зимята–Полом, Иванцево–Троица (см. рис. 6). Направление Николаево–Лыжана–Шабаны–Нагорск, а также Зимята–Полом характеризуется низким уровнем значений ОАР, где разломные

зоны не выражаются явно в поле радона их их выделение весьма условно. Отчетливо в поле ОАР выделяются разломы ККА по профилям Гогли–Заево, Иванцево–Троица (см. рис. 6).

Южная часть ККА охвачена наблюдениями лишь отдельными точками в пределах только разломных зон по равномерной сети (см. рис. 6).

Зона сочленения ККА и Вычегодского прогиба представлена погружением фундамента и контролируется серией разломов, которые в поле ОАР характеризуются также повышенными значениями, причем наиболее высокими в районе (см. рис. 6).

В итоге, обобщая полученные в разные годы результаты, можно сделать следующие выводы:

- в разломных зонах отчетливо наблюдаются повышенные значения ОАР;
- в пределах разломной зоны значения ОАР со скважины находятся в диапазоне от 200 до 2000 Бк/м³, и ниже 200 Бк/м³ за пределами зоны;
- в разное время в пределах одного участка разлома значения могут варьировать;
- вдоль линии разлома значения ОАР могут изменяться;
- ширина зоны повышенных значений ОАР больше самой зоны разлома;
- в разломных зонах, представленных полосой сбросов, расположенных на небольших расстояниях друг от друга, характер распределения ОАР достаточно сложный, здесь же затруднено затруднено выделение местоположения основных смесителей;

– разломные зоны, выделенные по данным сейсморазведочных методов, практически повсеместно характеризуются повышенными значениями ОАР. В отдельных случаях, когда разломы выделяются по данным потенциальных полей, могут наблюдаться повышенные значения ОАР, не привязанные к известным разломам, что может отвечать неизвестной ранее разломной зоне, в тоже время низкие значения ОАР могут говорить об ее отсутствии. Однако это утверждение должно носить предварительный характер и являться лишь поводом для более детальных работ.

При изучении разломных зон ПККА за основу была взята структурно-тектоническая карта фундамента Тимано-Североуральского региона 1 : 2 000 000 масштаба [Белякова, 2008]. Задача наших исследований на начальном этапе заключалась в интерпретации сейсмических данных, полученных в пределах авлакогена. Для этого было просмотрено более 2000 временных разрезов. Далее была проведена корреляция полученной схемы с картами магнитного и гравитационного поля масштаба 1 : 1 000 000. Сравнение показало, что практически все крупные разломы соответствуют градиентным зонам гравитационного поля. Это связано с внедрением по разломам интрузий ультраоснов-

ного или основного состава, которые имеют повышенную плотность или со структурными уступами в рельефе фундамента. В магнитном поле разломные зоны могут соответствовать как градиентным зонам, так максимумам и минимумам, что говорит о различном вещественном наполнении зон. В результате нами составлена схема разломной текто-

ники центральной и южной частей ПКА. На карте выделены Чаркаю-Пылевецкий (ЧП), Илыч-Чикшинский (ИЧ), Вуктыльско-Войвожский (ВВ), Шапкина-Юрьяхинский, Подчерем-Каменский (ПК), Печорогородско-Переборский (ПП) разломы, а также разломные зоны Колвинской системы и серия Лыжских (Лж, ЗЛж, ВЛж) разломов (рис. 11).

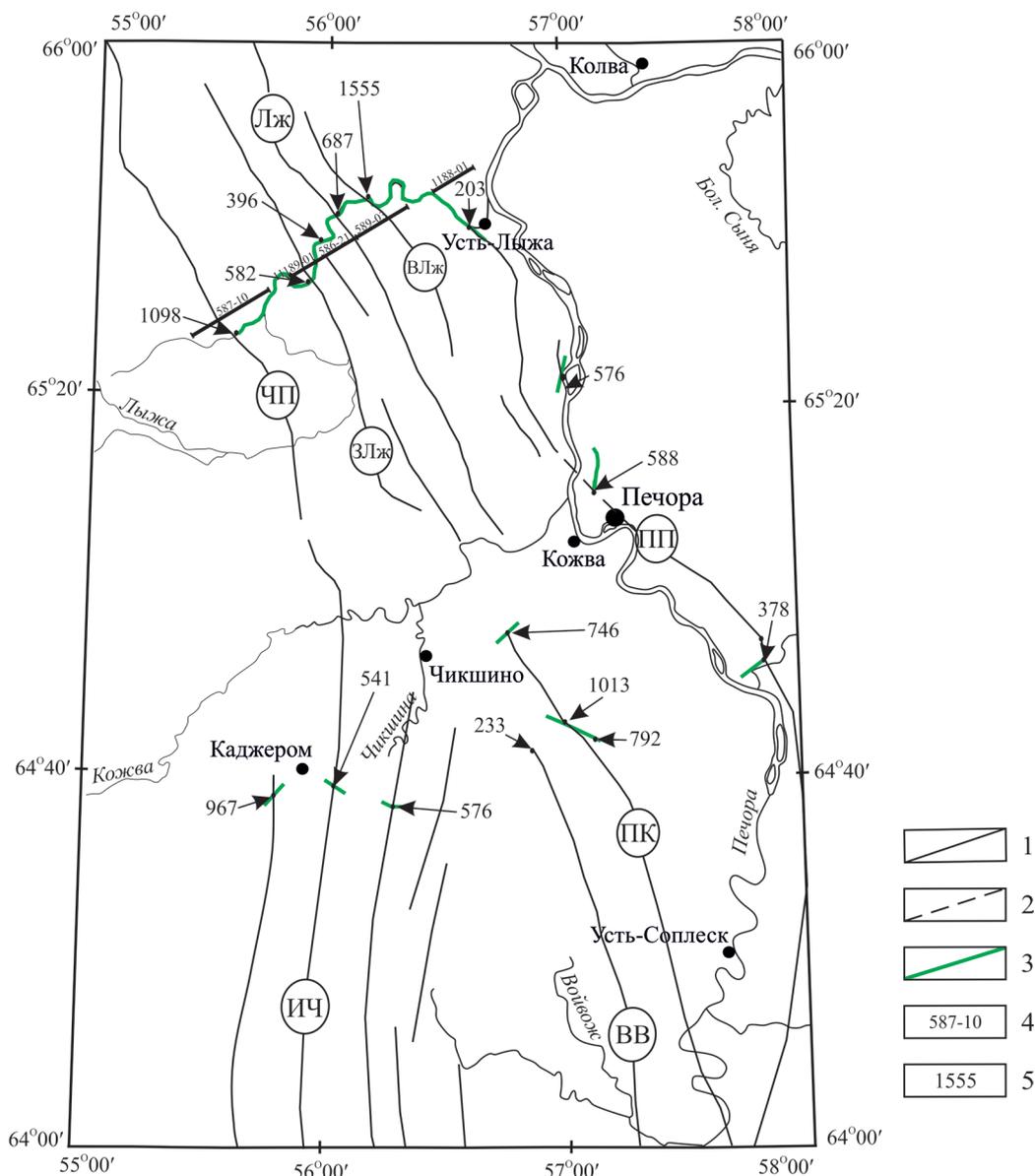


Рис. 11. Схема распределения ОАР в пределах Печоро-Кожвинского мегавала и прилегающих территорий.

1 – разломы, выделенные В.В. Удоратиным, Ю.Е. Езимовой по материалам ОАО “Севергеофизика”; 2 – предполагаемые разломы; 3 – профили радоновой съемки; 4 – номера сейсмических профилей; 5 – максимальные значения ОАР по профилям, Бк/м³. Разломы: ЧП – Чаркаю-Пылевецкий, ИЧ – Илыч-Чикшинский, Лж – Лыжский, ЗЛж – Западно-Лыжский, ВЛж – Восточно-Лыжский, ПК – Подчерем-Каменский, ВВ – Вуктыльско-Войвожский, ПП – Печорогородско-Переборский.

Fig. 11. The scheme of the VRA distribution within the Pechora-Kozhva megaswell and surrounding territories.

1 – faults identified by V. Udoratin, Yu. Ezimova according to the materials of OAO “Severgeofizika”; 2 – supposed faults; 3 – profiles of the radon emanation survey; 4 – seismic profile number 5 – values of the VRA, Bq/m³. Faults: ЧП – Charkayu-Pylemets, ИЧ – Ilych-Chikshyna, Лж – Lyzha, ЗЛж – West-Lyzha, ВЛж – East-Lyzha, ПК – Podcherem-Kamenka, ВВ – Vuktyl-Voyvozh, ПП – Pechoragorod-Perebor.

В 2015–2016 гг. экспрессная радоновая съемка проводилась на территории западного борта ПКА. Детальные работы в 2016 г. по измерению ОАР были проведены по р. Лыжа. Шаг наблюдения составлял 2 км. Всего отработано 29 пунктов наблюдения. По результатам исследования построен график изменения радоновой активности. Для детального сопоставления график ОАР был совмещен со сводным сейсмогеологическим разрезом, составленным по отдельным профилям, расположенным наиболее близко к выполняемым исследованиям (рис. 12). В результате анализа полученного материала можно сделать следующие выводы:

- разломные зоны, выделяемые на сейсмогеологическом разрезе, отчетливо отражаются в поле ОАР повышенными значениями в диапазоне 400–1555 Бк/м³;
- наибольшие значения ОАР отмечаются в пределах разломов, выходящих ближе к поверхности земли;
- участкам разреза с достоверно выделяемой зоной разлома отвечает хорошо выраженным максимальным значениям ОАР, тогда как сложно построенная разломная часть разреза характеризуется мозаичным полем ОАР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В решение проблемы комплексных исследований разломных зон нами выполнялась одна из поставленных задач, которая заключалась в отработке методики экспрессной эманационной съемки в условиях Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов, выявления закономерностей пространственных вариаций объемной активности радона и оценки активности разломов. Работы проводились на западном и восточном бортах в центральной и северной частях Кировско-Кажимского авлакогена, а также центральной части западного борта Печоро-Колвинского авлакогена. Разломные зоны выделялись по данным сейсмических методов, где на временных разрезах явно выражены большие амплитуды вертикальных смещений. В связи с этим задача радоновой съемки – это определение ОАР в пределах разломных зон, а также перед и за ними с целью выделения зон с наиболее проницаемыми породами.

В итоге, обобщая полученные в разные годы результаты, можно сделать следующие выводы:

- на протяжении трех лет в одних и тех же областях разломной зоны отчетливо наблюдаются повышенные значения ОАР;
- в пределах разломной зоны значения ОАР с поверхности земли находятся в диапазоне от 30 до 300 Бк/м³, и близки к нулю за пределами зоны;

- в пределах разломной зоны значения ОАР со скважины, глубиной 50 см находятся в диапазоне от 200 до 2000 Бк/м³, и ниже 200 Бк/м³ за пределами зоны;

- при неоднократных измерениях ОАР в одной и той же точке наблюдения, значения, полученные при замерах со скважины, находятся в наиболее узком диапазоне, т. е. здесь нет большого разброса в отличие от значений, полученных при измерениях с поверхности земли.

- в разное время в пределах одного участка разлома значения ОАР могут варьировать;

- вдоль линии разлома значения ОАР могут изменяться;

- ширина зоны повышенных значений ОАР больше самой зоны разлома;

- в разломных зонах, представленных полосой сбросов, расположенных на небольших расстояниях друг от друга, характер распределения ОАР достаточно сложный, здесь же затруднено выделение местоположения основных сместителей;

- несмотря на то, что разломы на исследуемой территории не входят на поверхность и перекрыты четвертичными отложениями, они характеризуются четко выраженными повышенными значениями ОАР.

- наибольшие значения ОАР отмечаются в пределах разломов, выходящих ближе к поверхности земли;

- участкам разреза с достоверно выделяемой зоной разлома соответствуют хорошо выраженные максимальные значения ОАР, тогда как сложно построенная часть разлома характеризуется мозаичным полем ОАР;

- разломные зоны, выделенные по данным сейсморазведочных методов, практически повсеместно отвечают повышенным значениям ОАР. В случаях, когда разломы выделяются по данным потенциальных полей, наблюдается различная картина. В полях ОАР прослеживаются повышенные значения, не привязанные к известным разломам, что может отвечать неизвестной ранее разломной зоне, или же не точному выделению местоположения зоны. Однако, это утверждение должно носить предварительный характер и являться лишь поводом для более детальных работ;

- пространственное распределение радона над разломами оценивается как достаточно сложное, однако использование данного метода для комплексного изучения разломной тектоники представляется перспективным.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН № 15-18-5-11.

ПЕЧОРО-КОЖВИНСКИЙ МЕГАВАЛ

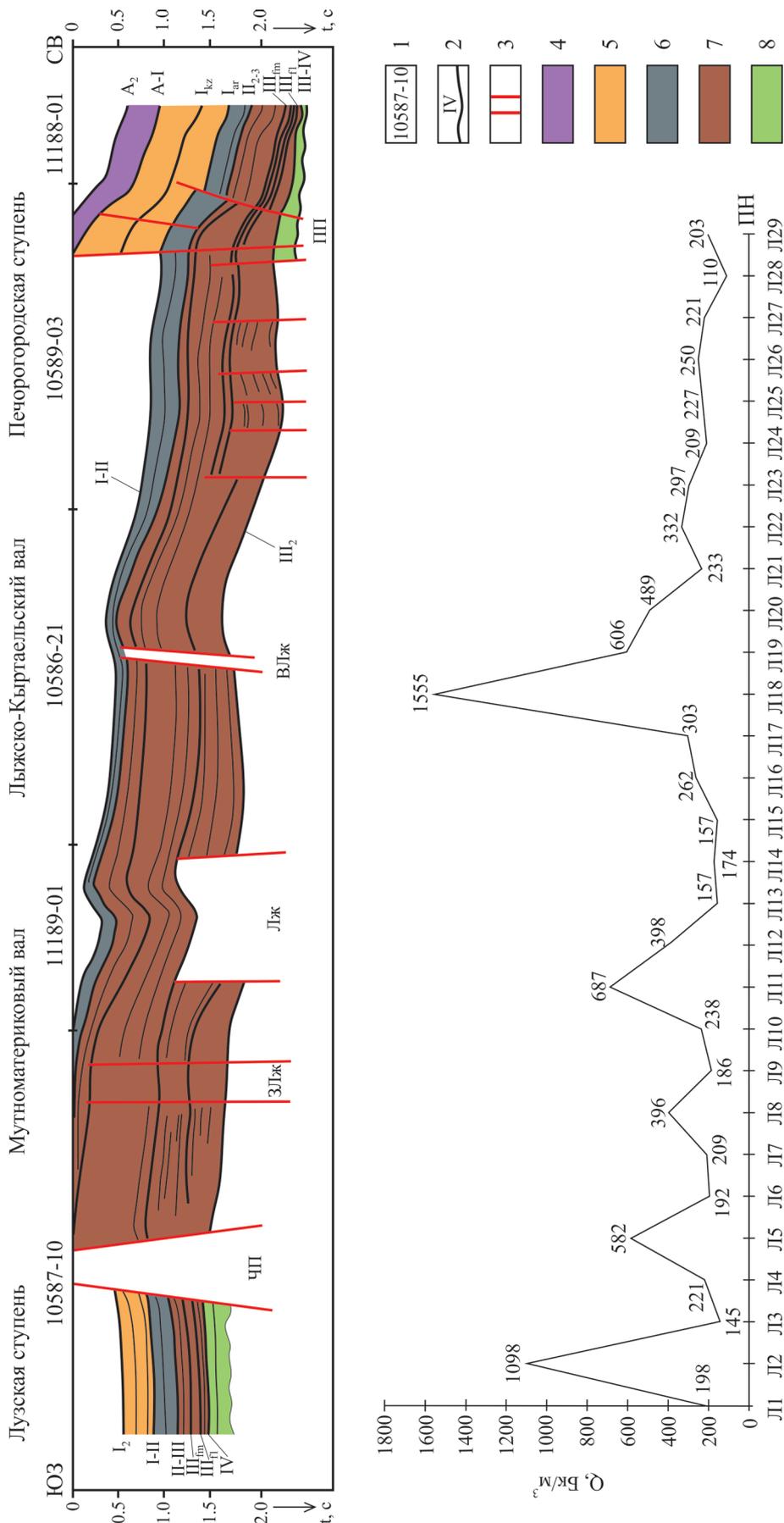


Рис. 12. График распределения ОАР вдоль сводного сейсмогеологического разреза по профилям 587-10, 11189-01, 526-21, 589-03, 1188-01 (сводный сейсмогеологический разрез составила Ю.Е. Езимова по материалам ОАО «Севергеофизика»).

1 – номер сейсмического профиля, 2 – отражающие горизонты, 3 – разломы; 4–8 – возраст отложений: 4 – триасовый, 5 – пермский, 6 – каменноугольный, 7 – девонский, 8 – силурийский; названия разломов и местоположение профилей см. рис. 11.

Fig. 12. The graph of the VRA distribution along consolidated seismogeological section on profiles 587-10, 11189-01, 526-21, 589-03, 1188-01 (the composite seismogeological section was made by Yu. Ezimova according to the materials of OAO “Severgeofizika”).

1 – number of seismic profile, 2 – reflecting horizons, 3 – faults; 4–8 – age of sediments: 4 – Triassic, 5 – Permian, 6 – Carboniferous, 7 – Devonian, 8 – Silurian; faults name and location of seismic profiles see in Fig. 11.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Белякова Л.Т., Богацкий В.И., Богданов Б.П., Довжикова Е.Г., Ласкин В.М. (2008) *Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна*. Киров: "Кировская областная типография". 288 с.
- Кругликов К.В. (2007) Регионально-зональные сейсмо-разведочные работы на Великорецкой площади в Кировской области. Поваровка. (Не опубликовано)
- Овсюченко А.Н., Хилько А.В., Шварев С.В., Костенко К.А., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Новиков С.С., Ларьков А.С. (2013) Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи-Краснополянском районе. *Физика Земли*, (6), 116-138.
- Семинский К.Ж., Бобров А.А., Дэмбэрэл С. (2014) Вариации объемной активности радона в разломных зонах земной коры: пространственные особенности. *Физика Земли*, (6), 80-98.
- Удоратин В.В. (2014) Тектоническое районирование кристаллического фундамента Кировско-Кажимского авлакогена и прилегающих территорий. *Литосфера*, (3), 32-40.
- Belyakova L.T., Bogatskii V.I., Bogdanov B.P., Dovzhikova E.G., Laskin V.M. (2008) *Fundament Timano-Pechorskogo neftegazonosnogo baseina* [The basement of the Timan-Pechora oil and gas basin]. Kirov, Kirovskaya oblastnaya tipografiya Publ., 288 p. (In Russian)
- Kruglikov K.V. (2007) *Regional'no-zonal'nye seismo-razvedochnye raboty na Velikoretskoi ploshchadi v Kirovskoi oblasti. Povarovka*. (In Russian, unpublished).
- Ovsyuchenko A.N., Hil'ko A.V., Shvarev S.V., Kostenko K.A., Marakhanov A.V., Rogozhin E.A., Novikov S.S., Lar'kov A.S. (2013). Complex geological and geophysical studies of active faults in the Sochi-Krasnaya Polyana region. *Fizika Zemli*, (6), 116-138. (In Russian)
- Seminskiy K.Zh., Bobrov A.A., Demberel S. (2014) Variations of the volum radon activity in the fault zones of the crust: spatial features. *Fizika Zemli*, (6), 80-98. (In Russian)
- Udoratin V.V. (2014) Tectonic zoning of the crystalline basement Kirov-Kazhim aulacogen and surrounding areas. *Litosfera*, (3), 32-40. (In Russian)