

УДК 551.243; 550.389.1
DOI 10.19110/1994-5655-2020-1-55-68

**В.В. УДОРАТИН, А.Ш. МАГОМЕДОВА,
Ю.Е. ЕЗИМОВА**

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАПАДНО-ТИМАНСКОГО РАЗЛОМА

*Институт геологии им. акад. Н.П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

udoratin@geo.komisc.ru;
asmagomedova@geo.komisc.ru;
yeezimova@geo.komisc.ru

**V.V. UDORATIN, A.SH. MAGOMEDOVA,
YU.E. EZIMOVA**

RESULTS OF GEOPHYSICAL RESEARCHES OF THE WEST-TIMAN FAULT

*N.P. Yushkin Institute of Geology,
Federal Research Centre Komi Science Centre,
Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

В статье рассматриваются результаты комплексных геофизических работ, проведенных в пределах Западно-Тиманского разлома, где выделены различные области: Белоборский, Нившерский, Синдорский блоки. Результаты магниторазведочных работ позволяют сделать вывод, что Западно-Тиманский разлом в магнитном поле проследить четкой зоной невозможно как на градиентных участках поля, так и в пределах региональных максимумов и минимумов. В отдельных случаях можно лишь трассировать его по сериям даек основных и ультраосновных пород, но они могут находиться и не во фронтальной зоне разлома. Результаты радоновой съемки показали, что Западно-Тиманский разлом на территории исследования отмечается повышенными значениями объемной активности радона.

Ключевые слова:

Западно-Тиманский разлом, потенциальные поля, сейсмические профили, магниторазведочные профили, объемная активность радона

Abstract

The territory of the Komi Republic in structural and tectonic terms is a complex intersection node of various structures of different age of the East European platform – Volga-Ural antecline, Mezen syncline, Timan, Pechora syncline, and the Northern Urals. The West Timan deep fault is considered to be the boundary of the Russian and Pechora plates. The West Timan deep fault is a boundary between the Epicarelian Russian and Epibaikal Timan-Pechora plates, extending over 800 km. The fault is expressed by an overthrust, where the Riphean of the Timan-Pechora plate is pushed over the Russian plate. According to seismic data, it is established that the jointing occurs along the fold-thrust zone bounded by the West Timan and Central Timan faults, the distance between which varies widely.

The southern and middle segments of the West Timan fault are considered. Based on the materials of potential fields, various areas of the West Timan fault can be identified in the study area: the southern part (Beloborsk block), the central part (Nivshera block), the northern part (Sindor block). Beloborsk block: the axial part of the regional minimum of the gravitational field, the axial part of the minimum of the magnetic field. Nivshera block: the boundary area between two gravitational minima, the axial part of the maximum of the magnetic field. Sindor block: the inflection zone of positive values of the gravitational field, the gradient zone between positive and negative values of the magnetic field.

Based on the interpretation of seismic materials, the location of the West Timan fault was clarified. The nature of the seismic recording does not always allow to identify the exact location of the displacers, only the difference in the recording in individual blocks is clearly marked. The boundary area sometimes covers 5 km.

Within the study area, six pedestrian magnetic exploration profiles were worked out. "Beloborsk", "Ozyag", "Troitsk", "Nivshera", "Meshchura", "Sedyudorsk", passing through different parts of the West Timan fault. Summarizing the detailed mag-

netic investigation, it can be said that the West Timan fault in the magnetic field cannot be traced by a clear zone, both in the gradient sections of the field and within the regional maxima and minima. In some cases, it can only be traced over a series of dikes of basic and ultrabasic rocks, but they may not be located in the frontal fault zone.

Express radon survey across the West Timan fault was carried out along nine profiles that cross the West Timan fault: Beloborsk, Ust-Nem, Ust-Kulom, Ozyag, Troitsk, Nivshera, Sindor, "Meshchura", "Sedyudor" (from South to North).

According to the results of Express emanation survey, it is noted that the West Timan fault in the study area is characterized by increased VRA values that vary in the range of 400–2150 Bq/m³. The average VRA values of the Beloborsk block are 500 Bq/m³, Nivshera – 400 Bq/m³, Sindor – 300 Bq/m³. The maximum concentration of radon in the soil air was registered in the Nivshera block.

ity of radon of the Beloborsk block is $K_Q = 2.6$, Nivshera block – $K_Q = 2.8$, Sindor block – K_Q (south) = 2.0, K_Q (north) = 5.6. The West Timan fault is also characterized by the variability of radon activity in both longitudinal and transverse directions.

Thus, with insufficient seismic study and low differentiation of potential fields, the emanation radon survey can be used as an additional method for detecting and tracing tectonic disturbances. In practical terms, attention should be paid to the Sindor block, where a sharp gradient area is marked in the magnetic field, against which a series of dikes stands out. This zone is also characterized by a high K_Q .

Keywords:

West-Timan fault, potential fields, seismic profiles, volume radon activity

Введение

Изучение глубинного строения, тектоники, неотектоники в рамках академической науки связано, прежде всего, с нахождением новых критериев для поиска месторождений полезных ископаемых как рудных, так и месторождений углеводородов, что наиболее актуально для территории Тимано-Североуральского региона. Немаловажную роль в последние годы такие исследования играют и для рассмотрения вопросов сейсмичности региона. Особое внимание в данном аспекте уделяется изучению разломной тектоники региона. Выделение разломных зон на местности имеет существенное практическое значение для определения границ распространения связанных с ними рудопроявлений, месторождений углеводородов, землетрясений и т.д. Для большинства регионов, в том числе и Тимано-Североуральского, выделение разломов прямыми методами невозможно из-за слабой обнаженности коренных пород. Поэтому для их изучения на первое место выходят геофизические методы. Несомненно, что наиболее надежными являются сейсмические методы, однако не всегда удается получить материалы хорошего качества, они дорогостоящие, и в основном направлены на поиски углеводородов. Данные магниторазведки, электроразведки, гравиразведки позволяют картировать разломные зоны, они более доступны в производстве, но ограничены по природе метода. Эффективнее при картировании применять комплексирование методов.

Разломные зоны в рассматриваемом регионе в земной коре намечались в основном по материалам региональных геофизических съемок, главным образом, гравиметрической и магнитной и, как правило, подтверждались сейсморазведочными работами (ГСЗ, МОВЗ), а в платформенном чехле – при

проведении сейсморазведочных работ (МОВ, МОГТ, КМПВ), геологосъемочных исследований, а также электроразведкой и бурением. Признаки, на которых основано выделение разломов с помощью анализа карт магнитных и гравитационных полей, общеизвестны и достаточно широко освещены в литературе. Изучением разломной тектоники на территории европейского Северо-Востока России занимались многие исследователи, результаты которых были использованы нами в данной работе [1–19]. По материалам предыдущих исследований построены и изданы многочисленные карты и схемы тектонического районирования Тимано-Североуральского региона, где выделены две системы разломов – ортогональная и диагональная. Наибольшую выраженность в геофизических полях имеет диагональная система разломов.

Построенные разными авторами карты и схемы блокового строения, разломной тектоники региона, несмотря на существенное сходство, несут и определенные различия, иной раз даже принципиальные как в генезисе, так и в местоположении структур. Особенно наглядно это проявляется при сравнении карт, построенных по результатам дешифрирования космфотоматериалов и геоморфологических исследований, а также карт потенциальных полей [20].

Объект исследования

Территория исследований представлена в структурно-тектоническом плане сложным узлом пересечения различных разновозрастных структур Восточно-Европейской платформы – Волго-Уральская антеклиза, Мезенская синеклиза, Тиман, Печорская синеклиза, Северный Урал. Границей Русской и Печорской плит принято считать Западно-Тиманский глубинный разлом. Тиманская гряда обычно включается в состав Печорской плиты в качест-

ве ее юго-западного структурного ограничения. Основным различием Русской и Печорской плит считается возраст фундамента.

Первоначально Западно-Тиманский разлом проводился по смене знака магнитного поля, преимущественно положительного Притиманских прогибов Русской плиты на отрицательное магнитное поле Тимана. При этом отмечалось, что в пределах зоны сочленения фундамента Русской плиты оказывается погруженным под краевые складчатые структуры Тимана, что выражалось в виде широких полосовых аномалий северо-западной ориентировки. Иными словами, здесь наблюдается надвиг Тиманской гряды на фундамент Русской плиты [2, 21–22].

Западно-Тиманский разлом – это пограничное образование («краевой шов» по Гафарову [2], Журавлеву [23]) между эпикарельской Русской и эпибайкальской Тимано-Печорской плитами, протяженностью свыше 800 км. Он прослеживается от п-ова Канин Печорского моря до Северного Урала, где непосредственно переходит в надвиг Полуодва кража, а далее к югу – в систему дизъюнктивов Западно-Уральской мегазоны Среднего Урала. На крайнем северо-западе региона роль «краевого шва» переходит к Кольско-Канинскому разлому, ко-

торый имеет почти торцевое сочленение с субмеридиональным замыканием в этой части Тимано-Печорской плиты Западно-Тиманского разлома. Простираясь в северо-западном направлении, разлом обозначает западную границу Тиманской гряды.

Западно-Тиманский разлом представляет собой надвиг, где рифейский фундамент Тимано-Печорской плиты надвинут на фундамент Русской плиты, причем в поднадвиге выступают и разновозрастные отложения, слагающие нижние горизонты платформенного чехла. По сейсмическим данным установлено, что сочленение происходит по складчатонадвиговой зоне, ограниченной Западно-Тиманским и Центрально-Тиманским разломами, расстояние между которыми меняется в широких пределах. Наибольшую ширину, до 75–80 км, она имеет в районе Четласского Камня. В северо-западном и юго-восточном направлении ширина зоны значительно сокращается, до 10–20 км на п-ове Канин и далее на северо-запад сочленение ниже- и верхнедокембрийских комплексов имеет характер краевого шва [24].

В настоящей работе нами рассматриваются южный и средний сегменты Западно-Тиманского разлома (рис. 1, 2). Цель исследований – получение новых данных о местоположении Западно-Тиманского разлома.

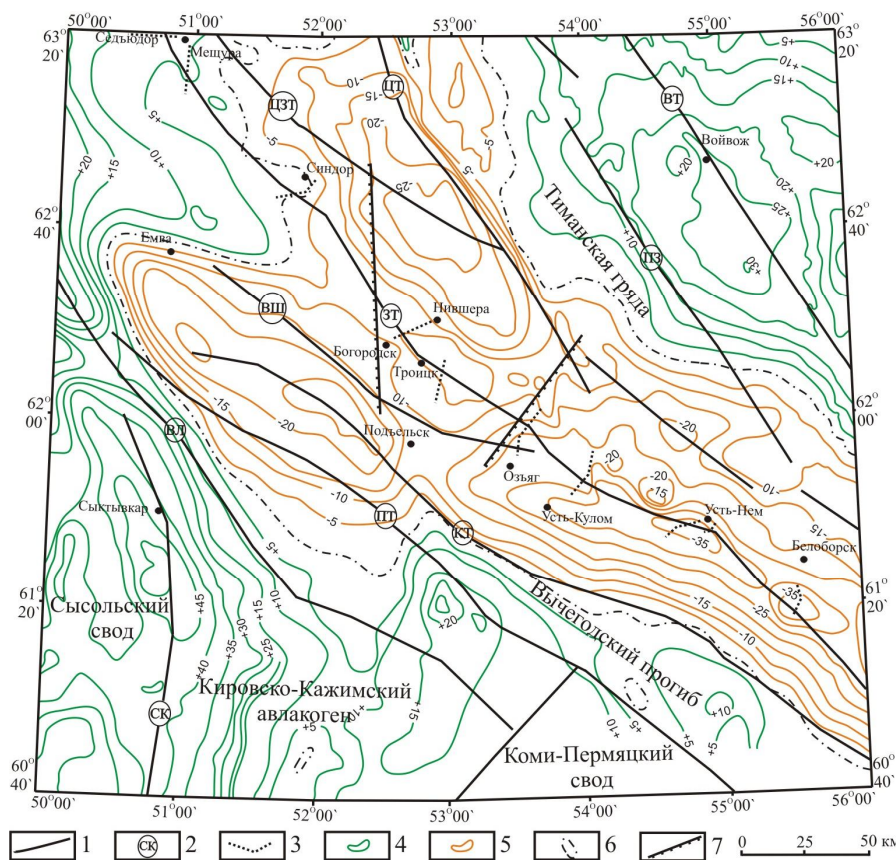


Рис. 1. Фрагмент карты гравиметрического поля района исследований.

Условные обозначения: 1 – разломные зоны; 2 – названия разломов: СК – Сыктывкарский, ВЛ – Вычегодско-Локчимский, ПТ – Притиманский, КТ – Кельтменский, ВШ – Вишерский, ЗТ – Западно-Тиманский, ЦЗТ – Центрально-Западно-Тиманский, ЦТ – Центрально-Тиманский, ПЗ – Пузлинский, ВТ – Восточно-Тиманский; 3 – участки профильных исследований; 4 – положительные значения гравитационного поля; 5 – отрицательные значения гравитационного поля; 6 – нулевые значения гравитационного поля (в условных единицах); 7 – границы блоков.

Fig. 1. Fragment of the gravity field map of the study area.

Legend: 1 – fault zones; 2 – fault name: СК – Syktyvkar, ВЛ – Vycheгда-Lokchim, ПТ – Pretiman, КТ – Keltmen, ВШ – Vishera, ЗТ – West-Timan, ЦЗТ – Central-West-Timan, ЦТ – Central-Timan, ПЗ – Puzlin, ВТ – East-Timan; 3 – sections of profile research; 4 – positive values of the gravitational field; 5 – negative values of the gravitational field; 6 – zero values of the gravitational field (in conventional units); 7 – block boundaries.

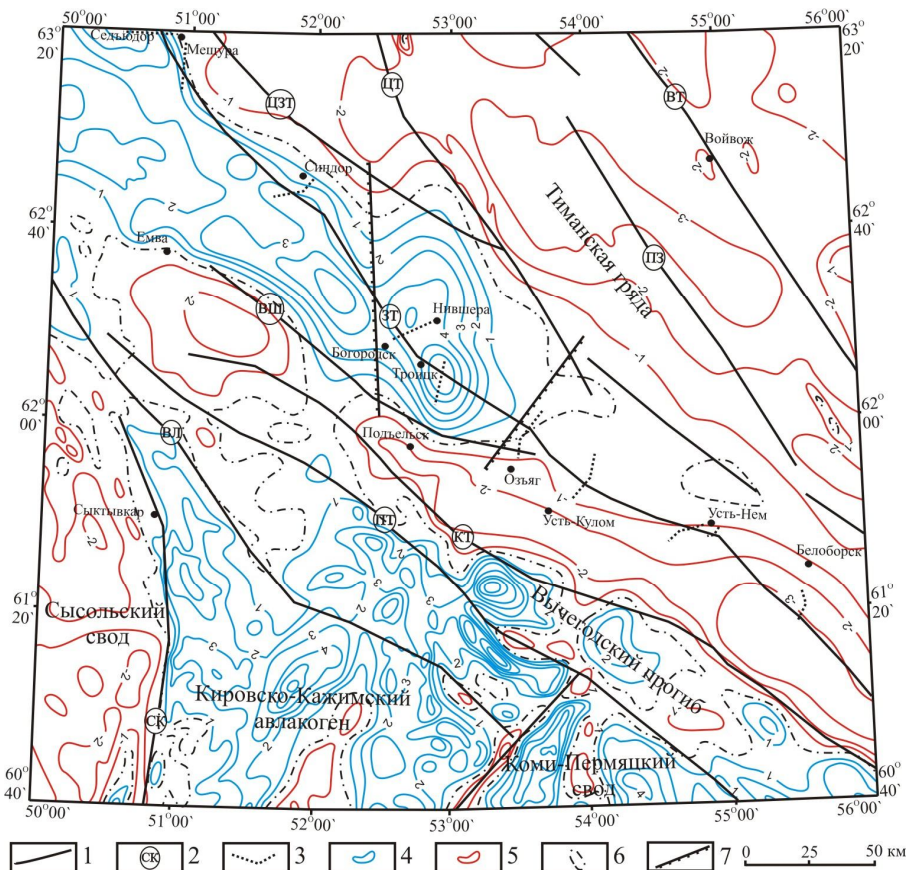


Рис. 2. Фрагмент карты аномального магнитного поля района исследований. Условные обозначения: 1–3, 7, см. рис. 1; 4 – положительные значения аномального магнитного поля; 5 – отрицательные значения аномального магнитного поля; 6 – нулевые значения аномального магнитного поля (в условных единицах).
 Fig. 2. Fragment of the anomalous magnetic field map of the study area.
 Legend: 1–3, 7, see Fig. 1; 4 – positive values of the anomalous magnetic field; 5 – negative values of the anomalous magnetic field; 6 – zero values of the anomalous magnetic field (in conventional units).

Результаты и обсуждение

В рамках геофизических исследований нами 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 разрезе.

Если традиционные геофизические методы (гравиметрические, магнитометрические, сейсмические, электроразведочные), как правило, всегда используются для изучения глубинного строения в комплексе в различных соотношениях, то измерение объемной активности радона и использование полей микросейсм стало популярным в последнее время в связи с эффективностью их применения [25–27]. Предлагаемый комплекс ранее был успешно применен при исследованиях глубинного строения Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов [28].

Нами выполнялись работы, включающие пешеходную магниторазведочную и радоновую съемки. Исследования проводились по девяти профилям, секущих фронтальную часть Западно-Тиманского разлома: «Белоборский», «Усть-Немский», «Усть-Куломский», «Озьягский», «Троицкий», «Нившерский», «Синдорский», «Мещурский», «Седьюдорский» (с юга на север) (рис. 1, 2).

Гравимагнитные исследования.

Аэромагнитной съемкой масштабов 1:1000000 и 1:200000 покрыта вся площадь Тимано-Североуральского региона. На основе выполненных работ были построены и изданы карты аномального магнитного поля (изолинии и графики ΔT_a). В результате интерпретации магнитных полей выявлены региональные закономерности строения осадочного чехла и фундамента, его вещественного состава, а также разломной тектоники.

Для изучения фундамента, глубины его залегания, выделения зон тектонических нарушений широко применяются карты аномального гравиметрического поля, его различные трансформации в масштабе 1:200000 и 1:50000.

Построение карт и схем тектонического районирования было основано именно на этих материалах, в результате проведения сейсмических работы карты дополнялись и детализировались. Однако степень изученности сейсмическими методами отдельных структур сильно отличается, где территория Тимана исследована крайне слабо.

Гравитационное поле пограничной области двух плит представлено в его юго-восточной части аномалиями минимумов северо-западного простирания, в северо-восточной – протяженной градиентной ступенью, обозначающей переход к положительным аномалиям также северо-западного простирания.

На исследуемой территории выделение разлома на юге проходит по зоне регионального гравитационного минимума размерами 200 на 100 км, западная часть которого отвечает юго-востоку Вычегодского прогиба, а восточная – южному оконча-

нию Тиманской гряды (рис. 1). Далее этот минимум распадается на два близких по размерам минимума (150 на 70 км), где западному отвечает северо-западная часть Вычегодского прогиба, а восточному – часть южного Тимана. По их разделу и проходит Западно-Тиманский разлом. Далее на северо-запад трассирование разлома проводится через зону положительных значений и осевую часть следующего минимума, размерами 90 на 50 км. Ширина осевой части описанных минимумов составляет порядка 15–20 км, что говорит о весьма приблизительном трассировании разлома.

В магнитном поле Западно-Тиманский разлом на всем своем протяжении отражен градиентом значений ΔT_a , фиксирующим переход от Тиманского регионального минимума на территории Тиманского кряжа и Печорской синеклизы к полосе региональных максимумов Предтиманских структур – Сафоновскому и Вычегодскому прогибам. Аномалии этой полосы в целом ориентированы на северо-запад, но на отдельных участках имеют субширотные простирания, вызванные ступенчатой «угловатой» формой ортогонального сочетания разломов приоритетного северо-западного «тиманского» и менее выраженного северо-восточного трансформного направления в шовной зоне Русской и Тимано-Печорской плит. Видимо, весь разлом может состоять из кулисно расположенных отрезков, приобретающих с глубиной единую плоскость сместителя. Ширина этого «шва» достигает 10–12 км на основании ступеней гравитационного и магнитного полей [18].

Однако приуроченность Западно-Тиманского разлома к градиентной зоне, описанной выше, весьма условная (см. рис. 2). Южный сегмент разлома практически не выражается в магнитном поле, располагаясь в области регионального минимума, охватывающего юг Тимана и юго-восточную часть Вычегодского прогиба. Далее Западно-Тиманский разлом трассируется по осевой части «Нившерского» максимума, размерами 75 на 30 км, и только далее на северо-запад разлом можно отнести где-то к градиентной зоне, где-то к осевым частям максимумов. Такой характер физических полей говорит о сложном строении надвиговой зоны с неоднородным внутренним содержанием.

На изучаемой территории, основываясь на материалах потенциальных полей, можно выделить различные области Западно-Тиманского разлома: южную часть (Белоборский блок), центральную часть (Нившерский блок), северную часть (Синдорский блок). Белоборский блок: осевая часть регионального минимума гравитационного поля, осевая часть минимума магнитного поля. Нившерский блок: пограничная область между двумя гравитационными минимумами, осевая часть максимума магнитного поля. Синдорский блок: зона перегиба положительных значений гравитационного поля, градиентная зона между положительными и отрицательными значениями магнитного поля (рис. 1, 2).

Сейсмические исследования. Основным методом изучения глубинного строения, а также разломной тектоники является сейсмический в различ-

ной его модификации: метод отраженных волн (МОВ), метод общей глубинной точки (МОГТ), корреляционный метод преломленных волн (КМПВ), глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), метод обменных волн землетрясений (МОВЗ).

К сожалению, изученность сейсмическими методами рассматриваемой территории незначительна, да и качество материала не всегда позволяет делать уверенные выводы. Нами рассмотрены все возможные материалы сейсмических исследований, результаты интерпретации которых послужили основой для построения схемы разломной тектоники. Именно материалы сейсмических исследований МОГТ позволили уверенно интерпретировать Западно-Тиманский глубинный разлом как надвиг, а данные ГСЗ [29], МОВЗ [30–32] проследить его до глубин 20–35 км и более.

На геолого-геофизических разрезах по сейсмическим профилям 10393–33 РС, 10393–34 РС, 1392–22РС и 11093–27РС, пересекающих соответственно первым и вторым – Средний Тиман, а третьим и четвертым – Южный Тиман, разлом представлен в виде надвига из «пучка» плоскостей сместителя, исходящего из одного глубинного фокуса, где отмечено два–три сместителя, и расходится «веером» к поверхности, достигая там уже семи–девяти сместителей и ширины 10–15 км [18]. Вертикальное перемещение верхнерифейских пород северо-восточного плеча разлома на некоторых его участках (Вадьявожская дизъюнктивная антиклиналь Джемим-Парминского вала) по отношению к возрастным аналогам юго-западного лежащего плеча может достигать 4 км, на других – 2.8 км (Обдырская структура). На северо-западном фланге амплитуда разлома сокращается до 1–2 км. В осадочном чехле она убывает до первых сотен и даже нескольких десятков метров. На юго-западном лежащем плече Западно-Тиманского разлома палеозой-рифейские отложения воздымаются к плоскостям сместителей, более древние комплексы – нижнепротерозойские и архейские – погружаются под надвиг [18].

На рис. 3 показана изученность территории Вычегодского прогиба и Западного Тимана различными сейсмическими методами. Как видно из схемы, сейсмические профили, пересекающие Западно-Тиманский разлом, редки. Профили наших исследований, по возможности, выбирались по линии сейсмических профилей или вблизи них. На отдельных участках наши профили проходили далеко от сейсмических. Так, в Белоборском блоке около пос. Смолянка сейсмические профили 12185–05 и 11093–27 РС пересекают отработанный нами «Усть-Немский» профиль, 11093–03 и 11094–01 проходят рядом с ним; «Усть-Куломский» – соответствует сейсмопрофилю 12185–03; «Озъягский» профиль совпадает с фрагментом сейсмопрофиля 12185–01. В «Нившерском» блоке наиболее близко к «Нившерскому» и «Троицкому» профилям проходит сейсмический профиль 11491–13. В Синдорском блоке недалеко от района работ известны региональные сейсмические профили 10393–34 РС и 10393–33 РС.

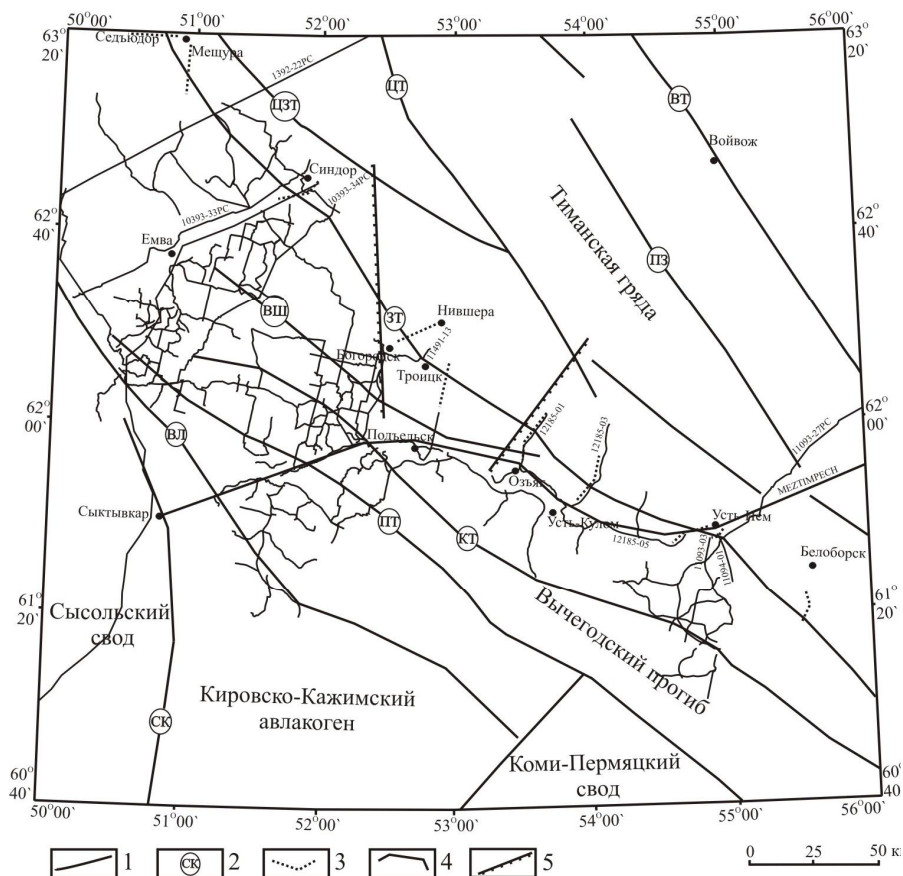


Рис. 3. Схема сейсмической изученности района исследований.

Условные обозначения: 1–3, см. рис. 1; 4 – сейсмические профили; 5 – границы блоков.

Fig. 3. Scheme of seismic study of the research area.

Legend: 1–3, see Fig. 1; 4 – seismic profiles; 5 – block boundaries.

Трассирование разлома по сейсмическим данным не вызывает сомнения, хотя характер сейсмической записи не всегда позволяет выделить точное местоположение сместителей, лишь отчетливо отмечается различие записи в отдельных блоках. Пограничная область порой захватывает 5 км (рис. 4).

Профильные магнитометрические исследования. В пределах изучаемой территории нами отработаны магниторазведочные профили «Белоборский», «Озьягский», «Троицкий», «Нившерский», «Мещурский», «Седьюдорский», проходящие по различным участкам Западно-Тиманского

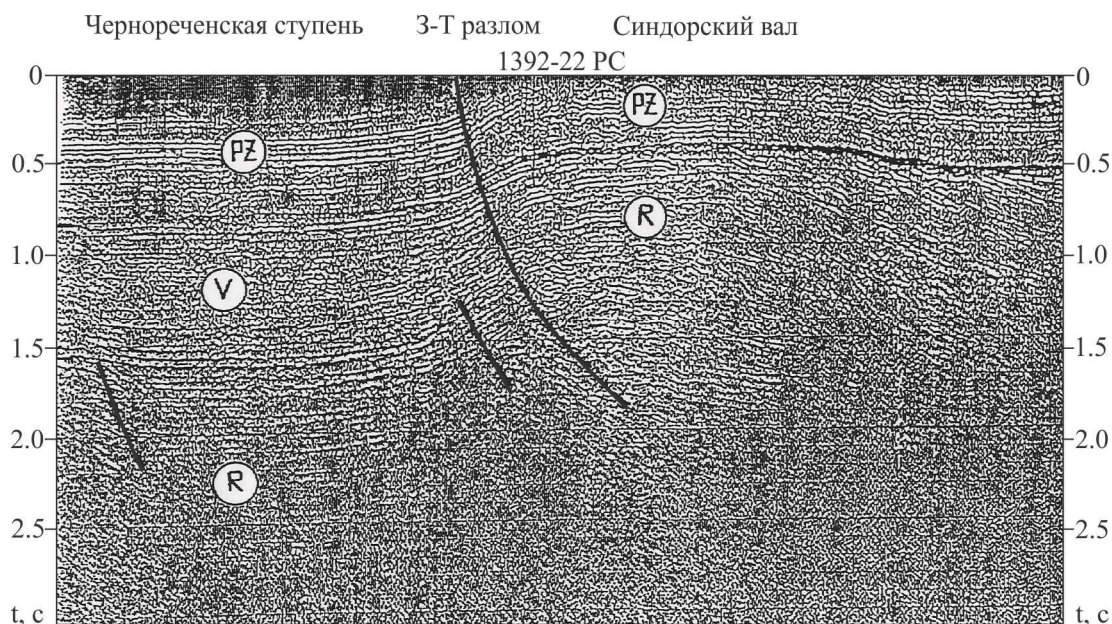


Рис. 4. Фрагмент временного сейсмического разреза по профилю 1392–22 РС через Западно-Тиманский разлом.

Fig. 4. Fragment of the temporary seismic section along the profile 1392–22 RS across the West-Timan fault.

разлома. Магнитометрические исследования выполнялись пешеходными приборами МИНИМАГ, которые предназначены для измерения модуля геомагнитного поля. Предел основной систематической погрешности магнитометра при измерении магнитной индукции не превышает ± 2 нТл. Шаг между пунктами наблюдения 50 м. Длина профилей составляла от 10 до 20 км. Одновременно с рядовыми наблюдениями снимались вариации магнитного поля. Магнитометрическая станция устанавливалась в спокойном магнитном поле и вела регистрацию вариаций с шагом 1 мин. Топографическая привязка выполнялась с помощью GPS Garmin 62S, точность привязки при полной видимости горизонта достигает 3 м. Привязка производилась с шагом 100 м. Привязка времени между магнитометрами выполнялась с помощью GPS Garmin 62S, точность привязки ± 1 сек. Все профили начинались с Вычегодского прогиба.

Задача исследований заключалась в детальном изучении аномального магнитного поля в пределах разлома. Результаты исследований представлены на рис. 5.

По Белоборскому блоку Западно-Тиманского разлома проходят профили «Белоборский» и «Озьягский» (рис. 2). На графиках полей Западно-Тиманский разлом не находит своего отражения (рис. 5, А, Б). На Белоборском профиле в районе ПН45–ПН58 выделяется аномалия, связанная с дайкой основных пород, располагающаяся уже в пределах надвинутой зоны Тимана (рис. 5, А).

В пределах Нившерского блока Западно-Тиманского разлома пройдены «Троицкий» и «Нившерский» профили (рис. 2). На графиках полей также нет явного отражения Западно-Тиманского разлома (рис. 5, А, Б). На «Троицком» профиле в районе ПН30–ПН70 наблюдаются колебания магнитного поля, которые могут быть связаны с дайками, находящимися в зоне разлома (рис. 5, В). В конце профиля (ПН200–ПН207) прослеживается магнитная аномалия. По «Нившерскому» профилю Западно-Тиманский разлом можно проследить в районе ПН100–ПН120 незначительным колебанием магнитного поля, хотя это достаточно условно (рис. 5, Г).

Синдорский блок Западно-Тиманского разлома представлен «Мещурским» и «Седьюдорским» профилями (рис. 2). На «Мещурском» профиле Западно-Тиманский разлом выделяется уверенно резким перепадом магнитного поля, находящимся на фоне общего градиента (рис. 5, Д). Нами проведены детальные работы на этом участке, по результатам которой стало понятно, что прослежена серия локальных даек, находящихся в надвиговой зоне Тимана. На «Седьюдорском» профиле, проходящему также по градиентной зоне, Западно-Тиманский разлом не прослеживается в магнитном поле какой-то явной областью.

Обобщая детальные магниторазведочные работы можно сказать, что Западно-Тиманский разлом в магнитном поле проследить четкой зоной невозможно как на градиентных участках поля, так и в пределах региональных максимумов и минимумов. В отдельных случаях можно лишь трассировать его

по сериям даек основных и ультраосновных пород, но они могут находиться и не во фронтальной зоне разлома.

Мониторинг радона. Эманационная съемка относится к доступным, экспрессным и дешевым методам выделения и трассирования разломных зон в пределах платформенных областей, где разломы перекрыты мощным осадочным чехлом.

Радон генерируется через ряд распада урана-238, производящего несколько изотопов с длительным периодом полураспада (уран-234, торий-230, радий-226), которые обычно встречаются в гранитных, магматических, осадочных, метаморфических породах, поэтому он производится практически всеми типами пород и почв на разных глубинах [33]. Кроме этого, радон-222 характеризуется наиболее длительным периодом полураспада относительно других изотопов (торон, актинон), что делает его оптимальным индикатором для обнаружения и трассирования тектонических нарушений.

Экспрессная радоновая съемка через Западно-Тиманский разлом проводилась по девяти профилям (рис. 1) по автомобильным дорогам. Для измерения объемной активности радона (ОАР) в почвенном воздухе использовался портативный радиометр РРА-01М. На каждом пункте наблюдения бурилась скважина глубиной 50 см и диаметром 10 см. Измерения носили экспрессный характер и начинались сразу после бурения скважины. Перед каждым измерением осуществлялась прокачка системы окружающим воздухом в течение 4 мин. Время отбора пробы почвенного воздуха с помощью насоса составляло 4 мин. и 20 мин. – время естественного измерения ОАР. Для осушения почвенного воздуха использовалась колба с силикагелем CaCl_2 . Одновременно с измерениями ОАР регистрировались показания атмосферного давления, влажности, температуры и гамма-излучения.

Для качественной оценки ОАР нами на графике по профилю проводилась средняя линия. Для количественной оценки использовался относительный показатель объемной активности радона $K_Q = Q_{\text{макс}}/Q_{\text{мин}}$, где $Q_{\text{макс}}$ – интенсивность приразломной аномалии, $Q_{\text{мин}}$ – минимальная величина Q непосредственно за ее пределами ($Q_{\text{мин}} = Q_{\text{мин1}} + Q_{\text{мин2}}$)/2. По величине K_Q выделяются разрывы сверхвысокой ($K_Q > 10$), высокой ($10 \geq K_Q > 5$), повышенной ($5 \geq K_Q > 3$), средней ($3 \geq K_Q > 2$), низкой ($K_Q \leq 2$) радоновой активности [34].

В Белоборском блоке радоновая съемка проводилась по четырем профилям.

По «Белоборскому» профилю в поле радона явно выражена граница между Вычегодским прогибом, для которого характерны значения ОАР, достигающие лишь 150 Бк/м^3 , и Тиманом, где наблюдаются перепады радоновой активности в интервале $380\text{--}745 \text{ Бк/м}^3$, $K_Q = 2.8$ (рис. 6, А).

На графике ОАР, построенному по «Усть-Немскому» профилю, наблюдается хаотичное изменение концентрации радона в почвенном воздухе, где значения варьируют от 75 до 763 Бк/м^3 , $K_Q = 3$. Это объясняется тем, что большая часть профиля проходит вдоль разломной зоны. По этой

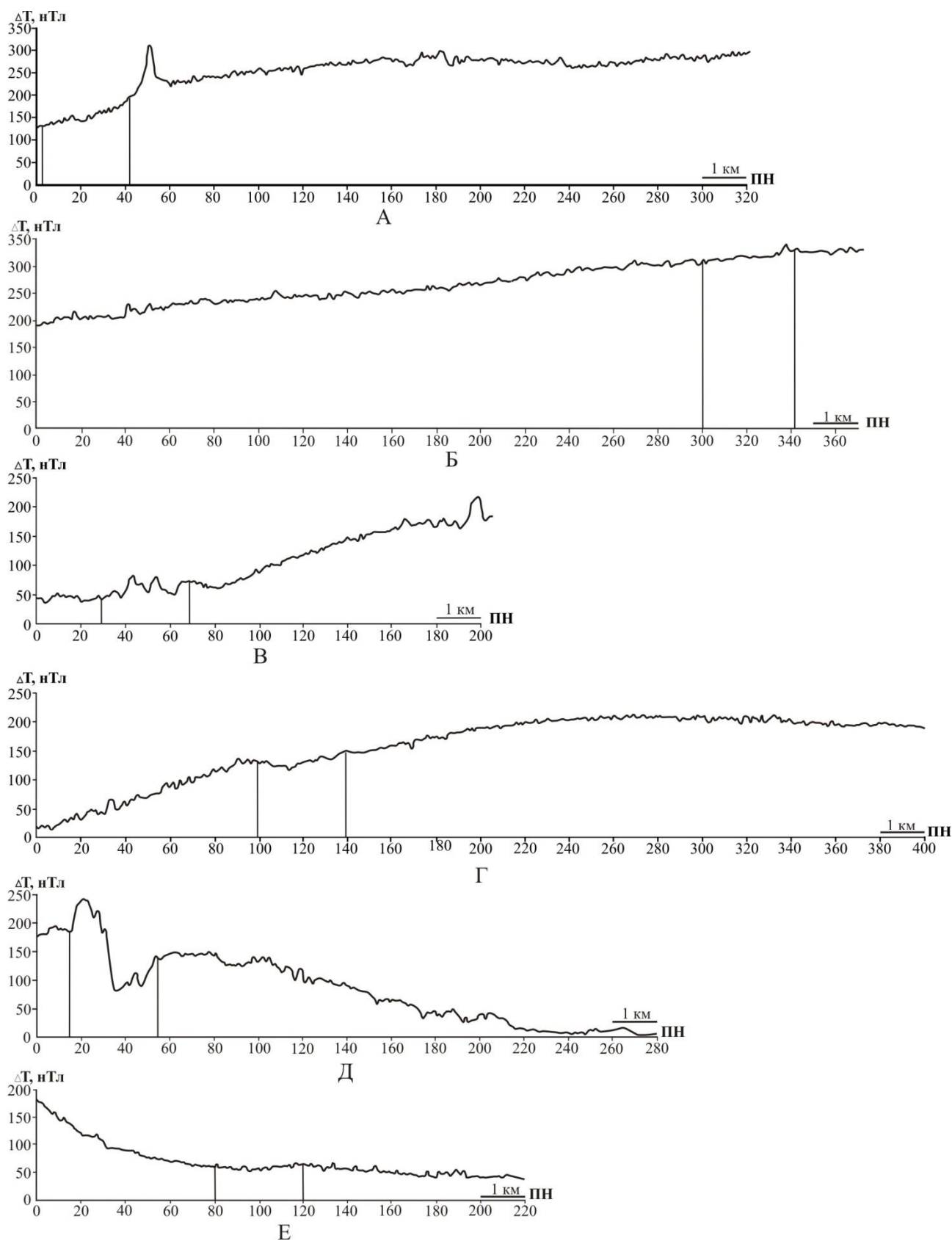


Рис 5. Графики аномального магнитного поля вдоль линии профилей: А – Белоборский, Б – Озъягский, В – Троицкий, Г – Нившерский, Д – Мещурский, Е – Седьюдорский.
 Fig. 5. Graphs of the anomalous magnetic field along the profile line: А – Beloborsk, Б – Ozyag, В – Troitsk, Г – Nivshera, Д – Meshchura, Е – Sedyudor.

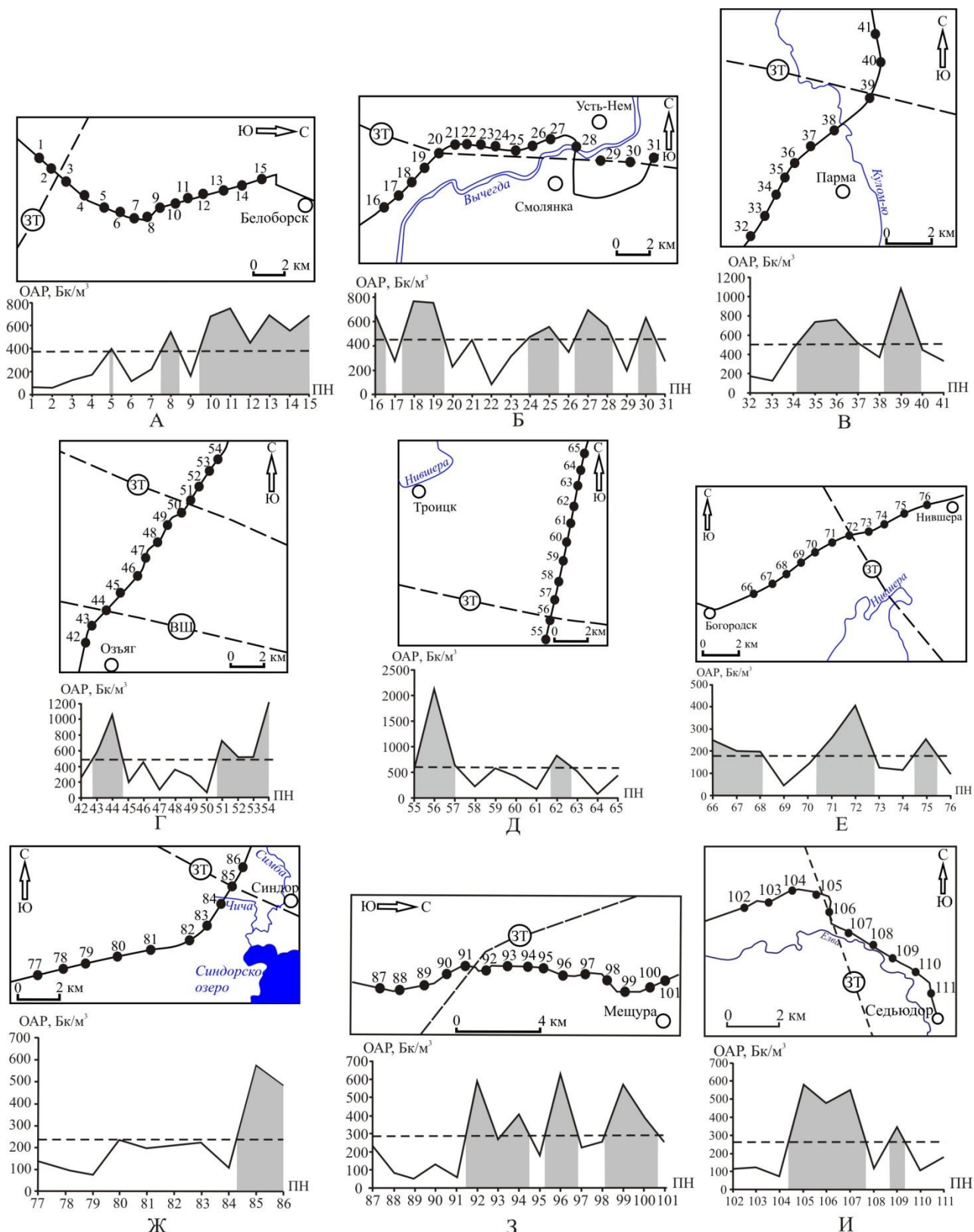


Рис. 6. Схемы измерения и графики изменения ОАР вкрест простирания Западно-Тиманского разлома по профилям: А – Белоборский, Б – Усть-Немский, В – Усть-Куломский, Г – Озьягский, Д – Троицкий, Е – Нившерский, Ж – Синдорский, З – Мещурский, И – Седьюдорский. Пунктирная линия на графиках – средние значения ОАР, закрашенная область – зона выше среднего значения.

Fig. 6. Measurement schemes and graphs of the change in the volume radon activity across the West-Timan fault along the profile line: А – Beloborsk, Б – Ust-Nem, В – Ust-Kulom, Г – Ozyag, Д – Troitsk, Е – Nivshera, Ж – Sindor, З – Meshchura, И – Sedyudor. The dashed line in the graphs is the average OAR value, the shaded area is the zone above the average value.

причине уточнение местоположения Западно-Тиманского разлома оказалось затруднительным на данном участке (рис. 6, Б).

В пределах «Усть-Куломского» профиля разлом фиксируется по средней линии графика ОАР 500 Бк/м³ с максимальным значением 1077 Бк/м³, $K_Q=2.6$ (рис. 6, В). Слева от основного пика, соответствующего разлому, выделяется еще одна область повышенных значений ОАР шириной 1.5–2 км. Такое распределение радона свидетельствует о распространении газа за пределы разломной зоны благодаря высокой степени трещиноватости и пористости четвертичных отложений на данном участке.

Профиль «Озьягский» пересекает сразу два разлома – Вишерский, расположенный в пределах Вычегодского прогиба, и Западно-Тиманский. Оба нарушения отчетливо проявляются в поле радона повышенными значениями со средней линией на графике ОАР 500 Бк/м³ и максимальными значениями 1060 и 1187 Бк/м³ соответственно ($K_{Q(ВШ)}=5$, $K_{Q(ЗТ)}=2.5$). На участке, находящемся между разломами, отмечается область с пониженными значениями концентрации радона (рис. 6, Г).

В Нившерском блоке, который отвечает центральному сегменту разлома на территории исследований, было отработано два профиля, по 11 пунктов наблюдения на каждом.

Вдоль линии «Троицкого» профиля на фоне достаточно высоких значений по средней линии графика ОАР 600 Бк/м³ выделяется пик радоновой активности со значением 2144 Бк/м³, соответствующим разломной зоне (рис. 6, Д).

В северной части блока по «Нившерскому» профилю средняя линия графика ОАР составляет 180 Бк/м³, разлом соответствует пику ОАР с максимальным значением по профилю 407 Бк/м³, $K_Q=2$ (рис. 6, Е).

В Синдорском блоке, расположенном на севере района работ, радоновая съемка проводилась на трех участках вблизи населенных пунктов Синдор, Мещура и Седьюдор.

На профиле «Синдорский» на фоне средней линии графика ОАР 245 Бк/м³ отчетливо выделяется пик с максимумом ОАР = 580 Бк/м³, $K_Q = 1.95$, соответствующий Западно-Тиманскому разлому (рис. 6, Ж).

Средняя линия значений графиков ОАР по «Мещурскому» и «Седьюдорскому» профилям составляет около 300 Бк/м³, где отчетливо прослеживается переход от Сафоновского прогиба к Тиманскому поднятию. Максимальные значения ОАР в этих областях достигают 650–700 Бк/м³, $K_Q=5$ и $K_Q=6.2$ соответственно (рис. 6, З, И).

Исходя из полученных результатов экспрессной эманационной съемки можно сделать следующие выводы:

1. Западно-Тиманский разлом на территории исследования характеризуется повышенными значениями ОАР, которые изменяются в интервале 400–2150 Бк/м³;

2. Средние значения ОАР Белоборского блока составляют 500 Бк/м³, Нившерского – 400 Бк/м³, Синдорского – 300 Бк/м³. Максимальная концентра-

ция радона в почвенном воздухе зарегистрирована в Нившерском блоке. Средний относительный показатель объемной активности радона Белоборского блока составляет $K_Q=2.6$, Нившерского – $K_Q=2.8$, Синдорского блока – $K_{Q(ЮГ)}=2.0$, $K_{Q(Север)}=5.6$;

3. На графиках ОАР отчетливо просматривается повышение значений с Притиманских прогибов на Тиманский надвиг, где объемная активность радона остается стабильно высокой;

4. Для Западно-Тиманского разлома характерна изменчивость радоновой активности как в продольном, так и в поперечном направлениях;

5. Почвенный радон распространяется за пределы тектонических нарушений из-за повышенной трещиноватости верхних горизонтов осадочного чехла, в связи с этим ширина аномалии радона всегда превышает ширину самого разлома;

6. В полях ОАР прослеживаются повышенные значения, не привязанные к известному разлому, которые могут отвечать неизвестной ранее разломной зоне, или же говорят о не точном выделении местоположения разлома. Это утверждение должно носить предварительный характер и являться лишь поводом для более детальных работ.

Таким образом, при недостаточной сейсмической изученности и низкой дифференциации потенциальных полей эманационная радоновая съемка может использоваться как дополнительный метод для выявления и трассирования тектонических нарушений.

Заключение

Применена методика комплексного изучения разломных зон (на примере центральной и южной частях Западно-Тиманского разлома), включающая анализ потенциальных полей, сейсморазведочных работ, проведение детальных магниторазведочных работ, а также радоновый мониторинг. Первоначально выделяются разломные зоны по интерпретации физических полей (магнитного и гравитационного), в дальнейшем, по возможности, они сопоставляются с данными сейсморазведки. Далее в зонах разломов выполняется радоновый мониторинг. На участках, где не проводились сейсморазведочные работы, результаты радонового мониторинга позволяют более достоверно определить местоположение разлома.

По результатам интерпретации гравимагнитных данных нами выделены различные по характеру полей блоки: Белоборский, Нившерский и Синдорский.

Анализ сейсмических данных позволяет выделить разломную зону с относительно небольшой погрешностью.

Обобщая детальные магниторазведочные работы можно сказать, что Западно-Тиманский разлом в магнитном поле проследить четкой зоной невозможно как на градиентных участках поля, так и в пределах региональных максимумов и минимумов. В отдельных случаях можно лишь трассировать его по сериям даек основных и ультраосновных пород, однако они могут находиться и не во фронтальной зоне разлома.

По результатам экспрессной эманационной съемки зона разлома отмечается повышенными значениями объемной активности радона.

В практическом отношении следует обратить внимание на Синдорский блок, где в магнитном поле отмечается резкая градиентная область, на фоне которой выделяется серия даек. Также эта зона характеризуется высоким показателем K_Q .

Таким образом, при недостаточной сейсмической изученности и низкой дифференциации потенциальных полей эманационная радоновая съемка может использоваться как дополнительный метод для выявления и трассирования тектонических нарушений.

Литература

1. *Калинина О.А., Фотиади Э.Э.* Крупные черты тектонической структуры Северо-Востока европейской части СССР по геологическим и геофизическим данным // Геология и нефтегазоносность Тимано-Печорской области. Л., 1959. С. 383–409 (Тр. ВНИГРИ; Вып. 133).
2. *Гафаров Р.А.* Строение складчатого фундамента Восточно-Европейской платформы по геофизическим данным // Изв. АН СССР. 1963. № 8. С. 56–67.
3. *Разницын В.А.* Тектоническая карта Коми АССР и сопредельных районов // Вопросы геологии северо-востока Русской платформы, печорского Урала и полуострова Канин / Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1963. Вып. 4. С. 3–13.
4. *Валеев Р.Н.* Тектоника Вятско-Камского междуречья. М.: Недра, 1968. 109 с.
5. *Дедеев В.А., Шустова В.Е.* Геоблоки европейской части СССР / Тр. Коми фил. АН СССР, 1976. Вып. 25. 51 с.
6. *Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР* / Под ред. В.А. Дедеева. Л.: Наука, 1982. 200 с.
7. *Шаблинская Н.В.* Разломная тектоника Западно-Сибирской и Тимано-Печорской плит и вопросы нефтегазоносности палеозоя / Тр. Всесоюз. нефт. науч.-исслед. геол.-развед. ин-та. Л.: Недра, 1982. 155 с.
8. *Башилов В.И.* Разломы фундамента севера Восточно-Европейской платформы, их тектоническое значение и методы выявления // Геология и геохимия севера европейской части СССР. М.: МГПИ, 1983. С.105–119.
9. *Дедеев В.А., Запорожцева И.В.* Земная кора европейского Северо-Востока СССР. Л.: Недра, 1985. 96 с.
10. *Мальшиев Н.А.* Разломы европейского Северо-Востока СССР в связи с нефтегазоносностью. Л.: Наука, 1986. 112 с.
11. *Гецен В.Г.* Тектоника Тимана. Л.: Наука, 1987. 172 с.
12. *Запорожцева И.В., Пыстин А.М.* Строение дофанерозойской литосферы европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
13. *Костюченко С.Л.* Структура и тектоническая модель земной коры Тимано-Печорского бассейна по результатам комплексного геолого-геофизического изучения // Тектоника и магматизм Восточно-Европейской платформы. М., 1994. С. 121–123.
14. *Богданов Н.А., Хаин В.Е.* Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части европейской России масштаба 1:2500000. М., 1996. 26 с.
15. *Башилов В.И.* Разломы и эндогенные режимы Тимано-Печорского бассейна // Проблемы эволюции тектоносферы. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 126–146.
16. *Мальшиев Н.А.* Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 150 с.
17. *Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.Н.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.
18. *Фундамент Тимано-Печорского нефтегазозносного бассейна* / Л.Т. Белякова, В.И. Богацкий, Б.П. Богданов, Е.Г. Довжикова, В.М. Ласкин. Киров: Изд-во ОАО «Кировская областная типография», 2008. 228 с.
19. *Конанова Н.В., Удоратин В.В., Магомедова А.Ш.* Магнитные аномалии зоны сочленения северо-восточной части Волго-Уральской антеклизы и Вычегодского прогиба // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 2017. №12. С. 25–30.
20. *Кутин Ю.Г., Чистова З.Б.* Иерархический ряд проявлений щелочно-ультраосновного магматизма Архангельской алмазозносной провинции. Их отражение в геолого-геофизических материалах. Архангельск: ОАО ИПП «Правда Севера», 2004. 283 с.
21. *Разницын В.А.* Тектоника Южного Тимана. М.: Наука, 1964. 150 с.
22. *Дедеев В.А.* Структура докембрийского фундамента Русской плиты // Геология и полезные ископаемые Северо-Востока европейской части СССР и Севера Урала / Тр. VII Геологической конференции Коми АССР. Сыктывкар, 1971. С. 286–288.
23. *Журавлев В.С.* Сравнительная тектоника Печорской, Прикаспийской и Североморской экзогенальных впадин Европейской платформы. М.: Наука, 1972. 400 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 223).
24. *Оловяшников В.Г., Бушуев А.С., Дохсаньянц Э.Л.* Строение зоны сочленения Русской и Печорской плит по геолого-геофизическим данным // Докл. РАН. 1996. Т. 351. № 11. С. 88–92.
25. *Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи – Краснополяном районе* / А.Н. Овсяченко, А.В. Хилько, С.В. Шварев, К.А. Костенко, А.В. Мараханов, Е.А. Рогожин, С.С. Новиков, А.С. Ларьков // Физика Земли. 2013. №6. С. 116–138.
26. *Семинский 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.

27. Левшенко В.Т., Григорян А.Г. Использование данных комплексных исследований при определении положения разломов в платформенных районах (на примере Рославльского разлома) // Геофизические исследования. 2015. Т. 16. №3. С. 55–62.
 28. Удоратин В.В., Езимова Ю.Е., Магомедова А.Ш. Объемная активность радона в пределах разломных зон Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов // Литосфера. 2017. № 6. С. 136–152.
 29. Глубинное строение территории СССР / В.В. Белоусов, Н.И. Павленкова, Г.Н. Квятковская, А.В. Егоркин. М.: Наука, 1991. 224 с.
 30. Булин Н.К., Берлянд Н.Г., Булавко Л.Ф. Глубинное строение Тимано-Печорской провинции (по геофизическим данным) // Сов. геология. 1976. №1. С. 115–123.
 31. Удоратин В.В., Конанова Н.В. Глубинное строение литосферы по профилю МЕЗТИМРЕСН // Отечественная геология. 2000. №1. С. 44–50.
 32. Удоратин В.В. Глубинное строение и сейсмичность южных районов Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 72 с.
 33. Correlation between underground radon gas and dormant geological faults/J.Lopez , O.Dena Ornelas, L.Sago-Bohus, G.Rodriguez, I.Chavarria // Journal of Nuclear Physics. Material Sciences, Radiation and Applications. 2016. Vol. 4. № 1. P. 265–275.
 34. Семинский К.Ж., Бобров А.А., Дэмбэрэл С. Соотношение радоновой и тектонической активности разломов в Центральной Монголии // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487. № 5. С. 538–541.
- References**
1. Kalinina O.A., Fotiadi E.E. Krupnye cherty tektonicheskoy struktury Severo-Vostoka evropeyskoy chasty SSSR po geologicheskim I geofizicheskim dannym [Large features of the tectonic structure of the North-East of the European part of the USSR by geological and geophysical data] // Geologiya I neftegazonosnost Timano-Pechorskoy oblasti [Geology and oil and gas content of the Timan-Pechora region]. Leningrad. 1959. P. 383–409. (VNIGRI Proc.; Issue 133).
 2. Gafarov R.A. Stroenie skladchatogo fundamenta Vostochno-Evropeyskoy platform po geofizicheskim dannym [The structure of the folded basement of the East European Platform by geophysical data] // Izvestia USSR Ac. Sci. 1963. No. 8. P. 56–67.
 3. Raznitsyn V.A. Tektonicheskaya karta Komi ASSR i sopredelnyh raionov [Tectonic map of the Komi ASSR and surrounding areas] // Voprosy geologii severo-vostoka Russkoy platformy, pechorskogo Urala i poluostrova Kanin, Trudy Instituta geologii Komi filial AN SSSR [Problems of geology of the north-east of the Russian Platform, the Pechora Urals and the Kanin Peninsula / Proc. of Inst.of Geology, Komi Branch, USSR Ac. Sci. Syktyvkar, 1963. Issue 4. P. 3–13.
 4. Valeev R.N. Tektonika Vyatsko-Kamskogo mezhdirechya [Tectonics of the Vyatka-Kama interfluves]. Moscow: Nedra, 1968. 109 p.
 5. Dedeev V.A., Shustova V.E. Geobloki Evropeyskoy chasti SSSR [Geoblocks of the European part of the USSR] / Proc. of the Komi Branch, USSR Ac. Sci. Publ., 1976. Issue 25. 51 p.
 6. Struktura platformennogo chehla Evropeyskogo Severa SSSR [Structure of platform cover of the European North of the USSR] / Ed. V.A. Dedeev. Leningrad: Nauka, 1982. 200 p.
 7. Shablinskaya N.V. Razlomnaya tektonika Zapadno-Sibirskoy I Timano-Pechorskoy plit I voprosy neftegazonosnosti paleozoya [The fault tectonics of the West Siberian and Timan-Pechora plates and the problems of the Paleozoic oil and gas content] / Proc. of the All-Union Petroleum Research Geol. Prosp. Inst. Leningrad: Nedra, 1982. 155 p.
 8. Bashilov V.I. Razlomy fundamenta severa Vostochno-Yevropeyskoy platformy, ikh tektonicheskoye znachenie i metody vyyavleniya [Faults of the foundation of the north of the East European platform, their tectonic significance and detection methods] // Geologiya i geokhimiya severa yevropeyskoy chasti SSSR [Geology and geochemistry of the north of the European part of the USSR]. Moscow, Moscow State Pedagog. Inst., 1983. P.105–119.
 9. Dedeev V.A., Zaporozhtseva I.V. Zemnaya kora Evropeyskogo Severo-Vostoka SSSR [The Earth's crust of the European North-East of the USSR]. Leningrad: Nedra, 1985. 96 p.
 10. Malyshev N.A. Razlomy Evropeyskogo Severo-Vostoka SSSR v svyazi s neftegazonosnostyu [The faults of the European North-East of the USSR in connection with oil and gas potential]. Leningrad: Nauka, 1986. 112 p.
 11. Getsen V.G. Tektonika Timana [Tectonics of Timan]. Leningrad: Nauka, 1987. 172 p.
 12. Zaporozhtseva I.V., Pystin A.M. Stroenie dofanerozoyskoy litosfery Evropeyskogo Severo-Vostoka Rossii [The structure of the pre-Phanerozoic lithosphere of the European North-East of Russia]. St. Petersburg: Nauka, 1994. 112 p.
 13. Kostyuchenko S.L. Struktura I tektonicheskaya model zemnoy kory Timano-Pechorskogo basseyna po rezultatam kompleksnogo geologo-geofizicheskogo izucheniya [Structure and tectonic model of the Earth's crust of the Timan-Pechora basin based on the results of a comprehensive geological and geophysical study] // Tektonika I magmatizm Vostochno-Evropeyskoy platformy [Tectonics and magmatism of the East European Platform]. Moscow, 1994. P. 121–123.
 14. Bogdanov N.A., Khain V.E. Ob"yasnitel'naya zapiska k tektonicheskoy karte Barentseva morya i severnoy chasti yevropeyskoy Rossii masshtaba 1:2500000 [Explanatory note to the

- tectonic map of the Barents Sea and the northern part of European Russia, scale 1: 2500000]. Moscow, 1996. 26 p.
15. *Bashilov V.I.* Razlomy i endogennyye rezhimy Timano-Pechorskogo basseyna [Faults and endogenous regimes of the Timan-Pechora basin] // Problemy evolyutsii tektonosfery [Problems of the evolution of the tectonosphere]. Moscow: Joint Inst. for Earth Physics, RAS, 1997. P. 126–146.
 16. *Malyshev N.A.* Tektonika, ehvolyusiya i neftegazonosnost' osadochnykh basseynov yevropeyskogo severa Rossii [Tectonics, evolution and oil and gas potential of sedimentary basins in the European north of Russia]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2002. 150 p.
 17. *Yudakhin F.N., Shchukin Yu.K., Makarov V.N.* Glubinnoe stroenie I sovremennyye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropeyskoy platformy [Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European Platform]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2003. 299 p.
 18. *Fundament Timano-Pechorskogo neftegazonosnogo basseyna* [The foundation of the Timan-Pechora oil and gas basin] / L.T. Belyakova, V.I. Bogatsky, B.P. Bogdanov, E.G. Dovzhikova, V.M. Laskin. Kirov: Kirov regional printing house, 2008. 228 p.
 19. *Konanova N.V., Udoratin V.V., Magomedova A.Sh.* Magnitnye anomalii zony sochleneniya severo-vostochnoy chasty Volgo-Uralskoy anteklizy i Vyhegodskogo progiba [Magnetic anomalies of the suture zone of the northeastern part of the Volga-Ural anticline and the Vyhegda trough] // Bull. of Inst. of Geology, Komi Sci. Centre, Ural Branch, RAS. Syktывkar, 2017. No. 12. P. 25–30.
 20. *Kutinov Yu.G., Chistova Z.B.* Ierarhicheskiy ryad proyavleniy shchelochno-ultraosnovnogo magmatizma Arhangelskoy amazonsnoy provintsi. Ikh otrazhenie v geologo-geofizicheskikh materialah [Hierarchical series of manifestations of alkaline-ultrabasic magmatism of the Arkhangelsk diamondiferous province. Their reflection in geological and geophysical materials]. Arkhangelsk: OJSC "Pravda Severa", 2004. 283 p.
 21. *Raznitsyn V.A.* Tektonika Yuzhnogo Timana [Tectonics of South Timan]. Moscow: Nauka, 1964. 150 p.
 22. *Dedeev V.A.* Struktura dokembriyskogo fundamenta Russkoy plity [Structure of the Precambrian foundation of the Russian plate] // Geologiya i poleznyye iskopayemyye severovostoka yevropeyskoy chasti SSSR i Severa Urala. Trudy VII geologicheskoy konferentsii Komi ASSR [Geology and minerals of the northeast of the European part of the USSR and the North of the Urals / Materials of the VII Geol. Conf. of the Komi ASSR]. Syktывkar, 1971. P. 286–288.
 23. *Zhuravlev V.S.* Sravnitel'naya tektonika Pechorskoy, Prikaspiyskoy i Severomorskoy egzogonalnykh vpadin Evropeyskoy platformy [Comparative tectonics of the Pechora, Pre-Caspian and North Sea exogonal basins of the European Platform]. Moscow: Nauka, 1972. 400 p. (Proc. of GIN, USSR Ac. Sci; Issue. 223).
 24. *Olovyanishnikov V.G., Bushuev A.S., Dokhsanyants E.P.* Stroenie zony sochleneniya Russkoy i Pechorskoy plit po geologo-geofizicheskim dannym [Structure of the suture zone of the Russian and Pechora plates according to geological and geophysical data] // Doklady of the RAS. 1996. Vol. 351. No. 11. P. 88–92.
 25. *Kompleksnyye geologo-geofizicheskie issledovaniya aktivnykh razlomov v Sochi – Krasnopol'yanskom rayone* [Complex geological and geophysical studies of active faults in Sochi-Krasnaya Polyana area] / A.N.Ovsyuchenko, A.V.Khilko, S.V.Shvarev, K.A.Kostenko, A.V.Marakhanov, E.A.Rogozhin, S.S.Novikov, A.S.Larkov // Earth Physics. 2013. No. 6. P. 116–138.
 26. *Semensky K.Zh., Bobrov A.A., Demberel S.* Variatsii ob'yemnoy aktivnosti radona v razlomnykh zonah zemnoy kory: prostranstvennyye osobennosti [Variations in the volume radon activity in fault zones of the Earth's crust: spatial features] // Earth Physics. 2014. No. 6. P. 80–98.
 27. *Levshenko V.T., Grigoryan A.G.* Ispolzovanie dannykh kompleksnykh issledovaniy pri opredelenii polozheniya razlomov v platformennykh rayonah (na primere Roslavlskogo razloma) [The use of complex research data in determining the position of faults in platform areas (on example of the Roslavl fault)] // Geofizicheskiye issledovaniya [Geophysical research]. 2015. Vol. 16. No. 3. P. 55–62.
 28. *Udoratin V.V., Ezimova J.E., Magomedova A.Sh.* Ob'yemnaya aktivnost' radona v predeleh razlomnykh zon Kirovsko-Kazhimskogo i Pechoro-Kolvinskogo avlakogenov [The volume radon activity within the fault zones of the Kirov-Kazhim and Pechora-Kolvin aulacogenes] // Lithosphere. 2017. Vol. 17. No. 6. P. 136–152.
 29. *Glubinnoe stroenie territorii SSSR* [The deep structure of the territory of the USSR] / V.V.Belousov, N.I. Pavlenkova, G.N. Kvyatkovskaya, A.V. Egorokin. Moscow: Nauka, 1991. 224 p.
 30. *Bulin N.K., Berlyand N.G., Bulavko L.F.* Glubinnoe stroenie Timano-Pechorskoy provintsi (po geofizicheskim dannym) [The deep structure of the Timan-Pechora province (according to geophysical data)] // Soviet Geology. 1976. No. 1. P. 115–123.
 31. *Udoratin V.V., Konanova N.V.* Glubinnoe stroenie litosfery po profilyu MEZTIMPECH [Deep structure of the lithosphere along the profile MEZTIMPECH] // Otechestvennaya geologiya [National geology]. 2000. No. 1. P. 44–50.
 32. *Udoratin V.V.* Glubinnoe stroenie I seysmichnost' yuzhnykh rayonov Respubliki Komi [Deep structure and seismicity of the southern regions of the Komi Republic]. Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2002. 72 p.

33. Correlation between underground radon gas and dormant geological faults / *J.Lopez, O.Dena Ornelas, L.Sago-Bohus, G.Rodriguez, I.Chavarria* // *J. of Nuclear Physics. Material Sciences, Radiation and Applications*. 2016. Vol. 4. № 1. P. 265–275.
34. *Semensky K.Zh., Bobrov A.A., Demberel S.* Sootnosheniye radonovoy i tektonicheskoy aktivnosti razlomov v Tsentral'noy Mongolii [Correlation of radon and tectonic fault activity in Central Mongolia] // *Doklady Earth Sciences*. 2019. Vol. 487. No. 5. P. 538-541.

Статья поступила в редакцию 17.12.2019.