

УДК 622.83:551.2

**Далатказин Тимур Шавкатович**  
кандидат технических наук,  
заведующий лабораторией  
технологии снижения риска катастроф  
при недропользовании,  
Институт горного дела УрО РАН,  
620075, г. Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58,  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Ведерников Андрей Сергеевич**  
научный сотрудник,  
лаборатория технологии снижения  
риска катастроф при недропользовании,  
Институт горного дела УрО РАН,  
e-mail: [avedernikov@igduran.ru](mailto:avedernikov@igduran.ru)

**Григорьев Данила Вячеславович**  
научный сотрудник,  
лаборатория технологии снижения  
риска катастроф при недропользовании,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [danilging@gmail.com](mailto:danilging@gmail.com)

#### **ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ СРЕДИННОГО ГРАДИЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ\***

*Аннотация:*

*Представлены результаты аналитических исследований с целью определения возможности применения электроразведки методом сопротивлений установкой срединного градиента в комплексе геодинамической диагностики горного массива для мониторинга изменений напряженно-деформационного состояния. Современная геодинамическая активность изменяет объем пор и трещин, в той или иной степени заполненных водным раствором различных солей и являющихся электролитом, что отражается на изменении значений кажущегося удельного электрического сопротивления. Но кроме современной геодинамической активности на формирование электропроводимости горных пород в приповерхностной зоне существенно влияют метеорологические условия (атмосферные осадки, температура воздуха, скорость ветра), которые различны в периоды между сериями измерений. В то же время влияние метеорологических условий на участок распределяется равномерно. Таким образом, кажущееся удельное электрическое сопротивление горных пород в приповерхностной зоне изменяется под влиянием двух факторов: метеорологических условий и современной геодинамики. Для определения только геодинамической составляющей формирования значений кажущегося электрического сопротивления при мониторинговых исследованиях по методике срединного градиента предложено использовать нормирование. Полученные результаты являются предпосылкой для продолжения исследований по использованию методики срединного градиента в комплексе геодинамической диагностики.*

DOI: 10.25635/2313-1586.2022.04.132

**Dalatkazin Timur Sh.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory of technologies reducing  
the risk of disasters during mining,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Vedernikov Andrey S.**  
Researcher,  
Laboratory of technologies reducing  
the risk of disasters during mining,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS  
e-mail: [avedernikov@igduran.ru](mailto:avedernikov@igduran.ru)

**Grigoriev Danila V.**  
Researcher,  
Laboratory of technologies reducing  
the risk of disasters during mining,  
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,  
e-mail: [danilging@gmail.com](mailto:danilging@gmail.com)

#### **RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF USING THE MEDIAN GRADIENT METHODIC WHILE EXPLORING OF CONTEMPORARY GEODYNAMIC ACTIVITY**

*Abstract:*

*The article presents the results of analytical studies in order to research the possibility of using electrical exploration by the resistivity method with installing a median gradient in the complex of geodynamic diagnostics of a rock massif for monitoring changes in the stress-strain state. Current geodynamic activity changes the volume of pores and cracks which are filled to some extent with an aqueous solution of various salts and which are an electrolyte. This reflects in the change of the values of the apparent electrical resistivity. But in addition to current geodynamic activity, the formation of the electrical conductivity of rocks in the near-surface zone is significantly affected by meteorological conditions (atmospheric precipitation, air temperature, wind speed), which are different in periods between series of measurements. At the same time, the influence of meteorological conditions on the area is distributed evenly. Thus, the apparent electrical resistivity of rocks in the near-surface zone changes under the influence of two factors: meteorological conditions and current geodynamics. To determine only the geodynamic component of the formation of apparent electrical resistivity values while monitoring by the median gradient method, we propose to use normalization. The obtained results are a prerequisite for continuing research on the use of the median gradient technique in the complex of geodynamic diagnostics.*

\* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПП, тема 3 (2022-2024), (FUW-2022-0005), рег. No1021062010531-8-1.5.1.

*Ключевые слова:* массив горных пород, дизъюнктивные нарушения, современная геодинамическая активность, напряженно-деформированное состояние, мониторинг, кажущееся удельное электрическое сопротивление, геофизика, электроразведка методом сопротивлений.

*Key words:* rock mass, disjunctive disturbances, current geodynamic activity, stress-strain state, monitoring, apparent electrical resistivity, geophysics, electrical resistivity exploration.

### Введение

Анализ причин возникновения аварийных и катастрофических событий на объектах недропользования показывает, что одной из значимых причин является современная геодинамическая подвижность массива горных пород [1, 2].

Для решения вопросов предотвращения таких катастроф предусмотрена геодинамическая диагностика горного массива – исследования, направленные на выявление геодинамически активных зон, определение их пространственных параметров, дифференциации по уровню современной геодинамической активности (геодинамическое районирование), включающие комплекс геофизических методов [3, 4].

Для изучения современной геодинамической активности используется геодинамическая диагностика горного массива – комплекса исследований, включающего геодезические, геофизические, геологические методы. Каждый метод имеет свои достоинства и ограничения. В зависимости от конкретных горно-геологических условий комплекс методов диагностики различается.

В настоящее время методы электроразведки используются в комплексе геодинамической диагностики при исследовании дизъюнктивных структур массива горных пород. В том числе для этого применяется метод сопротивлений установкой срединного градиента, представляющий площадной характер исследований, характеризующийся высокой производительностью [5]. Было бы продуктивно использовать данную методику для мониторинга напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Институтом горного дела УрО РАН на протяжении нескольких десятилетий выполняются комплексные геодезические и геофизические исследования современной геодинамики природного и техногенного генезисов на геодинамическом полигоне – горном массиве месторождения хромитов на Урале.

С целью совершенствования комплекса геодинамической диагностики в 2022 г. выполнены аналитические исследования по проверке возможности использования методики срединного градиента для наблюдений за изменением напряженно-деформированного состояния горного массива. Идея исследований заключается в подтверждении соответствия распределения геодинамической активности по данным периодических измерений по методике срединного градиента и по результатам периодических геодезических измерений.

Современная геодинамическая активность изменяет объем пор и трещин, в той или иной степени заполненных водным раствором различных солей и являющихся электролитом. Это отражается на изменении значений кажущегося удельного электрического сопротивления. Но кроме современной геодинамической активности на формирование электропроводимости горных пород в приповерхностной зоне существенно влияют метеорологические условия (атмосферные осадки, температура воздуха, скорость ветра), которые различны в периоды между сериями измерений. В то же время их влияние на участок распределяется равномерно. Таким образом, кажущееся удельное электрическое сопротивление горных пород в приповерхностной зоне изменяется под влиянием двух факторов: метеорологических условий и современной геодинамики. Для определения только геодинамической составляющей формирования значений кажущегося удельного электрического сопротивления при мониторинговых исследованиях по методике срединного градиента предложено использовать нормирование [6].

Для устранения влияния метеорологических факторов (атмосферных осадков) по результатам исследований на значения кажущегося удельного электрического сопротивления по участку изысканий было выполнено нормирование полученных значений. Нормирование выполнено путем деления каждого значения кажущегося удельного электрического сопротивления на участке исследования на среднее значение кажущегося удельного электрического сопротивления по участку (1):

$$R'_i = R_i / R_m. \quad (1)$$

Параметры установки срединного градиента были выбраны следующие: разнос АВ 160 м, разнос MN и шаг по профилю 3 м, расстояние между профилями 10 м. Измерения выполнялись с помощью электроразведочного оборудования, генератора АСТРА-100 и измерителя МЭРИ-24. Производился полевой контроль качества измерений.

Измерения по методике срединного градиента выполнялись на участке в пределах вмещающего массива горных пород Сарановского месторождения хромитов.

Главное Сарановское месторождение хромитов находится на западном склоне Урала в Горнозаводском районе Пермского края (в Чусовском районе Пермской области по административно-территориальному делению до 2005 г., Средний Урал) и расположено в 100 км к востоку от районного центра. Северный Сарановский массив, где в настоящее время эксплуатируется Главное Сарановское месторождение, протягивается в меридиональном направлении на 1,8 км при ширине 0,4 км и к северу постепенно погружается на глубину. Несколько меньшего размера Южный Сарановский массив расположен на 1 км южнее. Здесь ранее на ряде рудников также осуществлялась добыча хромитов, ныне прекращенная.

Сарановский ультраосновной массив, вмещающий месторождения, представлен двумя телами гарцбургитовых серпентинитов, залегающих согласно среди филлитовых и кварц-хлоритовых сланцев кембрийского возраста. Северное тело протяженностью около 2,5 км и шириной 80 – 250 м имеет субмеридиональное простирание и преимущественно восточное падение [7].

Простирание полосчатости в рудовмещающих породах северной части Главного месторождения субмеридиональное (355 – 13°), падение крутое на Запад под углом 80 - 85°. В центральной части оно становится северо-западным и характеризуется восточным падением под углом 65 – 80°. Простирание полосчатости к югу постепенно изменяется от 345 до 310°, а падение вылаживается до 30 – 40°.

Юго-западная часть Северного тела сложена преимущественно дунитовыми серпентинитами, а с востока к нему примыкает небольшой массив габбро, вытянутый также в северо-западном направлении.

Жильная серия пород представлена, главным образом, метаморфизованными диабазами и габбро-диабазам, секущими как серпентиниты, так и рудные тела. Простирание их северо-восточное или близкое к широтному, падение в основном северное под углом 55 – 90° [8].

Согласно детальным геоморфологическим исследованиям в пределах горы Сарановская наблюдается молодая блоковая тектоника. Об этом свидетельствуют многочисленные особенности микрорельефа горы. Наиболее интенсивно неотектоника проявилась в районе Главного месторождения [8].

Изучение современной геодинамики в пределах исследуемой территории было сосредоточено на исследованиях деформационных процессов сдвижения и обрушения, сопровождающих многолетние подземные разработки месторождения систематическим мониторингом с применением традиционных и спутниковых геодезических методов.

Современное состояние развития процесса сдвижения на месторождении представлено мульдой сдвижения с характерными зонами:

- зоны обрушения и трещин;
- зоны плавных сдвижений и деформаций.

Процесс развития обрушения на месторождении приурочен к его подземным разработкам на Центральном участке и на Южном фланге. Сформировались две обособленные зоны обрушения, разделенные гипербазитовой дайкой:

- зона обрушения на Южном фланге;
- зона обрушения на Центральном участке.

На Северном фланге месторождения, вследствие погружения обрабатываемых рудных тел на глубину более 100 м, подрабатываемая толща находится в устойчивом состоянии. Мульда сдвижения на Северном фланге представлена зоной плавных сдвижений и деформаций земной поверхности без разрыва ее сплошности.

Карты распределения нормированных значений кажущихся электрических сопротивлений по участку исследований за 2019 и 2021 г. представлены на рис. 1, 2.

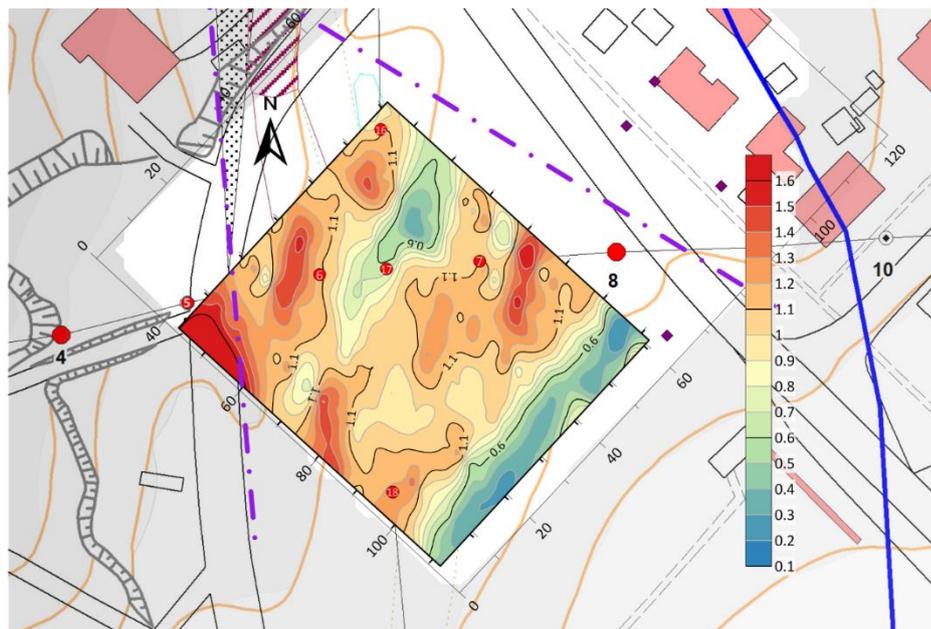


Рис. 1. Карта нормированных значений кажущихся сопротивлений экспериментального участка, Саранск, 2019 г.

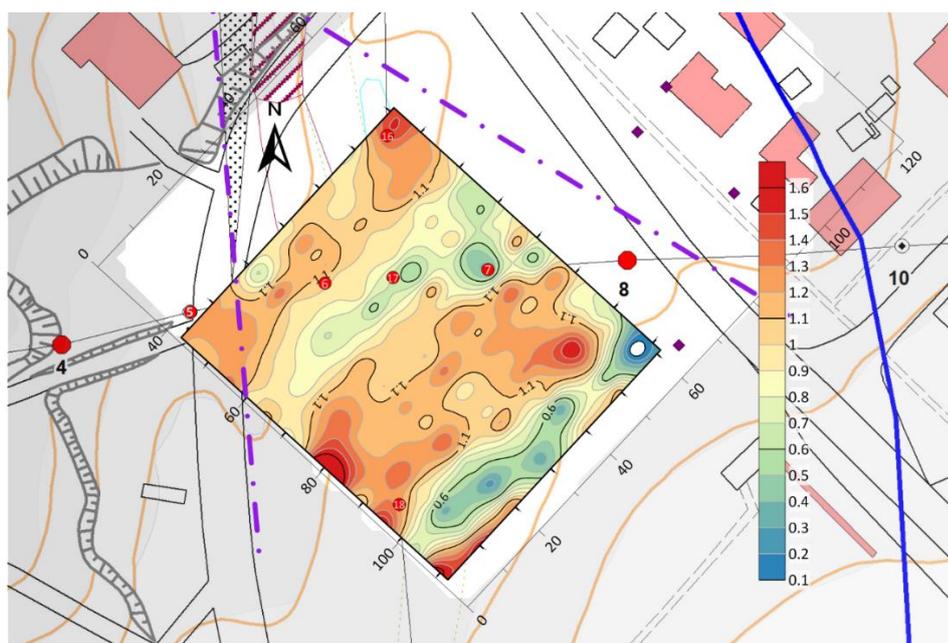


Рис. 2. Карта нормированных значений кажущихся сопротивлений экспериментального участка, Саранск, 2021 г.

Далее из нормированных значений кажущегося удельного электрического сопротивления за 2021 г. были вычтены нормированные значения кажущегося удельного электрического сопротивления за 2019 г. По полученным величинам построена карта, отражающая «результат» геодинамического процесса за период между сериями измерений (рис. 3).

С целью установления возможных зависимостей между изменениями в полученном поле кажущегося удельного электрического сопротивления и изменениями в результатах геодезических измерений было проведено их сравнение.

Красными окружностями на рис. 3 показаны актуальные геодезические реперы, попадающие на рассматриваемый участок. По результатам обработки геодезических измерений для данных реперов была составлена табл. 1, в которой также приведены осредненные значения, полученные с карты, представленной на рис. 3.

Таблица 1

**Изменения на рассматриваемом участке за период 2021 – 2019 гг.**

Номер реперной точки	По данным электроразведки		По данным геодезических измерений					
	Разница нормированных значений $\rho_k$	Среднее $\rho_k$ между реперами	Оседания реперов, мм	Наклоны линий, $i \cdot 0.001$	Скорость наклонов, мм/м в мес.	Изменения длин, мм	Гориз. деформ., $e \cdot 0.001$	Скорость деформ., мм/м в мес.
7	-0,70		3					
		<b>-0,32</b>		-0,25	-0,010	0	0,01	0
17	0,05		1					
16	0,35		2					
		<b>0,16</b>		0,03	0,001	-5	-0,16	-0,006
17	0,05		1					
		<b>0,08</b>		-0,13	-0,005	10	0,22	0,009
18	0,02		7					

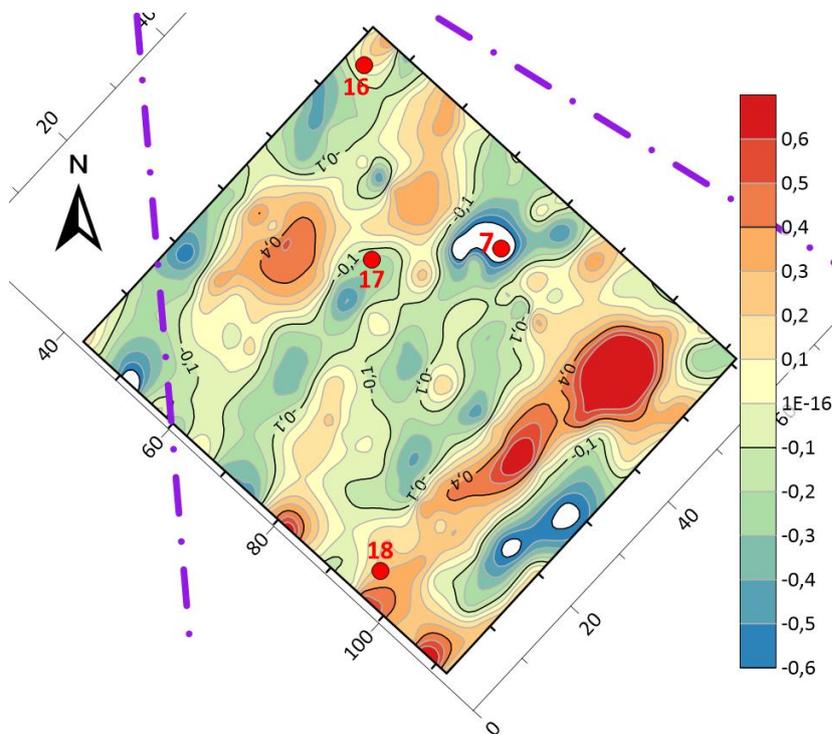


Рис. 3. Карта распределения разницы нормированных значений кажущихся сопротивлений между измерениями 2021 и 2019 г.

Для наглядности по данным из табл. 1 были построены графики. Они представлены на рис. 4.

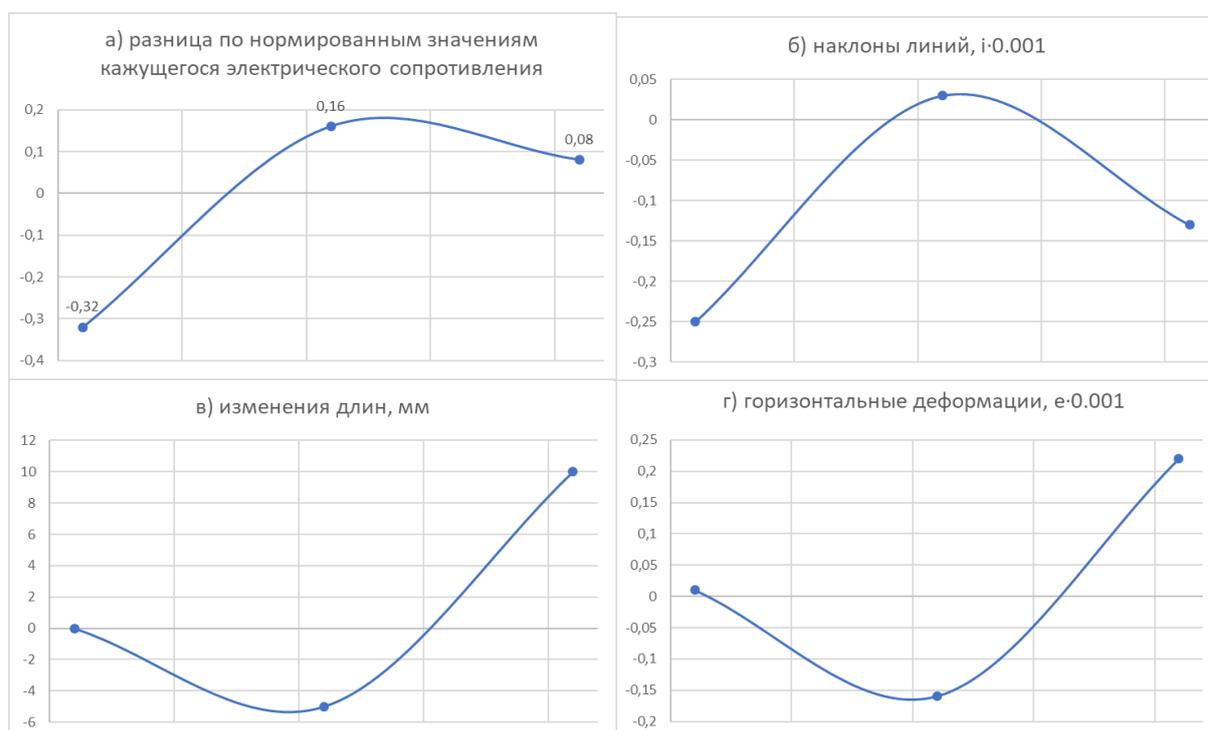


Рис. 4. Изменения на экспериментальном участке между геодезическими измерениями 2021 и 2019 г. Точки на графиках принадлежат межреперным интервалам «7-17», «16-17» и «17-18», соответственно

При сравнении графиков *a* и *b* наблюдается схожий характер изменений параметров, а при сравнении графиков *a* и *c* (и зависящего от него графика *d*) видна обратная зависимость. На межреперном интервале «7-17» при практически нулевом изменении его длины наблюдается значительный наклон, что соответствует уменьшению нормированных значений кажущегося удельного электрического сопротивления. На межреперном интервале «16-17» наклон линии близок к нулю, и имеется сокращение его длины, что выражается в увеличении нормированных значений кажущегося удельного электрического сопротивления. На межреперном интервале «17-18» вновь отмечается наклон линии, а также значительное растяжение в горизонтальной плоскости, что приводит к небольшому увеличению нормированных значений кажущегося удельного электрического сопротивления.

#### Заключение

В связи с имеющейся малой выборкой делать однозначные выводы преждевременно. Однако представленные результаты являются предпосылкой для продолжения изучения применения мониторинговых наблюдений электроразведки методом сопротивлений установкой срединного градиента в исследованиях проявлений современной геодинамики.

#### Список литературы

1. Сашурин А.Д., Мельник В.В., 2022. Взаимосвязь геомеханики и недропользования с позиций законодательного определения термина «Недра». *Горная промышленность*, № 1S, С. 100 – 104. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-100-104
2. Горшков Л.К., Декусар З.Б., 2011. Геодинамическая нестабильность и природно-техногенные катастрофы. *Записки Горного института*, Том 190, С. 143.

3. Гриб Н.Н., Трофименко С.В., Гриб Г.В., Имаев В.С., 2014. Геофизический мониторинг геодинамических процессов в земной коре. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 9 – 1, С. 145 – 149. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5805> (дата обращения: 31.10.2022)

4. *Руководство по геодинамическому районированию шахтных полей*, 2012. Межотраслевой научный центр ОАО ВНИМИ. Санкт-Петербург, 116 с. DOI: <https://minenergo.gov.ru/node/1606?ysclid=lakn1r5maj339517428> (дата обращения 11.09.2022)

5. Бакумцев А.А., 2017. Оптимизация методики электроразведки методом среднего градиента при изучении археологических объектов. *Вестник Воронежского государственного университета. Геология*, № 1, С. 115 – 118.

6. Далатказин Т.Ш., Коновалова Ю.П., Ручкин В.И., 2016. Мониторинг поля радоновых эманацій в зоне техногенного воздействия. *Проблемы недропользования*, № 4. С. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.097

7. *Геология СССР. Том XII. Пермская, Свердловская, Челябинская и Курганская области. Полезные ископаемые*, 1973. Москва: Недра, 632 с. (Уральское территориальное геологическое управление).

8. Кизиллов Г.И., Зимин И.А., 1989. Неотектоника и россыпи валунчатых хромитовых руд горы Сарановской. *Минералы и минеральное сырье горнопромышленных районов Урала: сб. научных трудов*. Свердловск: УрО АН СССР, С. 104 – 109.

## References

1. Sashurin A.D., Mel'nik V.V., 2022. Vzaimosvyaz' geomekhaniki i nedropol'zovaniya s pozitsii zakonodatel'nogo opredeleniya termina "Nedra" [Relationship of geomechanics and subsoil use from the standpoint of the legislative definition of the term "Subsoil"]. *Gornaya promyshlennost'*, № 1S, P. 100 – 104. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-100-104

2. Gorshkov L.K., Dekusar Z.B., 2011. Geodinamicheskaya nestabil'nost' i prirodno-tekhnogennye katastrofy [Geodynamic instability vs. natural and man-made disasters]. *Zapiski Gornogo instituta*, Vol. 190, P. 143.

3. Grib N.N., Trofimenko S.V., Grib G.V., Imaev V.S., 2014. Geofizicheskii monitoring geodinamicheskikh protsessov v zemnoi kore [Geophysical monitoring of geodynamic processes in the Earth's crust]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, № 9 – 1, P. 145 – 149. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5805> (data obrashcheniya: 31.10.2022)

4. *Rukovodstvo po geodinamicheskomu raionirovaniyu shakhtnykh polei*, 2012. Mezhotraslevoi nauchnyi tsentr ОАО ВНИМИ [Guidance to geodynamic zoning of mine fields, 2012. Intersectoral Research Center of ОАО ВНИМИ]. Sankt-Peterburg, 116 p. DOI: <https://minenergo.gov.ru/node/1606?ysclid=lakn1r5maj339517428> (data obrashcheniya 11.09.2022)

5. Bakumtsev A.A., 2017. Optimizatsiya metodiki elektrorazvedki metodom sredinnogo gradienta pri izuchenii arkheologicheskikh ob'ektov [Optimization of electrical exploration technique by the method of median gradient in the study of archaeological objects]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*, № 1, P. 115 – 118.

6. Dalatkazin T.Sh., Konovalova Yu.P., Ruchkin V.I., 2016. Monitoring polya radonovykh emanatsii v zone tekhnogennoho vozdeistviya [Monitoring of radon emanations field in the zone of technogenic impact]. *Problemy nedropol'zovaniya*, № 4. DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.097

7. *Geologiya SSSR. Tom XII. Permskaya, Sverdlovskaya, Chelyabinskaya i Kurganskaya oblasti. Poleznye iskopaemye* [Geology of the USSR. Volume XII. Perm, Sverdlovsk, Chelyabinsk and Kurgan regions. Minerals, 1973]. Moscow: Nedra, 632 p. (Ural'skoe territorial'noe geologicheskoe upravlenie).

8. Kizilov G.I., Zimin I.A., 1989. Neotektonika i rossypi valunchatykh khromitovykh rud gory Saranovskoi [Neotectonics and placers of boulder chromite ores of the Saranovskaya mountain]. *Mineraly i mineral'noe syr'e gornopromyshlennykh raionov Urala: sb. nauchnykh trudov*. Sverdlovsk: UrO AN SSSR, P. 104 – 109.