

УДК 622.83:550.3

**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)

**Зуев Павел Игоревич**

научный сотрудник,  
лаборатория технологии снижения риска ката-  
строф при недропользовании,  
Институт горного дела УрО РАН  
e-mail: [zuev@igduran.ru](mailto:zuev@igduran.ru)

### ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМАНАЦИОННОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК\*

*Аннотация:*

*Представлены результаты начального этапа экспериментальных исследований возможности применения радонометрии для выявления и оконтуривания подземных горных выработок на подработанных территориях. Для обеспечения безопасности строительства и эксплуатации объектов недропользования на подработанных горными работами территориях необходима диагностика геомеханического состояния подстилающего горного массива – выявление и оконтуривание участков, дезинтегрированных в результате сдвижения горных пород. Оптимальным решением данной задачи является использование геофизических методов. Предпосылками для проведения данных исследований являются свойства радиоактивного газа радон и современные представления о формировании геодинамической составляющей поля радоновых эманацй в почвенном воздухе. Зона сдвижения горных пород над выработанным пространством характеризуется чередованием участков растяжения и сжатия. На исследуемой территории выполнены эманацйонные съемки различной степени детальности, исследования по раздельному определению содержания радона и торона в эманацйях. Анализ результатов натурных измерений позволяет сделать вывод о перспективности дальнейших исследований возможности применения радонометрии для изучения подработанных территорий.*

*Ключевые слова:* массив горных пород, дайка, тектоническое нарушение, радон, геодинамическая диагностика, сдвижения, поле радоновых эманацй.

DOI: 10.25635/2313-1586.2024.04.135

**Dalatkazim Timur Sh.**

Candidate of Technical Sciences,  
Head of Laboratory of hazard risk  
reducing in mining,  
Institute of Mining UB RAS,  
620075 Ekaterinburg,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.,  
e-mail: [9043846175@mail.ru](mailto:9043846175@mail.ru)

**Zuev Pavel I.**

Researcher,  
Laboratory of hazard risk  
reducing in mining,  
Institute of Mining UB RAS  
e-mail: [zuev@igduran.ru](mailto:zuev@igduran.ru)

### RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF USING EMANATION SURVEYING TO IDENTIFY UNDERGROUND MINING WORKINGS

*Abstract:*

*The article presents the results of the initial stage of experimental studies of the possibility of using radonometry to identify and delineate underground mine workings in underworked areas. Ensuring the safety of construction and operation of subsoil use facilities in areas underworked by mining operations requires diagnostics of the geomechanical state of the underlying rock massif – identification and delineation of areas disintegrated as a result of rock displacement. The optimal solution to this problem is the use of a complex of geophysical methods. The prerequisites for conducting these studies are the properties of radioactive radon gas and modern ideas about the formation of the geodynamic component of the radon emanation field in the soil air. The zone of rock displacement above the mined-out space is characterized by alternating areas of tension and compression. Emanation surveys of varying degrees of detail, studies on the separate determination of radon and thoron content in emanations were carried out on the study area. Analysis of the results of in-kind measurements allows us to conclude that further research into the possibility of using radonometry to study underworked areas is promising.*

*Key words:* rock massif, dike, tectonic disturbance, radon, geodynamic diagnostics, displacements, radon emanation field.

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

### Введение

При выполнении инженерно-геологических изысканий на территориях, подработанных горными работами, зачастую отсутствует документация, позволяющая определить пространственное положение подземных горных выработок. На таких территориях могут образовываться оседания поверхности и провалы (рис.1) [1].



Рис. 1. Территория г. Березовский.  
Образование провала над старательской горной выработкой.  
Горнотехническая документация по данной выработке отсутствует

Для обеспечения безопасности строительства и эксплуатации объектов недропользования на таких территориях необходима диагностика геомеханического состояния подстилающего горного массива – выявление и оконтуривание участков, дезинтегрированных в результате сдвижения горных пород. Оптимальным решением данной задачи является использование комплекса геофизических методов.

Институтом горного дела в 2024 г. на территории г. Березовский Свердловской области был выполнен начальный этап исследований возможности применения радонметрии для выявления и оконтуривания участков дезинтеграции горных пород, образовавшихся в результате процесса сдвижения в подработанном горном массиве.

Предпосылками для проведения данных исследований являются свойства радиоактивного газа радон и современные представления о формировании геодинамической составляющей поля радоновых эманаций в почвенном воздухе.

Радон является благородным, химически инертным газом: не вступает во взаимодействие с другими элементами, без цвета и запаха, хорошо растворяется в воде. Это источник альфа-излучения, и поэтому уверенно регистрируется даже при малых концентрациях специальными приборами; в 7,5 раз тяжелее атмосферного воздуха, обладает высокой проникающей способностью. Период полураспада радона-222 составляет 3,8 суток, торона -220 – 59 сек. Генерация его в горных породах происходит непрерывно [2, 3].

Земная кора содержит радиоактивные природные элементы, которые создают естественный радиоактивный фон. В горных породах, почве, воде, растениях и тканях живых организмов присутствуют члены радиоактивных семейств  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  - материнские нуклиды, которые имеют очень большие периоды полураспада:  $^{238}\text{U}$  –  $4,5 \times 10^9$  лет,  $^{235}\text{U}$  –  $0,7 \times 10^9$  лет,  $^{232}\text{Th}$  –  $14 \times 10^9$  лет. Газообразными продуктами

ми, которые рождаются в процессе распада, являются гелий-4 и изотопы радона. Наибольший вклад в газовую составляющую естественных радиоактивных элементов вносят радиоактивные семейства  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ , в процессе радиоактивного распада которых образуются изотопы  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{224}\text{Ra}$ . Изотопы радона –  $^{222}\text{Rn}$  появляются непосредственно при распаде  $^{226}\text{Ra}$  (период полураспада 1590 лет) и  $^{220}\text{Tn}$  – при распаде  $^{224}\text{Ra}$  (период полураспада 3,66 дня).

Повсеместное распространение изотопов радия приводит также к *повсеместному* распространению в природе и в горных породах изотопов радона. Изотопы радона являются альфа-излучателями. Изотопы радона представляют собой радиоактивные газообразные вещества – эманации.

Основной причиной формирования аномалий радоновых эманаций в почвенном воздухе над дезинтегрированными в результате сдвижения горными породами является их повышенная проницаемость для флюидов. Это позволяет предположить аномальные значения объемной активности радона в зоне сдвижения.

С целью определения возможности использования радонометрии для выявления и оконтуривания участков сдвижения горных пород на подработанных территориях на экспериментальном участке была выполнена эманационная съемка различной степени детализации.

В почвенном воздухе геодинамически активных зон различного генезиса формируются аномалии радоновых эманаций благодаря

- повышенной проницаемости горных пород, характерной для активных участков разломной зоны;
- влиянию упругих колебаний на горные породы, образующихся при геодинамических движениях;
- при тектонических подвижках в трещинах формируются локальные, импульсные участки разрядки и увеличения давления, что способствует продвижению газов по порам и микротрещинам.

Аномалии радоновых эманаций в почвенном воздухе над участками тектонических разломов формируются всем комплексом проявления современной геодинамической активности.

Таким образом, аномалии радоновых эманаций над участками тектонических разломов свидетельствуют о наличии современного геодинамического процесса, а величины радоновых эманаций непосредственно зависят от степени проявления современной геодинамической активности, независимо от глубины заложения разлома и мощности покровных отложений, что позволяет использовать результаты эманационной радоновой съемки для геодинамической диагностики горного массива [4, 5].

#### *Характеристика исследуемого горного массива*

Березовское золоторудное месторождение разрабатывается на протяжении 275 лет. Первые 150 лет казенная добыча велась в приповерхностной части месторождения на глубинах, не превышавших 45 – 50 м, ограничиваясь гидрогеологическими условиями. За этот период, согласно архивным документам, было построено более 1000 мелких шахт, пройденных по дайкам и жилам. В это же время повсеместно велась старательская добыча небольшими горными выработками – шурфами, штольнями, небольшими шахтами. По этим выработкам горнотехническая документация отсутствует.

Территория исследования расположена на юго-западной окраине г. Березовский Свердловской области, свободна от застройки, инженерных коммуникаций, леса и кустарника. На отдельных участках территории отмечены навалы грунта. Площадь территории исследований составляет 32400 м<sup>2</sup>. В прошлом участок исследований использовался для выращивания сельскохозяйственных культур. В рельефе местности выработки не проявляются.

Коренные породы района работ представлены базальтами афировыми, вариолитами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, туффитами, кремнистыми, углеродисто-кремнистыми сланцами, зелеными сланцами, микроамфиболитами, кварцитами, амфиболитами, объединенными в новоберезовскую толщу, имеющую мощность более 2000 м [6]. Породы толщи прорваны многочисленными дайками гранодиорит-порфиоров, гранит-порфиоров, плагиогранит-порфиоров, диоритов и диорит-порфиоров. Протяженность даек до 20 км, мощность 2 – 40 м, простирание близмеридиональное, падение крутое. К поперечным трещинам разрыва в дайках приурочены короткие крутопадающие кварцеворудные «лестничные» жилы, менее развиты пологие широтные и диагональные. В осадочно-вулканогенных и интрузивных породах имеются «красичные» жилы, однотипные по составу с «лестничными» и местами являющиеся их продолжением во вмещающих породах. Жилы в пределах рудного поля распространены неравномерно.

На территории в пределах глубины до 5,0 – 18,0 м присутствует линейный тип коры выветривания материнских пород. Этот тип образует клинообразные формы продуктов выветривания, которые возникли вдоль контактов пород, зон дробления и разломов. Кора выветривания представлена элювиальными образованиями глыбовой и дисперсной зон.

К глыбовой зоне отнесены:

– полускальные сильнотрещиноватые грунты (рухляки) сланцев желто-коричневого цвета, наблюдаются на глубине 4,5 – 10,0 м:

– полускальные сильнотрещиноватые грунты (рухляки) березитов желто-серого и зеленовато-серого цвета, наблюдаются на глубине 2,3 – 13,0 м.

Дисперсная зона представлена элювиальными суглинками супесями. Элювиальные образования наблюдаются на глубине залегания 1,5 – 7,7 м.

Выше по разрезу залегают четвертичные отложения делювиально-аллювиального генезиса на глубине 0,3 – 2,5 м от поверхности и представлены суглинками, участками глинами.

С поверхности территория изысканий спланирована насыпными грунтами.

Территория исследований находится в районе выхода на поверхность даек Вагнеровская и Параллельная.

Дайка Параллельная крутого восточного падения с углом  $75^\circ$  была затронута старыми горными работами Золотопромышленного Товарищества 1895 – 1918 гг. на глубину 30 м от поверхности.

Кроме того, здесь пройдено большое количество разведочных шурфов. Их глубина достигала 15 м от поверхности.

Дайка Вагнеровская крутого восточного падения с углом  $65^\circ$  была затронута старыми казенными работами 1745 – 1860 гг. на глубину 12 м от поверхности. Ниже, до глубины 30 м от поверхности, дайка отрабатывалась Золотопромышленным Товариществом в 1895 – 1918 гг. В 1941 г. дайка была отработана до горизонта горных работ 60 м от поверхности системой ортовой выемки.

Информация о горизонтальных горных выработках непосредственно в пределах исследуемой территории отсутствует.

#### *Методы исследования*

*Геодинамическое районирование горного массива на основе применения эманационной съемки.*

Геодинамическое районирование с использованием радонометрии с применением нормирования позволяет выявить геодинамически активные участки массива, в том числе и в зоне сдвижения. Геодинамическая составляющая поля радоновых эманаций формируется за счет

– повышенной проницаемости горных пород;

– вибровоздействия на горные породы [7].

Измерения объемной активности радона ( $\text{Бк}/\text{м}^3$ ) в почвенном воздухе выполняются радиометрами альфа-активных газов, например, РГА-500 по профильным линиям из шпуров, глубиной 0,8 – 1,0 м.

С целью определения геодинамической составляющей формирования поля радона выполняется нормирование значений объемной активности радона в почвенном воздухе. Для этого полученные в результате измерений значения объемной активности радона группируются по принадлежности к однотипным участкам:

- по гранулометрическому составу покровных отложений;
- по вещественному составу горных пород;
- по положению уровня грунтовых вод;
- по влагонасыщенности почвы по площади и т.д.

Кроме того, при группировании учитывается временной период измерений. Рассчитываются нормированные значения объемной активности радона для каждой точки измерения группы:

$$N_i = Q_i / Q_{\text{ср. группы}},$$

где  $N_i$  – нормированная объемная активность радона точки измерения  $i$ , безразмерная величина;  $Q_i$  – значение объемной активности радона в почвенном воздухе точки измерения на профильной линии,  $\text{Бк}/\text{м}^3$ ;  $Q_{\text{ср. группы}}$  – среднеарифметическое значение объемной активности радона в почвенном воздухе группы значений,  $\text{Бк}/\text{м}^3$ .

Составляется карта распределения нормированных значений объемной активности радона в почвенном воздухе изучаемой территории, на основе которой осуществляется ее геодинамическое районирование [8].

При выполнении радонометрических исследований на территории г. Березовский шпур для отбора проб почвенного воздуха бурились с использованием бензинового перфоратора М 58, что существенно сократило время и трудозатраты.

#### *Результаты исследования*

На первом этапе было выполнено геодинамическое районирование всего участка исследований. Было произведено 127 измерений объемной активности радона по 5 профильным линиям. Расстояние между точками измерений на профильной линии 10 м. Расстояние между профильными линиями 30 м. Профильные линии расположены в крест простирания даек Вагнеровская и Параллельная, информация о пространственном положении которых на участке исследований получена из фондовых материалов и из результатов ранее выполненных геофизических исследований методами сейсморазведки и электротомии (Ведерников А.С., Григорьев Д.В.).

При группировании для нормирования результатов измерения по принадлежности к однотипным по вещественному составу подстилающих магматических пород использовалась информация о расположении даек Вагнеровская и Параллельная, представленных гранодиорит-порфирами, гранит-порфирами, плагиогранит-порфирами, диоритами и диорит-порфирами, отличающихся от вмещающих пород более высоким содержанием кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), что определяет повышение здесь объемной активности радона в почвенном воздухе [1, 9-12].

Согласно полученной карте геодинамического районирования по данным радонометрии горный массив участка исследований характеризуется высоким уровнем современной геодинамической активности (рис. 2). Нормированные значения объемной активности радона в почвенном воздухе ( $N_i$ ) изменяются в пределах участка от 0,1 до 3,0. Простирание геодинамически активных дизъюнктивных структур субмеридиональное. Однако при использованных параметрах сети измерений наблюдается лишь

одна (в юго-восточной части исследуемого участка) аномалия нормированных значений объемной активности радона в месте расположения устья погашенной горной выработки.

Поэтому на локальном участке возможного влияния горных работ, определенном по архивным данным, с целью выявления и оконтуривания положения подземных горных выработок в плане была выполнена эманационная съемка по сетям наблюдений  $5 \times 10$  и  $10 \times 10$  м. Всего было выполнено 19 измерений по 6-ти профильным линиям

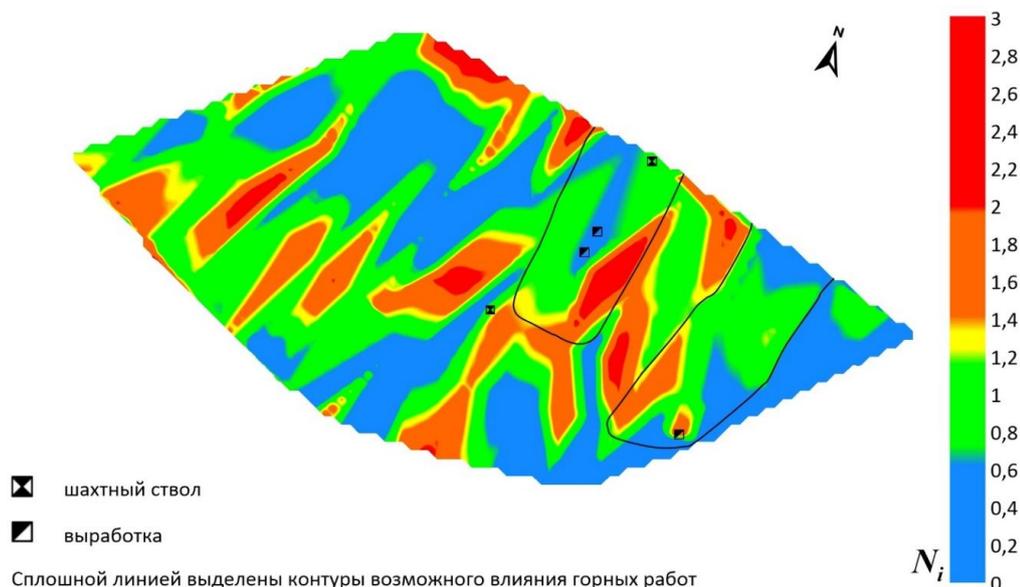


Рис. 2. Карта геодинамического районирования по данным радонометрии горного массива территории исследований (Свердловская область, юго-западная окраина г. Березовский)

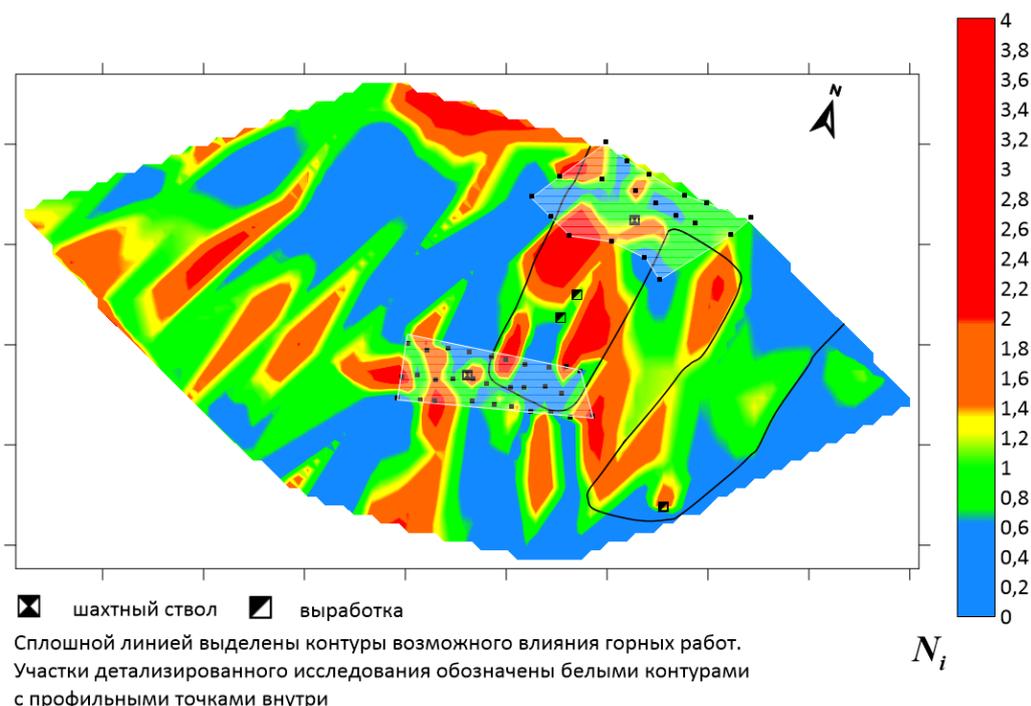


Рис. 3. Карта геодинамического районирования по данным радонометрии горного массива территории исследований (Свердловская область, юго-западная окраина г. Березовский) с детализацией на участках влияния горных работ. Интерполяция произведена на участке с белой подсветкой

Согласно полученной карте результатов геодинамического районирования по данным радонометрии с детализацией на участках, где по данным фондовых материалов расположены устья погашенных горных выработок, наблюдаются аномальные значения нормированных значений объемной активности радона в почвенном воздухе. Контуры горизонтальных выработок в плане не проявились (рис. 3).

### Список литературы

1. Усанов С.В., 2011. Методика оценки безопасности застройки территорий над старыми горными выработкам. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. Отд. вып. № 11. Проблемы недропользования, С. 260 - 266.
2. Сердюкова А.С., Капитонов Ю.Т., 1969. *Изотопы радона и короткоживущие продукты их распада в природе*. Москва: Атомиздат, 312 с.
3. Уткин В.И., Юрков А.К., Козлова И.А., 2008. Выделение радона из горных пород при воздействии на них упругих колебаний различного диапазона. *Геофизика XXI столетия. Сборник трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федынского*: Тверь: ООО Изд-во «ГЕРС», С. 317-320.
4. Далатказин Т.Ш., Коновалова Ю. П., Ручкин В.И., Зуев П.И., 2019. Исследования по модернизации использования эманационной съемки в качестве экспресс-метода при геодинамической диагностике. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 4, С. 206 – 220.
5. Далатказин Т.Ш., 2011. Использование радонометрии при изучении современной геодинамики на территориях, перекрытых мощным чехлом осадочных пород для решения задачи обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 7, С. 249 – 253.
6. Калугина Р.Д., Копанев В.Ф., Стороженко Е.В. и др., 2017. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000 Издание второе. Серия Среднеуральская. Лист О-41-XXV*. Объяснительная записка. Москва: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 156 с.
7. Далатказин Т.Ш., 2015. Использование режимных наблюдений за полем радоновых эманаций в зоне техногенного воздействия при отработке южной залежи Песчанской группы месторождений. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 2, С. 162 - 167.
8. Далатказин Т.Ш., 2023. Методические вопросы геодинамического районирования массива горных пород с использованием радонометрии. *Проблемы недропользования*, № 1, С. 64-69. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.064
9. Мальцев К.А., Мухарамова С.С., 2014. *Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): Учебное пособие*. Казань: Казанский университет, 103 с.
10. Скворцов А.В., 2002. *Триангуляция Делоне и её применение*. Томск: Изд-во Том. ун-та, 128 с.
11. Далатказин Т.Ш., Ведерников А.С., Григорьев Д.В., Замятин А.Л., Зуев П.И., 2022. Опыт применения геофизических методов в комплексе геодинамической диагностики горного массива: журнал. *Горная промышленность*, №S1, 105–110 с.
12. Ведерников А.С., Зуев П.И., 2020. Районирование подработанных территорий города Берёзовский. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 3-1. С. 37-45.

### References

1. Usanov S.V., 2011. Metodika otsenki bezopasnosti zastroiki territorii nad starymi gornymi vyrobotkam [Methodology for assessing the safety of building territories over old

mine workings]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. Otd. vyp. № 11. Problemy nedropol'zovaniya, P. 260 - 266.

2. Serdyukova A.S., Kapitonov Yu.T., 1969. Izotopy radona i korotkozhivushchie produkty ikh raspada v prirode [Radon isotopes and radon progenies decay in nature]. Moscow: Atomizdat, 312 p.

3. Utkin V.I., Yurkov A.K., Kozlova I.A., 2008. Vydelenie radona iz gornykh porod pri vozdeistvii na nikh uprugikh kolebaniy razlichnogo diapazona [Release of radon from rocks when exposed to elastic vibrations of various ranges]. Geofizika XXI stoletiya. Sbornik trudov Devyatykh geofizicheskikh chtenii im. V.V. Fedynskogo: Tver': OOO Izd-vo "GERS", P. 317-320.

4. Dalatkazin T.Sh., Konovalova Yu. P., Ruchkin V.I., Zuev P.I., 2019. Issledovaniya po modernizatsii ispol'zovaniya emanatsionnoi s'emki v kachestve ekspress-metoda pri geodinamicheskoi diagnostike [Research on the modernization of the use of emanation extraction as an express method for geodynamic diagnostics]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 4, P. 206 – 220.

5. Dalatkazin T.Sh., 2011. Ispol'zovanie radonometrii pri izuchenii sovremennoi geodinamiki na territoriyakh, perekrytykh moshchnym chekhлом osadochnykh porod dlya resheniya zadachi obespecheniya bezopasnoi ekspluatatsii ob"ektov nedropol'zovaniya [Use of radonometry in the study of modern geodynamics in territories overlain by a heavy cover of sedimentary rocks to solve the problem of ensuring the safe operation of subsurface use facilities]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 7, P. 249 – 253.

6. Kalugina R.D., Kopanev V.F., Storozhenko E.V. i dr., 2017. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii . Masshtab 1:200000 Izdanie vtoroe. Seriya Sredneural'skaya. List O-41-XXV [State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000 Second edition. The Sredneural'skaya series. Sheet O-41-XXV]. Ob"yasnitel'naya zapiska . Moscow: Moskovskii filial FGBU "VSEGEI", 156 s.

7. Dalatkazin T.Sh., 2015. Ispol'zovanie rezhimnykh nablyudenii za polem radonovykh emanatsii v zone tekhnogennoho vozdeistviya pri otrabotke yuzhnoi zalezhi Peschanskoi gruppy mestorozhdenii [Use of regime observations of the radon emanation field in the zone of anthropogenic impact during the development of the southern part of the Peschanskaya group of deposits]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii . Gornyi zhurnal, № 2, P. 162 – 167.

8. Dalatkazin T.Sh., 2023. Metodicheskie voprosy geodinamicheskogo raionirovaniya massiva gornykh porod s ispol'zovaniem radonometrii [Methodological issues of geodynamic zoning of a rock mass using radonometry]. Problemy nedropol'zovaniya, № 1, P. 64-69. DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.064

9. Mal'tsev K.A., Mukharamova S.S., 2014. Postroenie modelei prostranstvennykh peremennykh (s primeneniem paketa Surfer): Uchebnoe posobie [Building models of spatial variables (using the Surfer package): An educational tool]. Kazan': Kazanskii universitet, 103 p.

10. Skvortsov A.V., 2002. Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye [Delaunay triangulation and its application]. Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 128 p.

11. Dalatkazin T.Sh., Vedernikov A.S., Grigor'ev D.V., Zamyatin A.L., Zuev P.I., 2022. Opyt primeneniya geofizicheskikh metodov v komplekse geodinamicheskoi diagnostiki gornogo massiva: zhurnal [Experience of using geophysical methods in the complex of geodynamic diagnostics of a mountain range: journal]. Gornaya promyshlennost', №S1, 105-110 p.

12. Vedernikov A.S., Zuev P.I., 2020. Raionirovanie podrabotannykh territorii goroda Berezovskii [Zoning of the underworked territories of the city Berezovsky]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 3-1. P. 37-45.