

## ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИБОРТОВЫХ УЧАСТКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДОНОМЕТРИИ ПРИ ОТКРЫТОМ СПОСОБЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Т.Ш. Далатказин<sup>1</sup>, П.И. Зуев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

**Аннотация:** Современные методы расчета коэффициента запаса устойчивости бортов карьера не учитывают параметры современной геодинамической активности прибортового массива. Представлены результаты первого этапа изучения уникальных возможностей радонометрии для решения данной проблемы. Исследования проводились на прибортовых участках разреза Шубаркольского угольного месторождения. В геологическом строении месторождения принимают участие терригенно-карбонатные отложения, представленные мелко- и грубозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, суглинистыми породами и углями. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород в районе Шубаркульского угольного разреза весьма неоднородное. Характер проявления современной геодинамики на бортах разреза постоянный и умеренный. Здесь характерно дискретное распределение деформационных участков. Представлены методики радонометрических измерений, обработки полученных данных и результаты исследований прибортовых участков угольного разреза, направленные на разработку методики количественного учета степени современной геодинамической активности при проектировании бортов карьеров. В итоге определены индексы геодинамической активности выявленных в процессе исследований деформационных зон прибортовых участков. Определен алгоритм дальнейших исследований проблемы учета степени современной геодинамической активности при определении коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров. Накопление, обобщение и анализ эмпирической информации о деформационных процессах бортов карьеров и результатов исследований геодинамической ситуации прибортовых участков, определенной с использованием радонометрии, позволит модернизировать методику расчета коэффициента запаса устойчивости бортов.

**Ключевые слова:** горный массив, современная геодинамическая активность, радонометрия, борт карьера, деформационная зона.

**Благодарность:** Исследования выполнены в рамках Госзадания на 2019–2021 гг. № 0405–2019–0007.

**Для цитирования:** Далатказин Т.Ш., Зуев П.И. Исследования геодинамической ситуации прибортовых участков с использованием радонометрии при открытом способе разработки месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 46–55. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-46-55.

---

## Study of geodynamic situation cut off parts of the plots using ergonometry with the open method of field development

T.Sh. Dalatkazin<sup>1</sup>, P.I. Zuev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

---

**Abstract:** Modern methods for calculating the safety factor of the sides of the open pit do not take into account the parameters of the modern geodynamic activity of the instrument array. The article presents the results of the first stage of research on the unique capabilities of radonometry to solve this problem. The studies were carried out in the instrument areas of the Shubarkol coal deposit. Terrigenous-carbonate sediments represented by fine and coarse-grained sandstones, siltstones, mudstones, loamy rocks and coals take part in the geological structure of the deposit. The stress-strain state of the rock massif in the area of the Shubarkulsky coal deposit is very heterogeneous. The nature of the deformation processes of the sides of the section is constant and moderate. Here, a discrete distribution of deformation sections is characteristic. The article presents the methods of radonometric measurements, the processing of measurement results and the results of studies of the near-surface sections of a coal mine, aimed at developing a methodology for quantitatively taking into account the degree of modern geodynamic activity in the design of open pit sides. Based on the results of radonometry, the geodynamic activity indices identified in the study of the deformation zones of the instrumentation areas are determined. An algorithm for further studies of the problem of taking into account the degree of modern geodynamic activity in determining the safety margin of open pit sides is determined. The accumulation and generalization of empirical information about the deformation processes of open pits and the results of studies of the geodynamic situation of dash sites, determined using radonometry, will make it possible to modernize the methodology for calculating the margin of safety margin of the sides.

**Key words:** rock massif, modern geodynamic activity, radonometry, open pit, deformation zone.

**Acknowledgments:** the Research was carried out within the framework of the state Task for 2019-2021 № 0405-2019-0007.

**For citation:** Dalatkazin T.Sh., Zuev P.I. Study of geodynamic situation cut off parts of the plots using ergonometry with the open method of field development. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):46-55. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-46-55.

---

### Введение

При проектировании карьеров для определения параметров бортов и уступов рассчитывается коэффициент запаса устойчивости. При этом используются физико-механические параметры горных пород массива карьера, его геологическая структура, гидрогеологические условия. Параметры, характеризующие современную геодинамическую активность, в расчетах не используются. Актуальность проблемы подтверждается многочисленными статьями на эту тему [1 – 12].

Примером влияния современной геодинамической активности на устойчивость бортов карьера являются результаты диагностики горного массива Коршуновского железорудного месторождения, выполненной ИГД УрО РАН в 2007 г. Здесь в северо-западном борту карьера периодически, начиная с 1975 года, произошли крупные оползни при углах наклона борта 22<sup>0</sup>. Предприятие понесло значительные экономические потери. По всем расчетным оценкам скальные осадочные породы, слагающие этот борт,

должны обеспечивать его устойчивость при углах  $28 - 30^\circ$  с нормативным запасом устойчивости 1.3. Многочисленные исследования, выполненные по всем правилам традиционными методами, не определили причины и механизм процесса оползнеобразования.

В комплексе исследований карьера Коршуновского месторождения совместно с традиционными геодезическими методами изучения современной геодинамической активности для структурно-геодинамического картирования участка оползнеобразования использовалась радонометрия. Согласно результатам радонометрических исследований в варианте эманационной съемки в оползневой зоне были выявлены две подвижные системы разрывных нарушений:

- с азимутом простирания  $355^\circ$ ;
- с азимутом простирания  $11^\circ$  (рис. 1)

Руководствуясь принципами синергетики при анализе реальностей существования изучаемого массива как сложной и открытой системы, находящейся в процессе самоорганизации, основанной на постоянном стремлении к устойчивому состоянию, определен механизм оползнеобразования в Коршуновском карьере, одним из факторов которого является современная геодинамическая активность.

Процесс оползнеобразования на Северном борту Коршуновского карьера определяется тремя факторами:

1. Увлажнение глинистых, склонных к тиксотропному разупрочнению пород.

2. Воздействие на массив короткопериодных циклических геодинамических нагрузок, поддерживающих глинистые, гидрослюдисто-монтмориллонитовые породы в неустойчивом состоянии.

3. Периодические длиннопериодные циклические геодинамические движения, как спусковой механизм, вызывают сползание подготовленного массива в виде масштабных оплывин [13; 14].

### **Объект исследований**

Начальный этап радонометрических исследований с целью количественного учета степени современной геодинамической активности при расчете коэффициента запаса устойчивости бортов карьера выполнен на прибортовых участках угольного разреза Шубаркольского месторождения.

В геологическом строении Шубаркольского угольного месторождения принимают участие терригенно-карбонатные отложения верхнего девона и нижнего карбона, терригенные породы средневерхнекаменноугольного возраста, угленосные терригенные отложения нижнеюрского возраста (мезозойские отложения), а также рыхлые продукты выветривания мезозоя и рыхлые отложения кайнозоя. Отложения представлены мелко- и грубозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами, суглинистыми породами и углями. Из всех пород преобладают аргиллиты, алевролиты и угли. Мощность отложений  $250 - 280$  м. Слоистость пород горизонтальная. При разработке Шубаркольского месторождения в зависимости от типов пород приняты следующие углы откосов бортов:

- $40 - 60^\circ$ - откосы, сложенные песчано-глинистыми и выветрелыми породами с глубиной залегания —  $0 - 25$  м;
- $60 - 75^\circ$ - откосы, сложенные коренными породами с глубиной залегания более  $25$  м.

Согласно исследованиям ИГД УрО РАН (А.Д. Сашурин, С.В. Усанов, В.В. Мельник) напряженно-деформированное состояние массива горных пород в районе Шубаркульского угольного месторождения весьма неоднородное. Наблюдаются участки с различными вторичными напряженно-деформированными состояниями, сформировавшимися в том числе и под воздействием разработки месторождения.

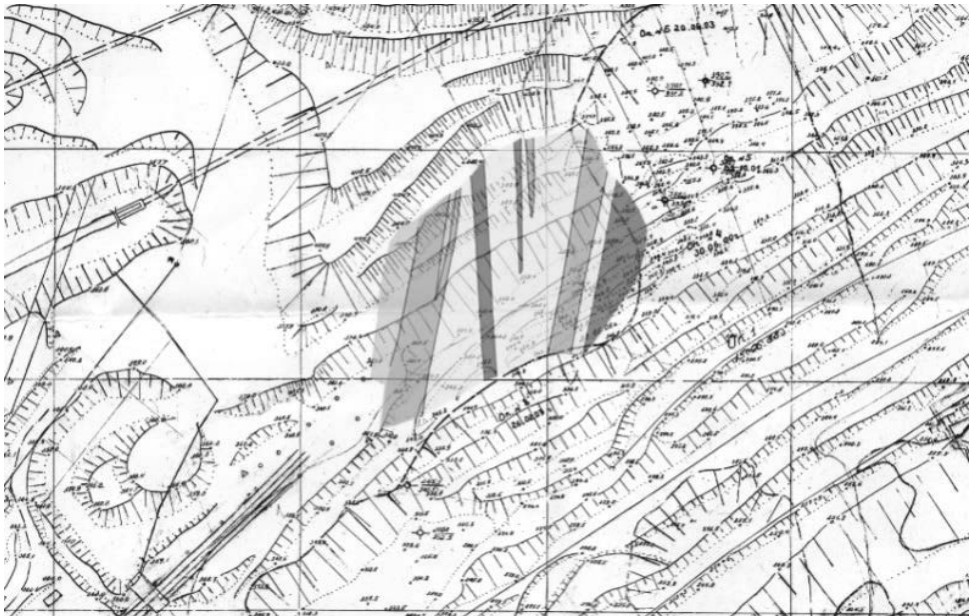


Рис. 1. Результаты радонометрических исследований на Северном борту Коршуновского карьера  
 Fig. 1. The results of radonometric measurements on the North side of the Korshunovsky open pit

Для Шубаркольского разреза характерно умеренное и дискретное распределение проявлений современной геодинамики, которые, в основном, продолжаются несколько лет и поддаются прогнозу. Их активизация отмечается визуально. В тоже время зафиксированы случаи внезапных деформаций бортов на участках, не отличающихся от прилегающих к ним и не обладающих особенностями. Обрушения происходили мгновенно и не прогнозировались.

Наблюдаются следующие виды деформаций бортов и уступов:

- оползневые процессы на верхних уступах, сложенных глиной;
- оползни и заколы.

Деформационные процессы определяются наличием зон ослабления, геодинамических движений, локальной повышенной обводненностью.

### Методика исследований

Уникальность использования радонометрии при изучении геодинамиче-

ской ситуации определяется свойствами радона и тем, что поле радоновых эманацій формируется всем диапазоном современной геодинамической активности, проявляющейся в изучаемом массиве, и обобщенно характеризует её интенсивность. Радон является благородным, химически инертным газом, не вступает во взаимодействие с другими элементами, без цвета и запаха, хорошо растворяется в воде. Он источник альфа-излучения и поэтому уверенно регистрируется даже при малых концентрациях специальными приборами; в 7,5 раз тяжелее атмосферного воздуха и обладает высокой проникающей способностью. Период полураспада радона-222 составляет 3,8 суток, торона-220 — 59 сек. Генерация его происходит непрерывно во всех горных породах.

Использование радонометрии в геодинамической диагностике основано на положительной корреляционной зависимости между интенсивностью

эманирования радона из горных пород и степенью воздействия на них напряженно-деформационного поля, поскольку поле радоновых эманаций надразломных участков формируется в соответствии:

- с дифференциацией по степени проницаемости, характерной для подвижных участков разломной зоны и определяющей условия миграции флюидов;
- с распределением степени воздействия упругих волновых колебаний, вызванных современной геодинамической активностью, на горные породы;
- со свойствами радона.

Взаимосвязь геодинамических процессов с интенсивностью эманирования радона подтверждается мониторинговыми геодезическими измерениями с использованием традиционных методов и высокоточных GPS-технологий спутниковой геодезии. Участки аномальных значений радоновых эманаций характеризуются деформациями расположенных на них объектов недропользования. При этом использование радонотрии позволяет без периодических измерений, в отличие от геодезических методов, выявлять зоны повышенной геодинамической активности. А изменения поля радона во времени отражают трансформацию напряженно-деформированного состояния массива [15 – 20].

Измерения объемной активности радона (Бк/м<sup>3</sup>) в почвенном воздухе изучаемого массива выполняются радиометрами альфа-активных газов, например РГА-500, по профильным линиям из шпуров глубиной 0,8 – 1,0 м.

При выполнении измерений на бортовых участках Шубаркольского месторождения расстояние между профильными линиями 30 м. Расстояние между точками измерения – 10 м.

Поле радоновых эманаций формируется в зависимости от параметров поля напряжений горного массива. Но также его формирование зависит от ряда нетектонических факторов.

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 диффузионным свойствам 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.

С целью определения геодинамической составляющей формирования поля радоновых эманаций в почвенном воздухе 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, Бк/м<sup>3</sup>;  $Q_{\text{ср.группы}}$  – среднеарифметическое значение объемной активности радона в почвенном воздухе группы значений, Бк/м<sup>3</sup>.

Фактически  $N_i$  является индексом геодинамической активности в точке измерения.

Распределение нормированных значений объемной активности радона в почвенном воздухе изучаемой терри-

тории используется для геодинамического районирования [21 – 23]. Интерпретация результатов радонометрии для геодинамического районирования осуществляется по принципу прямой зависимости формирования поля радона от распределения интенсивности современной геодинамической активности.

Нормирование позволяет использовать результаты эманационной съемки для определения индекса степени современной геодинамической активности локальных участков.

Индекс степени современной геодинамической активности

$$I_{\text{локального участка}} = \sum N / n,$$

где  $\sum N$  – сумма значений нормированных значений объемной активности радона в почвенном воздухе локального участка, безразмерная величина;  $n$  – количество измерений в пределах локального участка, безразмерная величина.

Возможность количественной дифференциации деформационных зон горного массива по степени всего диапазона современной геодинамической активности позволяет приступить к исследованиям по использованию этого показателя в расчетах коэффициента запаса устойчивости бортов карьера.

### Результаты исследований

В результате исследований выполнен начальный этап разработки методики использования результатов геодинамической диагностики в расчетах углов бортов и уступов карьеров:

- выполнены радонометрические измерения на прибортовых участках угольного разреза Шубаркольского месторождения;

- определены нормированные значения объемной активности радона в точках измерения;

- по данным радонометрии по принципу прямой зависимости формирования поля радона от распределения интенсивности современной геодинамической активности построены карты геодинамического районирования исследованных площадей, выявлены и оконтурены деформационные зоны (рис. 2, 3);

- определены индексы геодинамической активности для зон с наибольшей (по данным радонометрии) интенсивностью деформационного процесса.

Обработка результатов полевых измерений производилась в программе моделирования и анализа данных – *Surfer*.

Первый участок. Азимут простираения трещиноватости составляет 60°. Наблюдается деформационная зона в южной части. Максимальные значения нормированных значений объемной активности радона в пределах деформационной зоны (2,0 – 2,4) регистрируются на краевом участке борта. Индекс геодинамической активности деформационной зоны № 1 составляет:

$$I_{\text{геод.активн. зоны №1}} = 2,04.$$

Второй участок. Азимут простираения трещиноватости 300°. На втором участке наблюдаются три деформационные зоны: № 2; № 3; № 4. Деформационная зона на восточном фланге второго участка полностью не изучена и поэтому не оценивалась.

Деформационная зона № 2 расположена в северо-западной части участка. Максимальные значения нормированных значений объемной активности радона (более 2,4) расположены на краевом участке борта. Индекс геодинамической активности деформационной зоны № 2 составляет:

Деформационная зона № 3 расположена в северо-восточной части участка. Максимальные значения нормированных

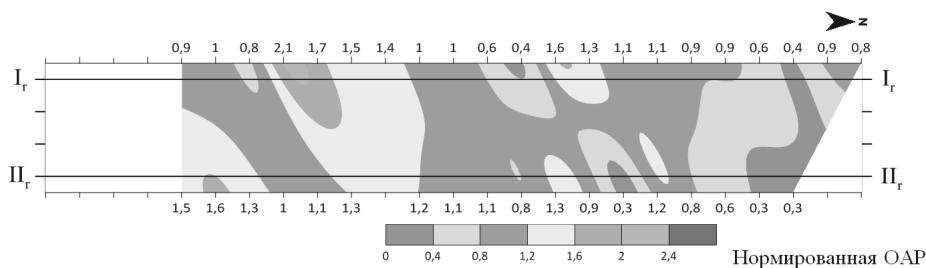


Рис. 2. Первый участок радонометрических измерений (Западный разрез)

Fig. 2. The first section of radonometric measurements (Western open pit)

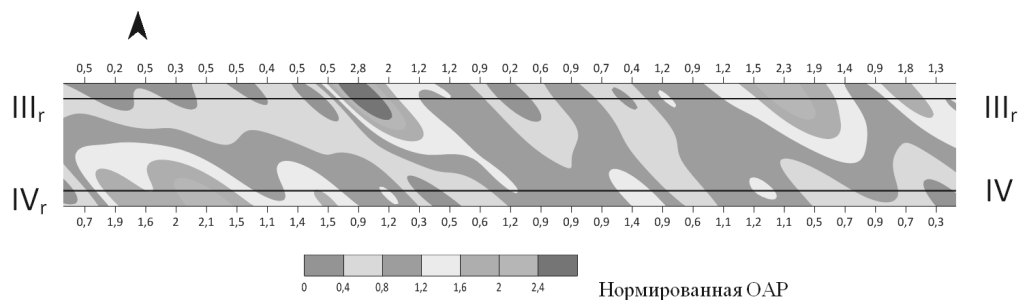


Рис. 3. Второй участок радонометрических измерений (Центральный разрез)

Fig. 3. The second section of radonometric measurements (Central open pit)

значений объемной активности радона (2,0 – 2,4) расположены на краевом участке борта. Индекс геодинамической активности деформационной зоны № 3 составляет:

Деформационная зона № 4 расположена в юго-западной части Второго участка. Максимальное значение нормированных значений объемной активности радона в пределах деформационной зоны составляет 2,1.

### Заключение

Результаты радонометрических исследований в геодинамической диагностике используются пока только для качественной оценки геодинамической ситуации. Представленная в статье методика обработки результатов радонометрии позволяет количественно характеризовать изучаемый массив по степени современной геодинамиче-

ской активности — определять индекс геодинамической активности участков.

Выполненные радонометрические исследования по геодинамическому районированию прибортового массива Шубаркольского разреза и определению индекса геодинамической активности наиболее подвижных зон являются начальным этапом исследований по разработке методических подходов решения проблемы учета современной геодинамики при расчете коэффициента запаса устойчивости бортов карьеров.

Сопоставление индекса геодинамической активности по данным радонометрии локальных участков с параметрами деформаций бортов карьеров позволит разработать систему ранжирования массива и обосновать поправочные коэффициенты для учета влияния современной геодинамики при расчете углов бортов карьеров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сашурин А.Д., Мельник В.В., Панжгин А.А. Решение задачи устойчивости бортов в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм карьеров/Инженерная защита // 2015. — № 2(7). — С. 80–86.
2. Мельник В.В. Исследование причин деформирования инженерных сооружений/Горный информ.-аналит. бюл., 2014. — № 2. — С. 161–167
3. Satyanarayana I., Budi G., Phalguni Sen, Sinha A.K. Slope in an Opencast Coal Mine-A Case Study/Amse journals-amse iieta publication-2017-Series: Modelling C; Vol. 78; N°3; pp. 253–273 Submitted May 26, 2017; Revised Jan. 04, 2018; Accepted Jan. 04, 2018 [https://doi.org/10.18280/mmc\\_c.780301](https://doi.org/10.18280/mmc_c.780301) Stability Evaluation of Highwall
4. Tao Z., Li M., Zhu C., He M., Zheng X., and Yu S. Analysis of the critical safety thickness for pretreatment of mined-out areas underlying the final slopes of open-pit mines and the effects of treatment, Shock and Vibration, vol. 2018, Article ID 1306535, 8 pages, 2018.
5. Ranjan V., Sen P., Kumar D., and Saraswat A. Enhancement of mechanical stability of waste dump slope through establishing vegetation in a surface iron ore mine. Environmental Earth Sciences, vol. 76, no 1, p. 35, 2017
6. Ericsson M., Larsson V. Annual survey of global mining investment // Engineering & Mining Journal. — 2013. — Vol. 214. — no 1. — pp. 28–33
7. Далатказин Т.Ш. Исследование причин неожиданных деформаций поверхности на участке железнодорожного поста в районе борта главного карьера Высокогорского месторождения/Проблемы недропользования. — 2016. — № 3(10). — С. 34–38
8. Харисов Т.Ф. Проблема оценки коэффициента запаса устойчивости бортов карьера./ Проблемы недропользования. — 2018. — № 3 (18). — С. 108–118.
9. Панжгин А.А., Харисов Т.Ф., Харисова О.Д. Обоснование устойчивых параметров бортов карьера на основе рейтинговой системы оценки массива. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 4. — С. 10–19.
10. Панжгин А.А., Харисов Т.Ф., Харисова О.Д. Комплексное геомеханическое обоснование углов заоткоски бортов карьера/Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2019. — № 3. — С. 295–306.
11. System probabilistic model of rock slope stability considering correlated failure modes /Johari A., Mehrabani Lari A./Computers and Geotechnics. 2017. Т. 81. С. 26–38.
12. Jiang Q., Yan F., Li S., Xu D., Wu J., Fan Q. Grading opening and shearing deformation of deep outward-dip shear belts inside high slope: a case study / Engineering Geology. 2019. Т. 250. С. 113–129.
13. Сашурин А.Д., Яковлев А.В., Ермаков Н.И., Панжгин А.А., Наумов А.В. Роль тектонических деформаций породного массива в формировании оползневых явлений на Коршуновском карьере/А.Д. Сашурин, А.В. Яковлев и др. // Горн. информ.–аналит. бюл. — 2003. — №2. — С. 193–196.
14. Далатказин Т.Ш. Исследования формирования оползней в Коршуновском карьере Проблемы недропользования. — 2017. — № 2 (13). — С. 34–40.
15. Горбушина Л.В. Эманиационный метод индикации геодинамических процессов при инженерно-геологических изысканиях / Л.В. Горбушина, Ю.С. Рябоштан // Советская геология. — 1975. — № 4. — С. 48–50
16. Резонансные особенности эскалации природного радона / В.В. Адушкин и др. // ДАН. — 2005. — т. 400. — № 3.
17. Закревский Б.А., Богак М.Ю. Некоторые аспекты применения эманиационной съемки при исследованиях на подрабатываемых территориях // ГИАБ. — 2007. — № 1. — С. 139–143.
18. Далатказин Т.Ш. Создание геодинамического полигона на территории г. Екатеринбург / Т.Ш. Далатказин // Горный информ. — аналит. бюл. — 2008. — № 1. — С. 181–184.

19. Далатказин Т.Ш. Взаимосвязь уровня радоновой эмиссии с современной геодинамикой и тектоническими зонами / Т.Ш. Далатказин // Горный информ. – аналит. бюл. – 2007. – № 2. – С. 212–215.

20. Далатказин Т.Ш. Использование радонометрии при изучении современной геодинамики на территориях перекрытых мощным чехлом осадочных пород для решения задачи обеспечения безопасной эксплуатации объектов недропользования / Т.Ш. Далатказин // Горный информ.-аналит. бюл. – 2011. – № 7. – С. 249–253.

21. Holub R.F., Brady B.T. The effect of stress on radon emanation from rock// J. of Geophys. Res. – 1981. – V. 86. – pp. 1776–1785.

22. Fleischer R.L., Hart H.R., Mogro-Campero A. Radon emanation over an ore body; search for long-distance transport of radon // Nuclear Instruments and Methods. 1980. – V. 173. – pp. 169–181.

23. Далатказин Т.Ш., Коновалова Ю.П., Ручкин В.И. Мониторинг поля радоновых эманаций в зоне техногенного воздействия / Проблемы недропользования. 2016. № 4 (11). С. 97–103. **МИАБ**

## REFERENCES

1. Sashurin A.D., Mel'nik V.V., Panzhin A.A. Solving the problem of stability of boards in order to protect potentially dangerous sections of transport berm quarries. *Inzhenernaya zashchita*. 2015. no 2(7). pp. 80–86. [In Russ]

2. Mel'nik V.V. Issledovanie prichin deformirovaniya inzhenernyh sooruzhenij. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2014. no 2. pp. 161–167 [In Russ]

3. Satyanarayana I., Budi G., Phalguni Sen, Sinha A.K. Slope in an Opencast Coal Mine-A Case Study. Amse journals-amse iieta publication-2017-Series: Modelling C; Vol. 78; no 3; pp. 253–273 Submitted May 26, 2017; Revised Jan. 04, 2018; Accepted Jan. 04, 2018 [https://doi.org/10.18280/mmc\\_c.780301](https://doi.org/10.18280/mmc_c.780301) Stability Evaluation of Highwall.

4. Tao Z., Li M., Zhu C., He M., Zheng X., and Yu S. Analysis of the critical safety thickness for pretreatment of mined-out areas underlying the final slopes of open-pit mines and the effects of treatment, Shock and Vibration, vol. 2018, Article ID 1306535, 8 pages, 2018.

5. Ranjan V., Sen P., Kumar D., and Saraswat A. Enhancement of mechanical stability of waste dump slope through establishing vegetation in a surface iron ore mine. *Environmental Earth Sciences*, vol. 76, no 1, p. 35, 2017.

6. Ericsson M., Larsson V. Annual survey of global mining investment. *Engineering & Mining Journal*. 2013. Vol. 214. no 1. pp. 28–33 [In Russ]

7. Dalatkazin T.S.H. Investigation of the causes of unexpected surface deformations at the railway station site in the area of the main quarry of the Vysokogorsky field. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2016. no 3(10). pp. 34–38 [In Russ]

8. Harisov T.F. Problem of estimating the coefficient of stability margin of quarry sides. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2018. no 3 (18). pp. 108–118. [In Russ]

9. Panzhin A.A., Harisov T.F., Harisova O.D. Substantiation of stable parameters of quarry sides based on the rating system for evaluating the array. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2019. no 4. pp. 10–19. [In Russ]

10. Panzhin A.A., Harisov T.F., Harisova O.D. Complex geomechanical substantiation of the angles of the quarry sides. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2019. no 3. pp. 295–306. [In Russ]

11. Johari A., Mehrabani Lari A. System probabilistic model of rock slope stability considering correlated failure modes. *Computers and Geotechnics*. 2017. T. 81. pp. 26–38.

12. Jiang Q., Yan F., Li S., Xu D., Wu J., Fan Q. Grading opening and shearing deformation of deep outward-dip shear belts inside high slope: a case study. *Engineering Geology*. 2019. T. 250. pp. 113–129. [In Russ]

13. Sashurin A.D., Yakovlev A.V., Ermakov N.I., Panzhin A.A., Naumov A.V. Role of tectonic deformations of rock mass in the formation of landslide phenomena at Korshunovsky quarry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2003. no 2. pp. 193–196. [In Russ]
14. Dalatkazin T.SH. Research of landslide formation In Korshunovsky quarry problems of subsurface use. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2017. no 2 (13). pp. 34–40. [In Russ]
15. Gorbushina L.V., Ryaboshtan Yu.S. Emanation method of indication of geodynamic processes in engineering-geological surveys. *Sovetskaya geologiya*. 1975. no 4. pp. 48–50 [In Russ]
16. Adushkin V.V. i dr. *Rezonansnye osobennosti eskhlyacii prirodnogo radona* [Resonant features of natural radon eschalation]. DAN. 2005. T. 400. no 3. [In Russ]
17. Zakrevskij B.A., Bogak M.Yu. Some aspects of the use of emanation survey in research on the territories under work. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2007. no 1. pp. 139–143. [In Russ]
18. Dalatkazin T.SH. Creation of a geodynamic polygon on the territory of Yekaterinburg. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2008. no 1. C. 181 184. [In Russ]
19. Dalatkazin T.SH. Relationship of radon emission level with modern geodynamics and tectonic zones. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2007. no 2. pp. 212–215. [In Russ]
20. Dalatkazin T.SH. The use of radonometry in the study of modern geodynamics in the territories covered by a powerful cover of sedimentary rocks to solve the problem of ensuring the safe operation of subsurface objects. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.*, 2011. no 7. pp. 249–253. [In Russ]
21. Holub R.F., Brady B.T. The effect of stress on radon emanation from rock. *J. of Geophys. Res.* 1981. V. 86. pp. 1776–1785.
22. Fleischer R.L., Hart H.R., Mogro-Campero A. Radon emanation over an ore body; search for long-distance transport of radon. *Nuclear Instruments and Methods*. 1980. V. 173. pp. 169–181.
23. Dalatkazin T.SH., Konovalova Yu.P., Ruchkin V.I Monitoring of the radon emanation field in the zone of technogenic impact. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2016. no 4 (11). pp. 97–103. [In Russ]

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Далатказин Тимур Шавкатович*<sup>1</sup> — кандидат технических наук, заведующий лабораторией технологий снижения риска катастроф при недропользовании, e-mail: 9043846175@mail.ru,

*Зуев Павел Игоревич*<sup>1</sup> — младший научный сотрудник лаборатории технологий снижения риска катастроф при недропользовании, e-mail: zuev@igduran.ru, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Dalatkazin T.Sh.*<sup>1</sup>, head of the laboratory of technologies of decrease in risk of accidents at mineral development, Cand. Sci. (Eng.),

*Zuev P.I.*<sup>1</sup>, junior researcher, e-mail: zuev@igduran.ru,

<sup>1</sup> The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 20.01.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.11.2019; received after the review 20.01.2020; accepted for printing 20.03.2020.

