

УДК 553.495: 622.416  
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-27-33

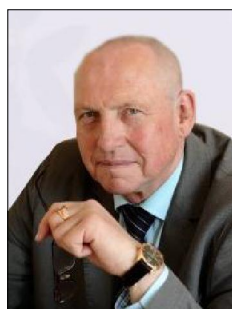
## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА НА ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ УРАНОВЫХ РУДНИКОВ И ПУТИ ЕЕ УЛУЧШЕНИЯ

### RADIOECOLOGICAL SITUATION IN UNDERGROUND MINING WORKS OF URANIUM MINES AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT



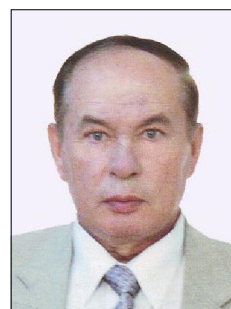
**Е. Т. Воронов,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
evgeniy.voronov.zabgu@mail.ru

**E. Voronov,**  
Transbaikal State University, Chita



**П. Б. Авдеев,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
chita-apb@yandex.ru

**P. Avdeev,**  
Transbaikal State University, Chita



**В. М. Герасимов,**  
Забайкальский государственный  
университет, г. Чита  
kafsmim@zabgu.ru

**V. Gerasimov,**  
Transbaikal State University, Chita

Одной из актуальных проблем при добыче природного урана подземным способом является обеспечение радиационной безопасности подземного персонала на основе снижения альфа- и гамма-облучения в очистных забоях. В статье дан анализ негативного воздействия радиоактивного газа радона и продуктов его распада на организм горнорабочего очистного забоя. Выделены особенности формирования радиоэкологической обстановки в зоне ведения подземных очистных работ. Дана оценка нисходящей слоевой системы разработки по влиянию радиационно-опасных факторов на персонал. Установлено, что данная система разработки наиболее безопасна по сравнению с другими системами, имеющими открытое очистное пространство. Главными факторами, обеспечивающими преимущество системы разработки, являются низкие показатели радоновыделения, объясняемые небольшой площадью рудной поверхности; сравнительно небольшой объем отбиваемой горнорудной массы; незначительная воздухопроницаемость рудного массива при шпуровой отбойке; относительно небольшой проветриваемый объем блока; существенно уменьшенная доза внешнего излучения в связи с наличием в кровле твердеющей закладки. В статье приведена схема вентиляции добычных блоков при использовании наиболее безопасной, с радиационной точки зрения, слоевой системы разработки с нисходящей выемкой и твердеющей закладкой. Предложена методика расчета воздухопотребности очистных блоков на базе использования фактических коэффициентов радоновыделения для урановых месторождений Стрельцовского рудного поля, получаемых на основе проведения воздушно-радоновых съемок. Выделены месторождения (участки) Стрельцовского рудного поля с наиболее высоким дебитом радоновыделения в рудничной атмосфере. Для практического использования приведены графики определения оптимальной воздухопотребности добычных блоков для конкретных эксплуатируемых урановых месторождений

**Ключевые слова:** месторождения урана; Стрельцовское рудное поле; слоевая система разработки; твердеющая закладка; очистной блок; радон; эманации; радиационный фактор; альфа-излучение; воздухопотребность; методика расчета; схема вентиляции блока

One of the urgent problems in the extraction of natural uranium by the underground method is to ensure the radiation safety of underground personnel by reducing alpha and gamma radiation in the face. The article analyzes

the negative effects of radioactive gas of radon and its decay products on the body of a mining face. The features of the formation of the radioecological situation in the zone of underground sewage treatment are highlighted. An assessment is given of a downstream layered development system by the influence of radiation-hazardous factors on personnel. It has been established that this development system is the safest in comparison with other systems having an open treatment space. The main factors providing the advantage of this development system are: low radon emission figures due to the small ore surface area; a relatively small volume of mined ore; low air permeability of the ore mass during blasting; relatively small ventilated volume of the block; significantly reduced external radiation dose due to the presence of a consolidating stowing in the roof. The article presents a ventilation scheme for mining blocks using the most radiation-safe layered development system with a downward notch and consolidating stowing. A technique is proposed for calculating the air demand of treatment units based on the use of actual radon emission factors for the uranium deposits of the Streltsovskoy ore field, obtained on the basis of airborne-radon surveys. Deposits (areas) of the Streltsovskoy ore field with the highest production rate of radon emission in the mine atmosphere have been identified. For practical use, graphs are given to determine the optimal air demand of mining blocks for specific exploited uranium deposits

**Key words:** uranium deposits; Streltsovskoe ore field; layered development system; consolidating stowing; treatment unit; radon; emanations; radiation factor; alpha radiation; air demand; calculation procedure; block ventilation scheme

При подземной разработке урановых месторождений одной из актуальных проблем является обеспечение безопасной радиологической обстановки подземного персонала с учетом целого комплекса опасных радиационных факторов. В первую очередь в категорию наиболее опасных факторов входит внутреннее альфа-облучение за счет попадания в органы дыхания продуктов распада радиоактивного газа радона ( $Rn_{222}$ ). Вследствие значительного периода полураспада радона, равного 3,82 сут, он аккумулируется в слабопрветриваемых горных выработках за счет фильтрационных процессов в зонах проведения добычных работ, вызывая формирование высоких концентраций радиоактивных аэрозолей, включающих радиоизотопы  $^{218}Po(RaA)$ ,  $^{214}Pb(RaB)$ ,  $^{214}Bi(RaC)$  [6; 7]. Попадая в органы дыхания, радиоактивные изотопы вызывают внутреннее облучение организма горняков, в результате возникают такие опасные заболевания, как рак легких, лейкемия, импотенция и др.

Исследованиями процесса выделения радона из горных пород занимался целый ряд ученых [4–8; 10–12], однако уверенное прогнозирование дебита радона остается сложной задачей, которая может быть успешно решена на основе метода аналогий при наличии значительного объема экспериментальных данных, собранных по каждому конкретному месторождению. Отсутствие надежной методики прогнозирования дебита радона в очистных блоках порождает избыточную воздухопотребность блоков и, сле-

довательно, значительные затраты на вентиляцию рудников [6; 8].

Для решения проблемы борьбы с радоном и продуктами его распада необходимо использовать комплекс технологических и аэродинамических мер, обеспечивающих сокращение дебита радона в атмосферу добычных блоков и его эффективный вынос из очистных заходок в исходящую струю общешахтной системы вентиляции рудника. Для обеспечения безопасных условий труда горнорабочих очистных забоев в условиях интенсивной эманации радона на урановых рудниках Забайкалья (ПАО «ППГХО») применяется наиболее безопасная в радиационном отношении слоевая система разработки с нисходящей выемкой и твердеющей закладкой (рис. 1).

Нисходящая слоевая система разработки с твердеющей закладкой – это увязанный во времени и пространстве комплекс подготовительных, нарезных, очистных и закладочных работ, обеспечивающий выемку рудного массива нисходящими слоями горизонтальных или слабонаклонных горных выработок под монолитной искусственной кровлей, созданной погашением вышележащего слоя твердеющей закладкой [3; 9].

Очистные работы включают шпуровую отбойку рудного массива, уборку отбитой горнорудной массы в рудоспуски, проветривание рабочих мест, крепление очистного пространства, выпуск и погрузку рудной массы из рудоспусков, установку в отработанных заходках изолирующих перемычек и заполнение выработанного пространства твердеющей закладкой.

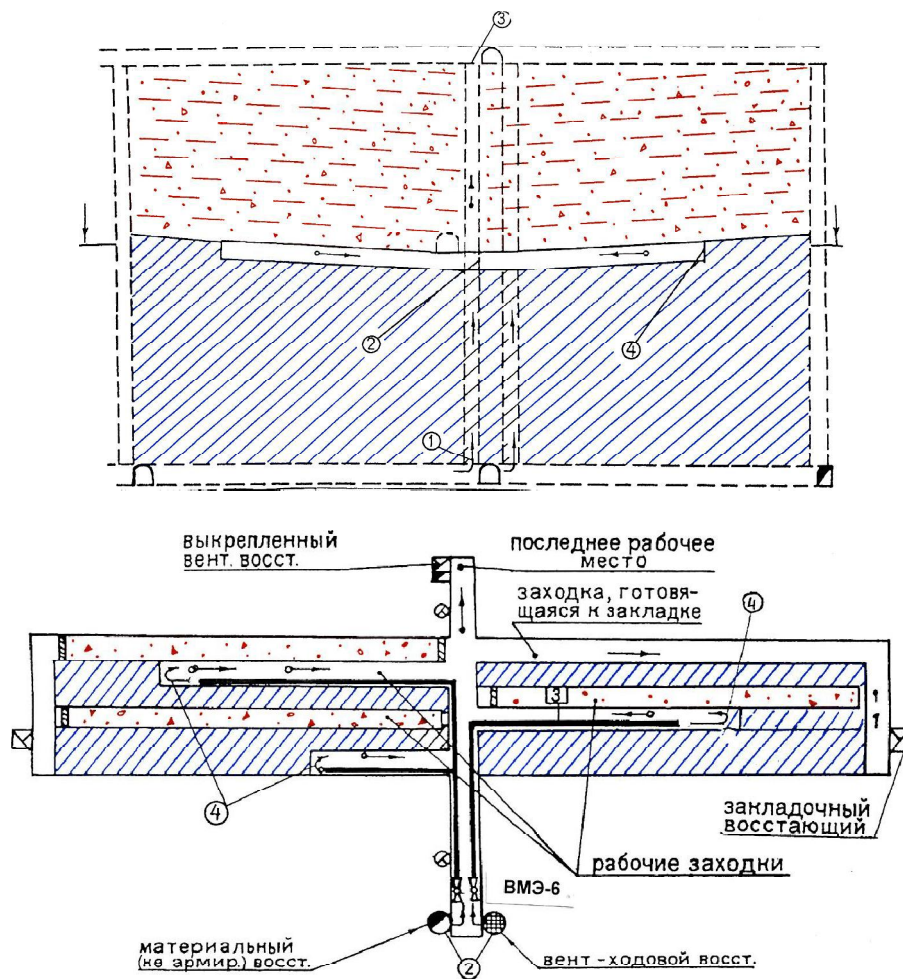


Рис. 1. Схема проветривания очистного блока при слоевой системе разработки с нисходящей выемкой и твердеющей закладкой / Fig. 1. The scheme of ventilation of the treatment unit in a layered development system with a downward notch and a consolidating stowing

Выемка первого слоя блока, а также очистных заходок на других слоях при несовпадении контуров рудных тел обрабатываемого слоя с контурами вышележащего слоя производится под естественной кровлей.

Данная система разработки адаптирована для эффективной выработки штокообразных, жилообразных, линзообразных и пластообразных урановых рудных тел как в устойчивых, так и в неустойчивых вмещающих рудных породах. Оптимальные параметры очистных блоков колеблются в следующих пределах: высота блока – 60 м; длина блока – 100...150 м; высота слоя – 3 м; угол наклона очистной заходки – 3...5°; ширина очистных заходок – 4 м.

Данная система разработки обеспечивает максимальную концентрацию очистных

горных работ, высокую производительность труда горнорабочих очистного забоя за счет эффективного использования самоходного технологического оборудования, а также максимальное сокращение площади обнажения урановых руд, из которых интенсивно эманурует радон. Слоевая система разработки нисходящими слоями с твердеющей закладкой широко применяется на урановых рудниках Забайкалья в условиях интенсивного выделения радона в рудничную атмосферу. Типовая схема проветривания очистного блока показана на рис. 1.

Свежий воздух за счет общешахтной депрессии попадает на слоевой орт по вентиляционно-ходовому восстающему. Тупиковые очистные заходки проветриваются вентиляторами местного проветривания (ВМЭ-6),

установленными в начале слоевого орта. Для нагнетания (подачи) свежего воздуха используется гибкий вентиляционный трубопровод типа ПВХ диаметром 600 мм. В каждую рабочую заходку подается не менее 3 м<sup>3</sup> свежего воздуха. Загрязненный воздух выдвигается на вентиляционный горизонт по блоковому вентиляционному восстающему.

Проветриваемый объем заходки в завершающей стадии ее проходки составляет обычно 300...700 м<sup>3</sup>. Вентилятор местного проветривания типа ВМЭ-6М позволяет подать в заходку до 6 м<sup>3</sup>/с свежего воздуха. Время полного воздухообмена очистной заходки находится в пределах 100...200 с.

Для нормализации радиоэкологической обстановки в рабочих забоях (очистных заходках) большое значение имеет расчет воздухопотребности очистных блоков с учетом радиационного фактора.

Расчет воздухопотребности очистных блоков с учетом дебита радоновыделения и содержания урана в рудах рекомендуется производить из условия обеспечения на рабочих местах блока допустимой величины скрытой энергии (ВСЭ), составляющей 1,2 кБк/м<sup>2</sup>, и фактических показателей коэффициентов удельного радоновыделения, получаемых в результате проведения воздушно-радоновых съемок на урановых рудниках Стрельцовского рудного поля (ПАО «ППГХО»).

Воздухопотребность по радону рекомендуется определять по формуле

$$Q = a \cdot \sqrt{\frac{D_{\text{бл}} \cdot W_{\text{бл}} \cdot 1000}{E_{\text{д}}}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от применяемой системы разработки (для системы «горизонтальные слои с закладкой»  $a$  принимается равным 0,016);

$W_{\text{бл}}$  – проветриваемый нормативный объем всех внутриблочных выработок, тыс. м<sup>3</sup> (при плановом развитии горных работ в блоке для отработки одного слоя рекомендуемый нормативный объем очистных выработок принимается в пределах  $2 \times 10^3 \dots 2,5 \times 10^3$  м<sup>3</sup>; при одновременной работе в блоке на двух слоевых горизонтах – в пределах  $4 \times 10^3 \dots 5 \times 10^3$  м<sup>3</sup>);  $D_{\text{бл}}$  – дебит радона в блоке, кБк/с;

Дебит радона блока рассчитывается по следующей формуле:

$$D_{\text{бл}} = K_{\text{у.р.}} \times W_{\text{бл}} \times C_{\text{у}}, \text{ кБк/с}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{у}}$  – содержание урана в руде, %;

$K_{\text{у.р.}}$  – коэффициент удельного радоновыделения, принимается: для рудника № 8 (месторождение «Малый Тулукуй») – 250 кБк/с, тыс. м<sup>3</sup>; для рудников № 1 и «Глубокий» (участки «Центральный», «Западный», «Восточный», «Глубокий») – 100 кБк/с, тыс. м<sup>3</sup>.

Допустимая величина скрытой энергии (ВСЭ)  $E_{\text{д}}$  в относительных единицах рассчитывается по формуле

$$E_{\text{д}} = \frac{20 - D_{\text{джан}}}{20(1 - 0,85 \cdot K_{\text{сиз}})}, \quad (3)$$

где 20 мЗв – допустимая годовая эффективная доза облучения персонала группы «А» в год;

$D_{\text{джан}}$  – эффективная доза облучения, обусловленная удельной активностью долгоживущих радионуклидов ряда урана – радия в рудничной пыли, мЗв/год;

$K_{\text{сиз}}$  – коэффициент использования по времени респиратора типа «лепесток» ( $K_{\text{сиз}}$  принимается в среднем 0,5);

0,85 – эффективность использования лепесткового респиратора в относительных единицах.

Эффективная доза  $D_{\text{джан}}$  рассчитывается по следующей формуле:

$$D_{\text{джан}} = \frac{C_{\text{джан}} \cdot 20 \cdot (1 - K_{\text{сиз}} \cdot 0,85)}{0,8}, \text{ мЗв}, \quad (4)$$

где  $C_{\text{джан}}$  – содержимое долгоживущих продуктов распада в воздухе, Бк/м<sup>3</sup>.

По данным выполненных расчетов и результатов проведенных радоновых съемок  $D_{\text{джан}}$  для урановых рудников Забайкалья колеблется в пределах 1,5...4,5 в зависимости от содержания урана в рудах, а величина ВСЭ ( $E_{\text{д}}$ ) в относительных единицах – в пределах 0,7...0,9 также в зависимости от содержания урана. Например, при содержании урана, равном 0,1 %,  $E_{\text{д}} = 0,9$ , при содержании урана 0,3 %, или более – 0,75...0,8. По данной методике выполнены расчеты воздухопотребности очистных блоков с учетом фактических дебитов радона. Результаты расчетов приведены на рис. 2 и 3.

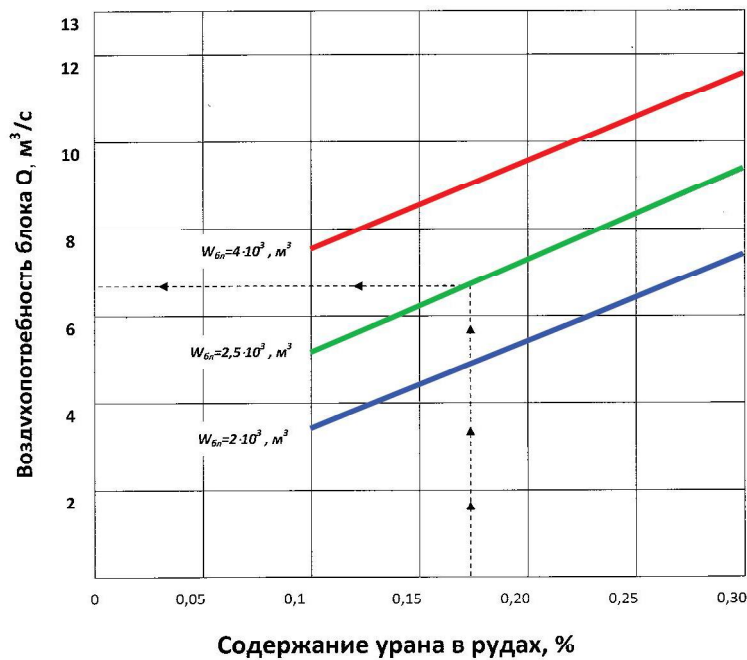


Рис. 2. График определения воздухопотребности очистного блока для проветривания зависимости от содержания урана и объема проветриваемых внутриблочных выработок (для рудника № 8 ПАО «ППГХО») / Fig. 2. Schedule for determining the air demand of the treatment unit for ventilation depending on the uranium content and the volume of ventilated intra-block workings (for mine No. 8 of PJSC PIMCU)

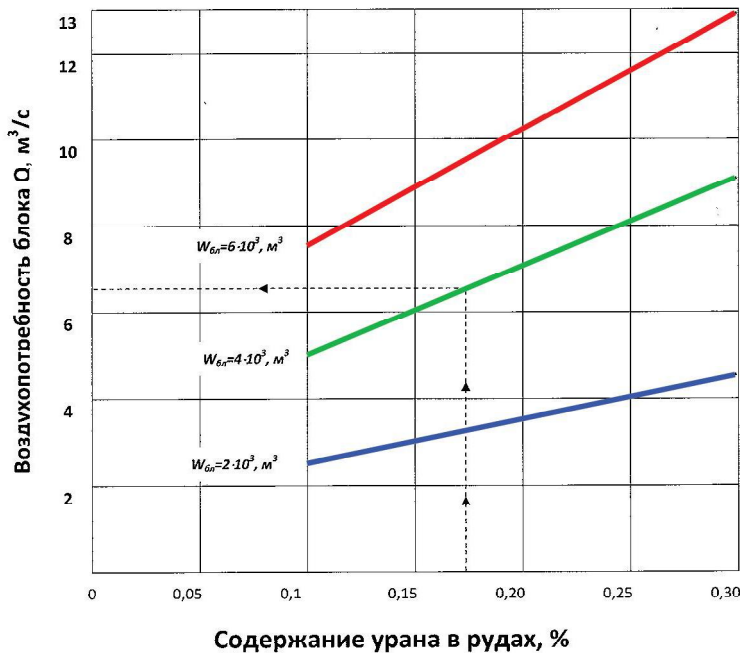


Рис. 3. График определения воздухопотребности очистного блока для проветривания зависимости от содержания урана в рудах и суммарного объема проветриваемых внутриблочных выработок (для рудников № 1 и «Глубокий» ПАО «ППГХО») / Fig. 3. Schedule for determining the air demand of the treatment unit for ventilation depending on the uranium content in ores and the total amount of ventilated intra-block workings (for mines No. 1 and Glubokiy of PJSC PIMCU)

Для обеспечения нормальной радиологической обстановки в рабочих забоях рекомендуется определять воздухопотребность очистных блоков с учетом реального дебита радоновыделения. По приведенным графикам (см. рис. 2 и 3) на основании анализа результатов расчета графиков воздухопотребности блоков в зависимости от содержания урана в рудах и суммарного объема проветриваемых внутриблочных выработок можно сделать следующие выводы.

При использовании для проветривания слоевых добычных горизонтов с использованием вентилятора ВМЭ-6 с максимальной производительностью 6...7 м<sup>3</sup>/с нормативный объем проветриваемых выработок для очистных блоков рудника № 8 (с высоким дебитом радоновыделения) не должен превышать 2×10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>, а для рудников № 1 и «Глубокий» с более низким коэффициентом радоновыделения рекомендуемый нормативный объем внутриблочных рабочих выработок должен быть в пределах 3×10<sup>3</sup>...4×10<sup>3</sup> м<sup>3</sup>.

### Список литературы

1. Воронов Е. Т., Бондарь И. А. Влияние радиационного фактора на развитие геотехнологий подземной разработки урановых месторождений // Основные направления повышения качества обучения в вузе: межвузовский сборник научно-методических трудов. Чита: ЗаБИЖТ, 2010. С. 84–87.
2. Воронов Е. Т., Шурыгин С. В. Перспективы развития подземных геотехнологий для разработки урановых месторождений с учетом радиационного фактора // Вестник Забайкальского государственного университета. 2014. № 3. С. 3–9.
3. Галинов Ю. Н. Совершенствование технологии отработки блоков нисходящей слоевой выемкой с закладкой // Технический прогресс в атомной промышленности. Серия «Горно-металлургическая промышленность». М.: ЦНИИАтоминформ, 1984. № 3. С. 143–150.
4. Камнев Е. Н. Определение радонового дебита и воздухопотребности урановых рудников. Решение проблемы «Радон в жилищах» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № S7. С. 83–92.
5. Камнев Е. Н., Павлов И. В., Сизова А. О., Иванов В. Г., Тедеев М. Н., Приходько К. Н. Перспектива поиска «скрытых» рудных тел на урановых месторождениях путем измерения плотности потока радона на поверхности // Разведка и охрана недр. 2012. № 4. С. 22–25.
6. Павлов И. В., Камнев Е. Н. Исследование закономерностей выделения радона в рудничную атмосферу при разработке урановых месторождений Стрельцовского рудного поля // Горный журнал. 2009. № 4. С. 67–71.
7. Павлов И. В., Покровский С. С., Камнев Е. Н. Способы обеспечения радиационной безопасности при разведке и добыче урановых руд. М.: Энергоатомиздат, 1994. 256 с.
8. Салтыков Л. Д., Шалаев И. Л., Лебедев Ю. А. Радиационная безопасность при разведке и добыче урановых руд. М.: Энергоатомиздат, 1984. 145 с.
9. Чесноков Н. И., Петросов А. А., Шавченко Б. Ф. Разработка месторождений урана системами с твердеющей закладкой. М.: Энергоатомиздат, 1983. 205 с.
10. Шашкин В. Л., Пруткина М. И. Эманирование радиоактивных руд и минералов. М.: Атомиздат, 1979. 111 с.
11. Hornung R. W., Meihardt T. J. Quantitative risk assessment of lung cancer in U.S. uranium miners // Health Physics. 1987. Vol. 52, No. 4. P. 417–430.
12. Kamnev E. N., Morozov V. N., Tatarinov V. N., Kaftan V. I. Geodynamic aspects of investigations in underground research laboratory (Nizhnekansk massif) // Eurasian Mining. 2018. No. 2. P. 11–14.

### References

1. Voronov E. T. *Osnovnye napravleniya povysheniya kachestva obucheniya v vuze: mezhvuzovskiy sbornik nauchno-metodicheskikh trudov* (The main directions of improving the quality of education at a university: an inter-university collection of scientific and methodological works). Chita: Transbaikal Institute of Railway Transport, 2010, pp. 84–87.
2. Voronov E. T., Shurygin S. V. *Bulletin of the Transbaikal State University* (Bulletin of the Transbaikal State University), 2014, no. 3, pp. 3–9.
3. Galinov Yu. N. *Tekhnicheskij progress v atomnoy promyshlennosti. Seriya «Gorno-metallurgicheskaya promyshlennost»* (Technical progress in the nuclear industry. Series "Mining and metallurgical industry"). Moscow: Central Research Institute of Atominform, 1984, no. 3, pp. 143–150.

4. Kamnev E. N. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (Mining informational and analytical bulletin)*, 2015, no. S7, pp. 83–92.
5. Kamnev E. N., Pavlov I. V., Sizova A. O., Ivanov V. G., Tedeev M. N., Prikhodko K. N. *Razvedka i ohrana nedr (Exploration and protection of mineral resources)*, 2012, no. 4, pp. 22–25.
6. Pavlov I. V., Kamnev E. N. *Gorny zhurnal (Mining Journal)*, 2009, no. 4, pp. 67–71.
7. Pavlov I. V., Pokrovsky S. S., Kamnev E. N. *Sposoby obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti pri razvedke i dobyche uranovykh rud (Methods for ensuring radiation safety in the exploration and mining of uranium ores)*. Moscow: Energoatomizdat, 1994. 256 p.
8. Saltykov L. D., Shalaev I. L., Lebedev Yu. A. *Radiatsionnaya bezopasnost pri razvedke i dobyche uranovykh rud (Radiation safety in the exploration and mining of uranium ores)*. Moscow: Energoatomizdat, 1984. 145 p.
9. Chesnokov N. I., Petrosov A. A., Shavchenko B. F. *Razrabotka mestorozhdeniy urana sistemami s tverdeyushchey zakladkoy (Development of uranium deposits by consolidating stowing)*. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 205 p.
10. Shashkin V. L., Prutkina M. I. *Emanirovanie radioaktivnykh rud i mineralov (Emanation of radioactive ores and minerals)*. Moscow: Atomizdat, 1979. 111 p.
11. Hornung R. W., Meihardt T. J. *Health Physics (Health Physics)*, 1987, vol. 52, no. 4, pp. 417–430.
12. Kamnev E. N., Morozov V. N., Tatarinov V. N., Kaftan V. I. *Eurasian Mining (Eurasian Mining)*, 2018, no. 2, pp. 11–14.

#### Коротко об авторах

---

*Воронов Евгений Тимофеевич*, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геоэкология, экологическая и радиационная безопасность при разработке МПИ  
evgeniy.voronov.zabgu@mail.ru

*Авдеев Павел Борисович*, д-р техн. наук, профессор, декан горного факультета, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: геотехнология и безопасность ведения горных работ, рациональное использование природных ресурсов  
chita-apb@yandex.ru

*Герасимов Виктор Михайлович*, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой сопротивления материалов и механики, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: экологическая безопасность разработки МПИ, физические процессы горного производства  
kafsmim@zabgu.ru

#### Briefly about the authors

---

*Evgeny Voronov*, doctor of technical sciences, professor, Honored Worker of Science, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: geoecology; environmental and radiation safety in the development of MPI

*Pavel Avdeev*, doctor of technical sciences, professor, dean of the Mining Faculty, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: geotechnology and mining safety; rational use of natural resources

*Victor Gerasimov*, doctor of technical sciences, professor, head of the Materials and Mechanics Resistance department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: environmental safety of the development of MPI, physical processes of mining

#### Образец цитирования

---

*Воронов Е. Т., Авдеев П. Б., Герасимов В. М. Радиоэкологическая обстановка на подземных горных работах урановых рудников и пути ее улучшения // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 7. С. 27–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-27-33.*

*Voronov E., Avdeev P., Gerasimov V. Radioecological situation in underground mining works of uranium mines and ways of its improvement // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no.7, pp. 27–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-27-33.*

Статья поступила в редакцию: 08.09.2019 г.  
Статья принята к публикации: 18.09. 2019 г.