

УДК 622.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В ПОДЗЕМНЫХ РУДНИКАХ НЕУРАНОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. А. МИРОНЕНКОВА¹, доцент, канд. техн. наук, natalie1@spmi.ru

¹ Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Превалирующими радиационно опасными факторами на неурановых горнодобывающих предприятиях являются короткоживущие дочерние продукты распада изотопов радона и внешнее гамма-излучение. Основными факторами влияния на величину эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА — нормируемая величина) дочерних продуктов распада радона и торона в воздухе подземных выработок являются скорость эксхалации изотопов радона из пород и руд, удельная активность радона в шахтных водах, интенсивность и способ проветривания выработок. Миграция радона в горных породах с максимальной интенсивностью происходит по зонам трещиноватости либо совместно с другими газами, либо в растворенном состоянии различными водами. Поэтому важно выделять тектонические разломы и другие зоны повышенной проницаемости, в том числе техногенного генезиса.

Анализ результатов исследований радиационной обстановки в подземных рудниках неурановых предприятий России показал, что уровни облучения работников за счет природных источников радиационного излучения практически везде достигают, а в ряде случаев и превышают допустимые для персонала значения (см. **таблицу**). Учитывая весьма значительное число работников в России, занятых добычей полезных ископаемых, строительством и эксплуатацией подземных сооружений, обеспечение гигиенически благоприятных, в частности радиационно безопасных условий труда, является приоритетной и актуальной задачей.

Для корректного учета индивидуальных доз облучения необходимо знать изменение во времени отдельных радиационно опасных факторов. Данные мониторинга на Яковлевском руднике в период с 2010 по 2014 г. показали, что мощность амбиентной дозы гамма-излучения в горных выработках характеризуется относительно стабильными во времени значениями, а ЭРОА радона может варьировать в значительных пределах [2]. Для учета этих вариаций применяют математическое моделирование, основанное на специфике процессов накопления радона в горных выработках [3]. По результатам радоновой съемки, определяют также участки геологических нарушений, которые могут представлять опасность [4–9].

Для обеспечения качественного моделирования процессов, связанных с выделением и накоплением радона, проведены лабо-

Констатируя наличие в подземных водах неурановых массивов горных пород радиационно опасного радона, эманлирующего в виде естественных радионуклидов через природные и техногенные нарушения в выработки подземных рудников, автор представляет исследования и экспериментально-лабораторные работы, направленные на обеспечение радиационной безопасности путем корректного учета индивидуальных доз облучения персонала, прогнозирования интенсивности миграции радона в зависимости от эквивалентной равновесной объемной активности изотопов, удельной активности радона в шахтных водах, способа и интенсивности проветривания рабочего пространства.

Полученные результаты показывают возможность использования математического моделирования для прогнозного решения задач обеспечения радиационной безопасности персонала подземных рудников неурановых горнодобывающих предприятий.

Ключевые слова: неурановые рудники, радон в подземных водах, миграция радионуклидов, гамма-излучение, объемная и удельная активность, интенсивность проветривания, математическое моделирование, прогнозирование, радиационная безопасность персонала.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.01.06>

Уровни облучения природными источниками работников горнодобывающих предприятий неуранового профиля [1]

Добываемое сырье	Мощность дозы, мкР/ч	ЭРОА изотопов радона в воздухе, Бк/м ³	Эффективная доза, мЗв/год
		²²² Rn	²²⁰ Rn
Вольфрам, олово	15–54 22	15–5240 1480	1,1–15 3,2
Молибден, ниобий и редкие металлы	5–90 41	<10–5840 855	<1–21 3,3
Медь, никель, цинк, свинец	4–15 9	<10–5700 154	<1–6,1 1,2
Пирит, магнетит	10–35 22	<10–1880 389	<1–1,8 1,1
Сидерит, флюорит, мусковит, другие неметаллические минералы	5–30 17	<10–3220 339	<1–20 3,4
Золото	6–38 17	<10–1970 153	<1–37 3,3
Уголь, сланец	3–16 8	<10–400 23	<1–4,2 2,0
Огнеупорные глины	17–25 21	20–900 307	8–17 12
Дренажные шахты	4–55 11	<10–1540 148	<1–16 3,9

© Мироненкова Н. А., 2016

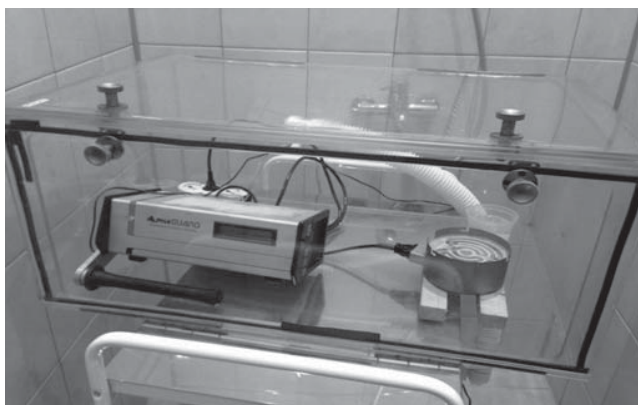


Рис. 1. Экспериментально-лабораторная установка для измерения объемной активности и динамики дебита радона в воздухе

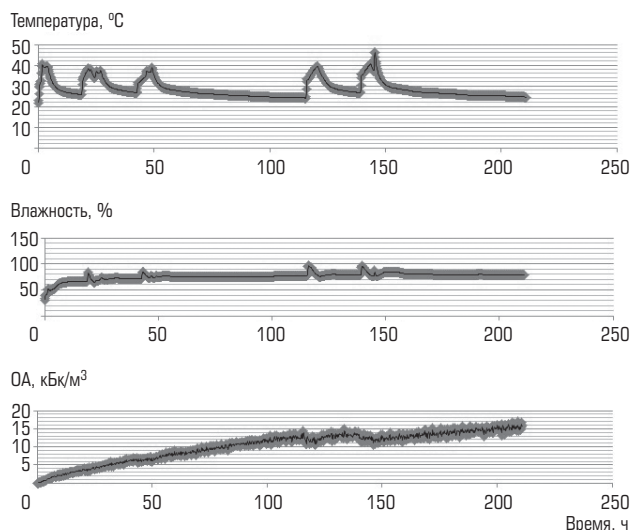


Рис. 2. Зависимость изменения дебита радона от температурно-влажностного режима в горной выработке (по данным лабораторного моделирования)

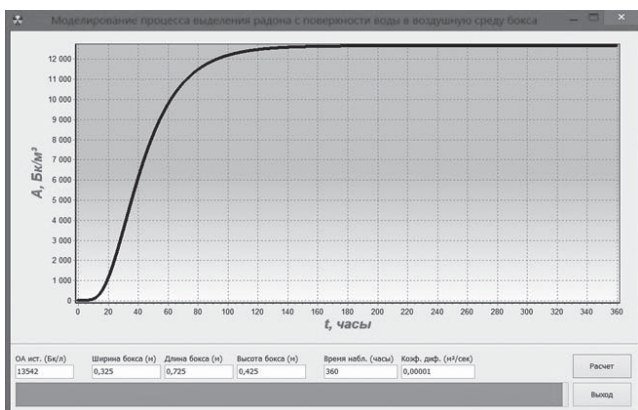


Рис. 3. Расчетное распределение объемной активности радона в водоисточнике и временное распределение ее по длине выработки

рационные эксперименты (рис. 1) по измерению в воздухе количественных характеристик объемной активности (ОА) радона-222, выделившегося из воды с растворенным радием-226, при постоянном контроле климатических параметров воздуха и моделировании различных условий по его влажности [10–13]. Основной исследуемый параметр — скорость выхода радона на

равновесный режим. По результатам лабораторного моделирования установлено влияние температуры и влажности на дебит радона из рудничных вод: повышенные значения температуры и влажности замедляют процесс выделения радона из рудничных вод (рис. 2).

Вариации ЭРОА радона в воздушной среде горных выработок за счет естественного изменения расхода подземных вод, насыщенных растворенным радием, достоверно учитывают при помощи математического моделирования, базирующегося на решении нестационарного уравнения диффузии для трехмерной задачи. Разработанное на основе математического моделирования программное обеспечение позволяет рассчитать распределение объемной активности радона в водоисточнике и временное распределение ее по длине горной выработки (рис. 3). Результаты эксперимента и моделирования имеют достаточно близкую сходимость с данными натурных измерений в горных выработках, что показывает возможность использования моделирования для решения задач обеспечения радиационной безопасности персонала подземных рудников.

Библиографический список

1. Королева Н. А., Статат И. П., Терентьев М. В., Терентьев Р. П. Уровни облучения природными источниками излучения работников подземных предприятий неурановой промышленности // Радиационная гигиена. 2008. Т. 1. № 4. С. 26–30.
2. Коршунов Г. И., Мироненкова Н. А., Потапов Р. В. Оценка условий труда по радиационно-опасному фактору в условиях Яковлевского рудника // ГИАБ. 2014. № 3. С. 162–168.
3. Климшин А. В., Миндубаев М. Г. Моделирование переноса радона в условиях свободной тепловой конвекции почвенного воздуха // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: На-

- учные чтения памяти Ю. П. Булашевича. — Екатеринбург : УрО РАН, 2011. С. 182–184.
4. Климшин А. В. Закономерности переноса радона в приповерхностном слое грунтов и в подземных горных выработках : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2012. — 19 с.
5. Коршунов Г. И., Мироненкова Н. А., Потапов Р. В., Яковенко А. А. Радиационная обстановка на полиметаллических рудниках, золотодобывающих и железорудных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. Отдельный выпуск № 2. С. 219–224.
6. Баннов Ю. А. Лаборатория радиационного контроля ООО «ГЕОКОН». Два года: опыт работы // АНРИ. 2005. С. 54–72.

7. Павлов И. В. Уровни облучения подземного персонала рудников // АНРИ. 2004. № 1(36). С. 2–7.
8. Романов С. М., Шилов А. А., Гурьянова О. Н. Актуальность радиационного контроля на угольных шахтах и разрезах // Безопасность труда в промышленности. 2009. № 8. С. 33–52.
9. Гендлер С. Г., Яковенко А. А. Оценка радиационной обстановки сооружения Санкт-Петербургского метрополитена // Записки Горного института. 2013. Т. 206. С. 146–150.
10. Breitner D., Arvela H., Hellmuth K. H., Renvall T. Effect of moisture content on emanation at different grain size fractions — a pilot study on granitic esker sand sample // Journal of Environmental Radioactivity. 2010. Vol. 101(11). P. 1002–1006.
11. Hassan N. M., Ishikawa T., Hosoda M., Iwaoka K., Sorimachi A., Sahoo S. K., Janik M., Kranrod C., Yonehara H., Fukushi M., Tokonami, S. The effect of water content on the radon emanation coefficient for some building materials used in Japan // Radiation Measurements. 2011. Vol. 46(2). P. 232–237.
12. Mishra D. P., Sahu P., Panigrahi D. C., Jha V. N., Patnaik R. L. Assessment of ²²²Rn emanation from ore body and back-fill tailings in low-grade underground uranium mine // Environmental Science and Pollution Research. 2014. Vol. 21(3). P. 2305–2312.
13. Sahu P., Mishra D. P., Panigrahi D. C., Jha V. N., Patnaik R. L. Radon emanation from low-grade uranium ore // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 126. P. 104–114. **PK**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 1, pp. 27–29

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.01.06>

Modeling radiation environment in underground non-uranium mines

Information about author

N. A. Mironenkova¹, Assistant Professor, Candidate of Engineering Sciences, natalie1@spmi.ru

¹ National Mineral Resources University (Mining University), Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Having pointed at radiation-hazardous radon that is present in underground water in non-uranium rocks and emanates as natural radioactive nuclides through natural and mining-induced faults in underground excavations, the author describes studies and laboratory tests aimed at maintenance of mine radiation safety through proper recording of individual radiation exposure of mine personnel, forecasting of radon migration intensity depending on equivalent equilibrium volumetric activity of radon in mine water, and elaboration of method and rate of work area ventilation.

The research used the methods of laboratory mathematical modeling of desired parameters and relationships.

The obtained results and the in situ measurements taken in non-uranium mines show good correspondence, which implies applicability of the mathematical modeling for forecasting of radiation safety of personnel in underground non-uranium mines.

Keywords: Non-uranium mines, radon in underground water, migration of radionuclides, gamma-radiation, volumetric and specific activity, ventilation rate, mathematical modeling, forecasting, radiation safety of personnel.

References

1. Koroleva N. A., Stamat I. P., Terentev M. V., Terentev R. P. Urovni oblucheniya prirodnyimi istochnikami izlucheniya rabotnikov podzemnykh predpriyatiy neuranovoy promyshlennosti (Levels of irradiation of workers of underground non-uranium industry enterprises by natural radiation sources of). *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008. Vol. 1, No. 4. pp. 26–30.
2. Korshunov G. I., Mironenkova N. A., Potapov R. V. Otsenka usloviy truda po radiatsionno-opasnomu faktoru v usloviyakh Yakovlevskogo rudnika (Assessment of working conditions according to the radiation-dangerous factor in the conditions of Yakovlevsky mine). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining informational-analytical bulletin*. 2014. No. 3. pp. 162–168.
3. Klimshin A.V., Mindubaev M.G. Modelirovanie perenosa radona v usloviyakh svobodnoy teplovy konveksii pochvennogo vozdukh (Modeling of radon transfer in the conditions of free thermal convection of soil air). *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoye pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh poley: Nauchnye chteniya pamyati Yu. P. Bulashevicha* (Deep structure, geodynamics, thermal field of Earth, interpretation of geophysical fields: Scientific readings devoted to the memory of Yu. P. Bulashevich). Ekaterinburg : Ural Branch of Russian Academy of Sciences, 2011. pp. 182–184.
4. Klimshin A. V. *Zakonomernosti perenosa radona v priповерхnostnom sloe gruntov i v podzemnykh gornnykh vyrabotkakh : avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk* (Regularities of radon transfer in surface seam of soils and in underground excavations : thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences). Ekaterinburg, 2012. 19 p.
5. Korshunov G. I., Mironenkova N. A., Potapov R. V., Yakovenko A. A. Radiatsionnaya obstanovka na polimetallicheskh rudnikakh, zolotodobyvayushchikh i zhelezorudnykh shakhtakh (Radiation situation at polymetallic mines, gold mining and iron ore mines). *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten = Mining informational-analytical bulletin*. 2013. Special issue No. 2. pp. 219–224.
6. Bannov Yu. A. Laboratoriya radiatsionnogo kontrolya Obshchestva s Ogranichennoy Otvetstvennostyu "GEOKON". Dva goda: opyt raboty (Radiation control laboratory of LLC "GEOKON". Two years: work experience). *ANRI = ANRI journal*. 2005. pp. 54–72.
7. Pavlov I. V. Urovni oblucheniya podzemnogo personala rudnikov (Radiation levels of underground mine workers). *ANRI = ANRI journal*. 2004. No. 1 (36). pp. 2–7.
8. Romanov S. M., Shilov A. A., Guryanova O. N. Aktualnost radiatsionnogo kontrolya na ugolnykh shakhtakh i razrezakh (Urgency of radiation control at coal mines and cuts). *Bezopasnost truda v promyshlennosti = Occupational safety in industry*. 2009. No. 8. pp. 33–52.
9. Gendler S. G., Yakovenko A. A. Otsenka radiatsionnoy obstanovki sooruzheniyakh Sankt-Peterburgskogo metroplitena (Assessment of radiation situation of Saint Petersburg Metro facilities). *Zapiski Gornogo instituta = Proceedings of the Mining Institute*. 2013. Vol. 206. pp. 146–150.
10. Breitner D., Arvela H., Hellmuth K. H., Renvall T. Effect of moisture content on emanation at different grain size fractions – a pilot study on granitic esker sand sample. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2010. Vol. 101(11). pp. 1002–1006.
11. Hassan N. M., Ishikawa T., Hosoda M., Iwaoka K., Sorimachi A., Sahoo S. K., Janik M., Kranrod C., Yonehara H., Fukushi M., Tokonami, S. The effect of water content on the radon emanation coefficient for some building materials used in Japan. *Radiation Measurements*. 2011. Vol. 46(2). pp. 232–237.
12. Mishra D. P., Sahu P., Panigrahi D. C., Jha V. N., Patnaik R. L. Assessment of ²²²Rn emanation from ore body and back-fill tailings in low-grade underground uranium mine. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21(3). pp. 2305–2312.
13. Sahu P., Mishra D. P., Panigrahi D. C., Jha V. N., Patnaik R. L. Radon emanation from low-grade uranium ore. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2013. Vol. 126. pp. 104–114.