

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЭМАНАЦИЙ РАДОНА НА ВЫВЕДЕННЫХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ

В.А. Фоменко¹, А.А. Соколов¹, А.С. Мирошников², Ранджан Ануж³, А.С. Лукьянов⁴

¹ Филиал Южного федерального университета в г. Геленджике,
Геленджик, Россия, e-mail: anso@sfnu.ru

² Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
Владикавказ, РСО-Алания, Россия

³ Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

⁴ Открытый университет экономики, управления и права, Москва, Россия

Аннотация: Рассмотрены современные методы геоэкологического мониторинга эманаций радона. Предложен метод измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона для оценки внутреннего состояния иссушенного тела хвостохранилища в условиях горно-долинных ветров. Метод может быть применен для оценки воздействия на безопасность окружающей среды и здоровья населения выведенных из эксплуатации объектов горно-обогатительных комбинатов включая насыпные и намывные техногенные массивы, расположенные в ущельях горных территорий. Приведены данные результатов полевых исследований по проведению измерений эквивалентной равновесной объемной активности радона 222, в основу которых положена предложенная авторами методология оценки напряженно-деформируемого состояния и других параметров тела хвостохранилища, претерпевающего изменения структуры после рекультивации. В результате проведенных исследований были выявлены значительные эманации радона 222, проведена обработка данных с помощью специализированного программного и алгоритмического обеспечения и построены гистограммы. Полученные результаты позволяют дополнить сведения геоэкологического мониторинга для комплексной оценки горных территорий и выработать управленческие решения по безопасности окружающей среды.

Ключевые слова: горные территории, иссушенное тело хвостохранилища, эманации радона, геодинамическая устойчивость, напряженно-деформируемое состояние, техногенное воздействие.

Благодарность: Исследования выполнены в Южном федеральном университете за счет средств Российского научного фонда (проект № РНФ/23-37-ГЛ, № 23-77-00015).

Для цитирования: Фоменко В. А., Соколов А. А., Мирошников А. С., Ранджан Ануж, Лукьянов А. С. Развитие методов геоэкологического мониторинга эманаций радона на выведенных из эксплуатации хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 6. – С. 139–152. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_139.

Advancement of geocological monitoring of radon emanations from out-of-service tailings dumps in mineral mining and processing industry

V.A. Fomenko¹, A.A. Sokolov¹, A.S. Miroshnikov², Ranjan Anuj³, A.S. Lukyanov⁴

¹ Branch of Southern Federal University in Gelendzhik, Gelendzhik, Russia, e-mail: anso@sfnu.ru

² North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

³ Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

⁴ Open University of Economics, Management and Law, Moscow, Russia

Abstract: The advanced approaches to geocological monitoring of radon emanations are discussed. The method is proposed to measure the equivalent equilibrium volume activity of radon for the assessment of the dehumidified tailings dump body exposed to mountain and valley winds. The method is applicable to the assessment of the environmental and health impacts of out-of-service mining and processing facilities, including rock-fills and hydraulic waste bodies in the ravines in the mountainous terrain. The article gives the data of the field studies on the measurement of the equivalent equilibrium volume activity of radon-222 using the authorial methodology for the stress-strain estimates and the other parameters of the tailings dump body in the course of structural transformation after reclamation. The studies revealed substantial emanations of radon-222. The obtained data were processed using dedicated software and algorithms, and bar charts were constructed. The research findings supplement the geocological monitoring information toward the integrated assessment of mountainous terrain condition, and to selected proper managerial solutions on the environmental safety.

Key words: mountainous terrain, dehumidified tailings dump body, radon emanations, geodynamic stability, stress-strain behavior, manmade impact.

Acknowledgements: The research was carried out at the Southern Federal University at the expense of the Russian Science Foundation (Project No. RNF/23-37-GL, No. 23-77-00015).

For citation: Fomenko V. A., Sokolov A. A., Miroshnikov A. S., Ranjan Anuj, Lukyanov A. S. Advancement of geocological monitoring of radon emanations from out-of-service tailings dumps in mineral mining and processing industry. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(6):139-152. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_139.

Введение

Функционирование горных предприятий неизбежно сопровождается интенсивным негативным воздействием на окружающую среду, поскольку практически все технологические процессы являются источниками загрязнений атмосферы, гидросферы и почвенного покрова. Кроме того, предприятия занимают большие производственные территории, нарушают целостность недр, а создаваемые

в результате их деятельности отвалы и хвостохранилища предполагают существенное отчуждение земель и создают эффект накопленного экологического ущерба для воздушной среды, гидросферы и почвенных ресурсов [1 – 4]. Концентрация вредных веществ в атмосфере, почве, водных объектах, вызываемая функционированием крупных горно-металлургических комплексов (ГМК), значительно превышает допустимые нор-

мы [5–7]. Кроме геохимических воздействий [8], присутствует и опасность эманаций большого количества радона [9, 10]. В статье рассматривается проблема геоэкологического мониторинга [11] эманаций радона на выведенных из эксплуатации хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов.

Особенностью хвостохранилищ, расположенных в условиях горных территорий, как правило, является их устройство на склонах, зачастую примыкающих к горным рекам. В процессе эксплуатации и дальнейшей рекультивации таких хвостохранилищ, заключающейся в отсыпке изолирующего верхнего слоя, тело хвостохранилища постепенно претерпевает изменения ввиду его иссушения и воздействия других факторов, присущих горным территориям. Одним из опасных факторов является увеличение эманаций радона из шламов, полученных в результате деятельности горно-обогатительных комбинатов. Из-за иссушения хвостохранилища развивается трещиноватость, верхняя часть хвостохранилища проседает и изменяется его внутреннее напряженно-деформированное состояние (НДС), уменьшается объем и создаются условия для эманаций радона на поверхность [12, 13].

Цель исследований — выбор и апробация метода измерения величины эманаций радона на хвостохранилищах, выведенных из эксплуатации и расположенных в условиях горных территорий.

Описание объекта исследований

В качестве объекта исследований выбран рекультивированный намывной массив пойменного типа Унальского хвостохранилища, расположенного в горной местности. Ранее [14] авторами на основе лабораторных и экспедиционных исследований была выдвинута гипотеза о том, что по величине значений эманаций радона можно судить об НДС тела

иссушенного намывного техногенного массива. В целях проверки данного предположения и был разработан описанный ниже метод измерения концентрации радона, учитывающий структуру иссушенного тела хвостохранилища.

Структура геологического материала намывного техногенного массива неоднородна по своим физико-химическим свойствам и гранулометрическому составу [15]. Это объясняется тем, что в период намыва хвостов происходили изменения в составе и качестве добываемого рудного материала, в технологических процессах его переработки и др. [16, 17].

Формирование мелкодисперсных фракций в результате дробления крупных фракций на более мелкие негативно сказывалось на соотношении глины и песка в шламохранилище. Как следствие, происходило образование тонкодисперсных прослоев глины после их гравитационного оседания, что явилось причиной появления водоупорных слоев в прослоях по всему разрезу. Появление в ходе рекультивации слоя грунта на поверхности хвостохранилища укрыло его от осадков и предотвратило вынос мелких фракций горно-долинными ветрами, а также оказало дополнительную нагрузку на тело хвостохранилища.

Взаимосвязь эманации радона и НДС пород

В результате проведенных исследований [14, 18] выдвинуто предположение, что отсыпка поверхности хвостохранилища дополнительным технологическим слоем привела к его постепенному обезвоживанию. Ограничение проникновения атмосферных осадков внутрь тела хвостохранилища привело к осушению порового пространства измельченных горных пород. Таким образом, появившиеся в результате рекультивационных мероприятий дополнительные повер-

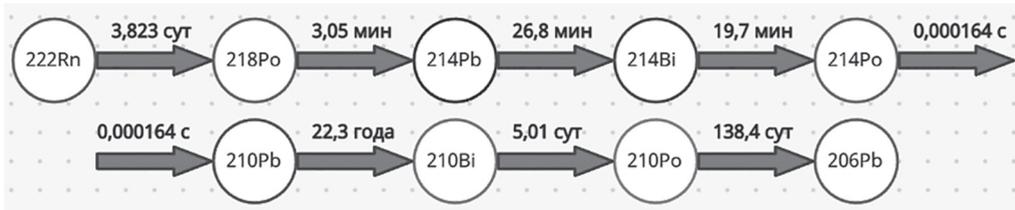


Рис. 1. Радиоактивный распад изотопов до 206 Pb
 Fig. 1. Radioactive decay of isotopes up to 206 Pb

ностные слои приводят к постепенному сжатию и нарушению целостности выскоженного тела хвостохранилища, и как следствие, служат источником для формирования новых участков НДС. Одновременно происходит перераспределение направлений векторов напряжений, локальных смещений объемного тела хвостохранилища с формированием дополнительных участков зон сжатия и растяжения.

Образование новых участков растяжения и сжатия неизбежно сопровождается разрастанием субвертикальных векторов трещиноватости, что приводит к более легкому выносу радона на поверхность. При этом следует учитывать то обстоятельство, что величина эманиций горных пород хвостохранилища зависит от размеров частиц, влажности, температуры, порового пространства, трещиноватости, капиллярной сети и т.д. Продолжающееся обезвоживание тела хвостохранилища увеличивает консолидацию прослоев, что вызывает новое образование трещин в более глубокорасположенных объемах тела хвостохранилища и, как следствие, вынос эманиций радона на поверхность.

Предметом исследований являются методы измерения концентрации радона на выведенных из эксплуатации хвостохранилищах горно-обогатительных комбинатов в условиях горных территорий. Радон — газ, который в 7,5 раз тяжелее воздуха, с периодом полураспада 3,8 сут, член радиоактивного семейства

урана-238, он распределен повсеместно в горных и осадочных породах Земли [19, 20]. Опасность для здоровья населения представляют дочерние продукты распада (ДПР) радона — изотопы свинца (206Pb и 208Pb) (рис. 1). По нормам радиационной безопасности (НРБ-99) допустимая концентрация радона в воздухе не должна превышать 100 Бк/м³, соответственно, для зданий и промышленных объектов, построенных после 1999 г., 200 Бк/м³ [21, 22].

Научный комитет ООН по действию атомной радиации сделал выводы, что радон из природных источников вместе с ДПР вносит до 70% годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и более половины этой дозы от всех естественных источников радиации, при этом основную часть человек получает от радионуклидов, попадающих в его организм вместе с вдыхаемым воздухом.

Продукты распада радона — нуклиды, в одноатомном виде являются собственно «атомной пылью», которая может переноситься ветром на большие расстояния, осаживаясь на растительности, и накапливаться в почве, особенно в горных условиях. Бета-активность делает такие частицы положительно заряженными, процесс распада радона приостанавливается на изотопе свинец-206 (см. рис. 1) [20, 22].

В ходе преобразований, связанных с распадом Радона-222, продукты его рас-

пада осаждаются на частицах мелкодисперсной пыли и аэрозольных частицах на поверхности выведенного из эксплуатации хвостохранилища, которые горно-долинными ветрами могут разноситься на значительные расстояния.

Методы исследований

Существуют различные методы измерения концентрации радона. К основным можно отнести методы измерения плотности потока радона (ППР), и измерения эквивалентной равновесной объемной активности радона (ЭРОА).

При измерении ППР используются накопительные камеры (НК), обычно НК устанавливают на поверхность горного массива на некоторое время, необходимое для фиксации данных, после накопления данных происходит процесс измерения [23]. Поток радона из грунта увеличивает накопленную концентрацию газа в накопительной камере. По объему накопительной камеры, времени экспозиции, активности радона, оценивается ППР с поверхности грунта.

В общем случае плотность потока радона q , Бк·м⁻² с⁻¹, в этом методе рассчитывают из выражения:

$$q = A(t)V / St, \quad (1)$$

где $A(t)$ — объемная активность радона в воздухе накопительной камеры, измеренная через время t , Бк·м⁻³; S — площадь поверхности основания НК, м²; t — время накопления радона, с; V — объем накопительной камеры, м³ [24]. Данный метод применять в условиях воздействия горно-долинных ветров проблематично ввиду непостоянства скорости ветра, диффузионного рассеивания радона над поверхностью, образования завихрения и прочего. Усреднение результатов измерения по данному методу не приведет к адекватной оценке потока эманаций.

При измерении ЭРОА обычно используется методология, описанная в

методических указаниях «Определение среднегодовых значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений по результатам измерений разной длительности МУ 2.6.1. 037».

$$ЭРОА = ЭРОА_{Rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{Tn}, \quad (2)$$

где

$$ЭРОА_{Rn} = 0,10 \cdot OA_{RaA} + 0,52 \cdot OA_{RaB} + 0,38 \cdot OA_{RaC} \quad (3)$$

и

$$ЭРОА_{Tn} = 0,91 \cdot OA_{ThB} + 0,09 \cdot OA_{ThC}, \quad (4)$$

где OA_i — объемные активности дочерних продуктов изотопов радона. Величина ЭРОА реальной неравновесной смеси ДПР радона равна такому значению OA радона в воздухе, при котором равновесная смесь его ДПР выделяет такую же энергию, как и эта неравновесная смесь.

Известны и иные методы измерения радона [23 — 25], которые в основном применяются в геологии и научных экспериментах.

Из рассмотренных выше методов наиболее приемлем для измерения на горных территориях с постоянно дующими горно-долинными ветрами метод ЭРОА, который наиболее содержательно отвечает поставленным задачам мониторинга радона и продуктов его распада, поскольку в процессе экспериментальных исследований прибор помещается в специально обустроенный приямок, адекватный зоне помещения.

Обоснование выбора метода оценки ЭРОА хвостохранилищ, расположенных в условиях горных территорий

При выборе метода измерений эманаций радона на поверхности хвостохранилища необходимо учитывать определенный ряд параметров, присущих его горному расположению [26 — 28].

Воздушный режим тела хвостохранилища с эманациями радона находится в

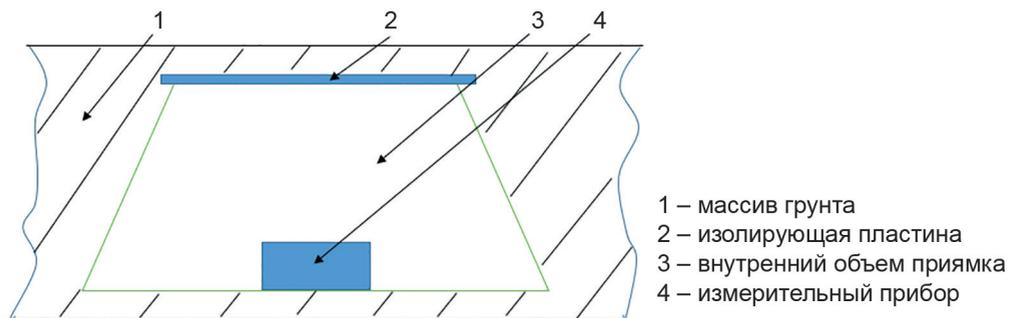


Рис. 2. Чертеж обустройства приемка для измерения ЭРОА
 Fig. 2. Construction drawing of the mine for measuring EEVA

прямой зависимости от различных сезонных климатических условий, геохимических и геофизических параметров самого тела и рекультивационного слоя покрытия.

Горно-долинные ветра, распространяясь над поверхностью хвостохранилища, в силу их порывистости создают перепады давления над поверхностью и внутри самого тела. Воздух нагнетается и выходит обратно в основном по сети трещин, сообщающихся с поверхностью и телом. Максимальное количество воздуха, т.е. воздухоемкость тела, зависит от гранулометрического состава, развития трещиноватости и трещин, сложения намывных слоев, влажности и др. параметров. Так, в верхнем слое почвы легкого гранулометрического состава содержание воздуха поддерживается на уровне 20 – 25% ее объема, что является значительным.

При нормальных климатических условиях газообмен обусловлен: диффузией, изменением температуры тела и особенно верхней его части, барометрическим давлением, изменением уровня грунтовых вод, изменением количества поровой влаги в теле, испарением, влиянием ветра. Проникновение дождевой воды осадков с поверхности хвостохранилища и из прилегающих к бортам дождевых потоков будет вытеснять содержащиеся газы вместе с радоном в теле хвостохра-

нилища, а при усыхании наблюдается явление обратного поступления воздуха. Аэрация тела хвостохранилища в основном будет зависеть от воздухопроницаемости верхней части насыпного рекультивационного слоя, от степени его сезонной трещиноватости и наличия сквозных трещин, и в меньшей степени от других параметров. Таким образом, изменение температуры, атмосферного давления, ветра, уровня грунтовых вод, влажности будет влиять на объемные соотношения газового состава тела хвостохранилища, динамику его объемного изменения, и как следствие, на величину выноса радона на поверхность.

Основная суть предложенной методологии измерения ЭРОА заключается в следующем. Необходимо устанавливать прибор для измерений в специально подготовленные «приямки» глубиной от 0,5 до 1 м, выполненные с трапециевидальным сечением, или в виде усеченного перевернутого конуса для минимизации барометрического влияния горно-долинного ветра и создания условий для осаждения атомарной пыли (ДПР), как показано на рис. 2. Геометрические размеры приемка определяются, исходя из размещения аппаратуры и создания необходимого объема измерительной среды. Сверху приямок урывается изолирующей пластиной и засыпается слоем грунта, который далее утрамбовывается с уси-

лием, обеспечивающим придание присыпке плотности и механических характеристик, аналогичных характеристикам окружающей поверхности укрывающей горной породы.

Устройство приемка и его воздушный объем являются измерительной камерой, усредняющей все вышеперечисленные параметры, и обеспечивают выполнение условия для измерения ЭРОА. Объем приемка в процессе выполнения работ может корректироваться механическим путем.

Для измерения использовался детектор радиоактивного газа радон RADEX MR107. Первое измеренное и усредненное значение прибор выводит через 4 ч, такова специфика работы прибора, что очень важно при измерении в ветреную погоду. Время экспозиции прибора выбиралось исходя из времени измерений, необходимых для обеспечения усредненного значения и минимизации исключения влияния барометрического давления горно-долинных ветров на вынос радона.

Время измерений в разных точках выбиралось одинаковым для чистоты измерений, что позволило измерять ЭРОА в режиме реального времени в приемках. По результатам экспериментальных исследований получены ряды наблюдений, позволяющие выполнить анализ и оценку динамики изменения значений

ЭРОА, а также определить усредненное значение. На основе анализа результатов измерения концентрации радона и динамики ее изменения возможно в дальнейшем разработать математические модели прогнозирования развития НДС тела хвостохранилища [29–32].

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе выполненных работ установлено превышение emanаций радона, достигающих значений 400 Бк/м^3 , как следует из рис. 3, что свидетельствует о неблагоприятии Унальского хвостохранилища с точки зрения геоэкологии. Полученные результаты по измерениям ЭРОА свидетельствуют о подтверждении выдвинутой авторами гипотезы о возможности по величинам emanаций радона судить о внутреннем состоянии тела хвостохранилища. В частности, по изменению концентрации радона методом ЭРОА можно судить об НДС выведенных из эксплуатации хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов (применительно к хвостохранилищам, расположенным в горных территориях [33–35]).

При этом неизменным оставался факт постепенного увеличения emanаций во всех проводимых точках измерений, независимо от их расположения по периметру хвостохранилища. Он объясняется спецификой алгоритма работы при-

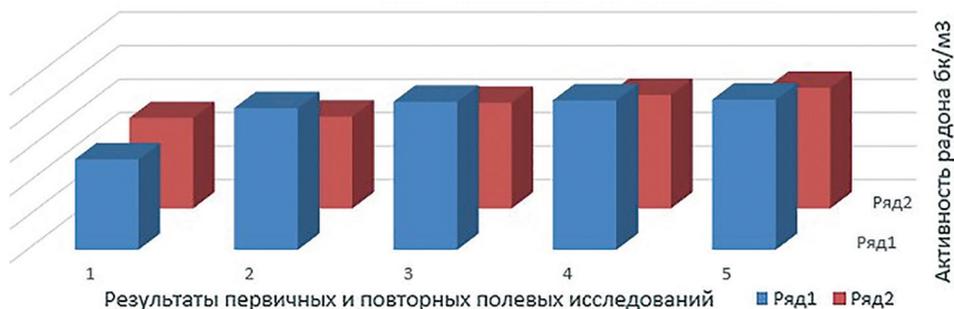


Рис. 3. Результаты измерений величин emanаций радона 222

Fig. 3. Measurements of radon 222 emanations

бора, а разница измеренных значений эманацій радона объясняется тем, что в момент измерения изменялись различные параметры, влияющие на величину эманацій радона.

Развитие предложенного метода позволит в дальнейшем осуществить прогноз возможных серьезных последствий потенциального изменения состояния тела хвостохранилища при обводнении, сейсмогеодинамических и техногенных воздействиях [36, 37].

Выводы

Предложенный метод измерения эманацій радона дает возможность осуществить оценку величины ЭРОА в условиях горных территорий и по полученным данным судить о внутреннем НДС иссушенного тела хвостохранилища. Технология выполнения измерения концентрации радона в специальном приемке подтвердила возможность получения корректных значений данных ЭРОА в условиях горно-долинных ветров. Благодаря

проведенным экспериментам выявлена необходимость дальнейших исследований по оценке вероятности переноса дочерних продуктов распада горно-долинными ветрами вверх по ущелью с образованием ионизирующего налета на растительность и почву.

В процессе проведенных полевых исследований выявлена необходимость учета дополнительных параметров, влияющих на измерение ЭРОА. Требуется обустройство наблюдательных скважин за пьезометрическим уровнем воды. Данные по учету сезонных колебаний обводненности тела хвостохранилища повысят эффективность предложенного метода измерения эманацій радона.

В случае разработки управленческих решений по минимизации техногенного воздействия на окружающую среду выведенных из эксплуатации хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов необходимо учитывать радиационную составляющую эманацій радона и его дочерних продуктов распада.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А. А. Основы информационного обеспечения мониторинга техногенных циклов горно-металлургических предприятий. — Нальчик: КБНЦ РАН, 2020. — 170 с.
2. Колобанов К. А., Филатова М. Ю., Бубнова М. Б., Ромашкина Е. А. Совершенствование методов оценки загрязнения экосферы от горнопромышленных отходов с использованием математического аппарата // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 4. — С. 85–99. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_85.
3. Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region) // Water, Air, and Soil Pollution. 2022, vol. 233, no. 1, article 18. DOI: 10.1007/s11270-021-05496-3.
4. Куликова Е. Ю., Сергеева Ю. А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 107–118. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107-118.
5. Kolesnikov S. I., Kazeev K. S., Akimenko Y. V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // Environmental Monitoring and Assessment. 2019, vol. 191, no. 9, article 544. DOI: 10.1007/s10661-019-7718-3.
6. Абрамов Б. Н. Оценка токсичности хвостохранилищ рудных месторождений Забайкальского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 11. — С. 136–145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.

7. Камнев Е. Н., Карамушка В. П., Селезнев А. В., Морозов В. Н., Хиллер А. Экологические проблемы и их решение при закрытии урановых производств (на примере России, СНГ и Германии) // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 5. — С. 26—39. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-26-39.

8. Колесников С. И., Тимошенко А. Н., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Мясникова М. А. Оценка экотоксичности наночастиц меди, никеля и цинка по биологическим показателям чернозема // Почвоведение. — 2019. — № 8. — С. 986—992. DOI: 10.1134/S0032180X19080094.

9. Gruber V., Kabrt F., Kaineder H., Maringer F. J., Ringer W., Seidel C., Wurm G. Indoor radon, geogenic radon surrogates and geology — investigations on their correlation // Journal of Environmental Radioactivity. 2016, vol. 166, no. 2, pp. 382—389. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.04.028.

10. Kolesnikov S., Tsepina N., Minnikova T., Kazeev K., Mandzhieva S., Sushkova S., Minikina T., Mazarji M., Singh R. K., Rajput V. D. Influence of silver nanoparticles on the biological indicators of haplic chernozem // Plants. 2021, vol. 10, no. 5, article 1022. DOI: 10.3390/plants10051022.

11. Сидорова Г. П., Авдеев П. Б., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Маниковский П. М. Мониторинг состояния окружающей среды на территориях, вовлеченных в обращение углей с повышенным содержанием естественных радионуклидов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 12. — С. 102—113. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-102-113.

12. Sakoda A., Ishimorib Y., Hanamotoa K., Kataoka T., Kawabe A., Yamaoka K. Experimental and modeling studies of grain size and moisture content effects on radon emanation // Radiation Measurements. 2010, vol. 45, no. 2, pp. 204—210. DOI: 10.1016/j.radmeas.2010.01.010.

13. Barton T. P., Ziemer P. L. The effects of particle size and moisture content on the emanation of Rn from coal ash // Health Physics. 1986, vol. 50, no. 5, pp. 581—588.

14. Фоменко В. А., Соколов А. А. Разработка экспресс методов эксхалаций радона, для повышения эффективности мониторинга техногенного загрязнения / Степная Евразия — устойчивое развитие. — 2022. — С. 89—90.

15. Шабанов М. В., Маричев М. С., Минкина Т. М., Абдимуталип Н. А. Роль горнообогатительного комбината в образовании техногеохимических аномалий мышьяка в почвах Соймоновской долины (Южный Урал) // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 4. — С. 632—643. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-632-643.

16. Шабанов М. В., Маричев М. С. Оценка трансформации природно-территориальных комплексов при горнопромышленном техногенезе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — № 3. — С. 90—99. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2535.

17. Шабанов М. В., Маричев М. С. Геохимические аномалии тяжелых металлов в почвах природных и антропогенных ландшафтов (на примере Красноуральского промузла) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2022. — Т. 333. — № 6. — С. 230—239. DOI: 10.18799/24131830/2022/6/3545.

18. Шабанов М. В. Сера в геохимически сопряженных ландшафтах Соймоновской долины Челябинской области // Известия УГГУ. — 2021. — № 1(61). — С. 118—126. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-1-118-126.

19. Megumi K., Mamuro T. Emanation and exhalation of radon thoron gases from soil particles // Journal of Geophysical Research. 1974, vol. 79, no. 23, pp. 3357—3360.

20. Morawska L., Phillips C. R. Dependence of the radon emanation coefficient on radium distribution and internal structure of the materials // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1993, vol. 57, pp. 1783—1797.

21. Sasaki T., Gunji Y., Okuda T. Radon emanation dependence on grain configuration // Journal of Nuclear Science and Technology. 2004, vol. 41, no. 10, pp. 993—1002. DOI: 10.1080/18811248.2004.9726322.

22. Кулик Д. П. Мониторинг радиационной безопасности территории Кузбасса / Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая». — Кемерово: КузГТУ, 2019. — С. 10904.
23. Sun H., Furbish D. J. Moisture content effect on radon emanation in porous media // Journal of Contaminant Hydrology. 1995, vol. 18, pp. 239–255.
24. Яковлева В. С., Вуколов А. В. Способ совместного измерения плотности потоков радона и торона с поверхности грунта по альфа-излучению // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2010. — Т. 317. — № 2. — С. 167–170.
25. Яковлева В. С. Анализ методов измерения плотности потока радона и торона с поверхности земли // Аппаратура и новости радиационных измерений. — 2010. — № 3(62). — С. 23–30.
26. Neznal M., Matolín M., Barnet I., Miksova J. The new method for assessing the radon risk of building sites // Czech Geol. Surv. Spec. Pap. 2004, vol. 16.
27. Петров Ю. С., Соколов А. А., Паус Е. В. Математическая модель оценки техногенного ущерба от функционирования горных предприятий // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 4 (42). — С. 554–559. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-554-559.
28. Aimbetova I. O., Koishiyeva G. Z., Aimbetova E. O., Moldagazyyeva Z. I., Myrkheyeva D. N. Heat-insulating products from polymetallic plant waste in the Turkestan region, the republic of Kazakhstan // International Journal of Energy for a Clean Environment. 2023, vol. 24, no. 1, pp. 1–14. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043034.
29. Кондратьев Ю. И., Соколова О. А., Аймбетова И. О., Галачиева С. В. Электрохимическое выщелачивание металлов с добавкой поверхностно-активного вещества под действием инфранизкочастотного тока // Устойчивое развитие горных территорий. — 2021. — Т. 13. — № 4(50). — С. 591–598. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-591-598.
30. Цаболова М. М., Гудиева И. Н., Маковозова З. Э. Возможность использования геометрического моделирования для определения элементов залегания залежей в недрах Земли // Вестник Владикавказского научного центра. 2022. — Т. 22. — № 4. — С. 74–76.
31. Aimbetova I., Kuzmin A., Myrkheyeva D., Aimbetova E., Kalimoldina L. An effect of hydrothermal synthesis time on the specific capacitance of vanadium pentoxide // International Journal of Energy for a Clean Environment. 2023, vol. 24, no. 2, pp. 15–26. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043086.
32. Кумаритов А. М., Соколова Е. А., Соколов А. А. Геоинформационная система мониторинга экологической обстановки в районе внутригородских промышленных объектов // Горный журнал. — 2016. — № 2. — С. 94–96. DOI: 10.17580/gzh.2016.02.18.
33. Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A. Improving the energy efficiency of technological equipment at mining enterprises // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2021, vol. 1258, pp. 262–271, DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_24.
34. Голик В. И., Бурдзиева О. Г. К проблеме разработки потерянных руд Садона (РСО-Алания) // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 370–378. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-370-378.
35. Голик В. И. Перспективное направление восстановления потенциала Садона // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 68–75. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-68-75.
36. Razorenov Yu. I., Klyuev R. V., Guzueva E. R. Technogenic impact on the environment during leaching // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022, vol. 1021, no. 1, article 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012050.
37. Илиаш Н., Дунка Э., Оффенберг Ю., Тешеляну Д., Предойу И. Элементы геоэкологического аудита и учета объектов окружающей среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 3-1. — С. 359–371. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_359. **ГИАБ**

REFERENCES

1. Sokolov A. A. *Osnovy informatsionnogo obespecheniya monitoringa tekhnogennykh tsiklov gorno-metallurgicheskikh predpriyatiy* [Basics of information support of monitoring of technogenic cycles of mining and metallurgical enterprises], Nal'chik, KBNTS RAN, 2020, 170 p.
2. Kolobanov K. A., Filatova M. Yu., Bubnova M. B., Romashkina E. A. Improving valuation of ecosphere pollution from mining waste using mathematical tools. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 4, pp. 85 – 99. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_4_0_85.
3. Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region). *Water, Air, and Soil Pollution.* 2022, vol. 233, no. 1, article 18. DOI: 10.1007/s11270-021-05496-3.
4. Kulikova E. Yu., Sergeeva Ju. A. Conceptual model for minimizing the risk of water pollution in the Kemerovo region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 107 – 118. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-107-118.
5. Kolesnikov S. I., Kazeev K. S., Akimenko Y. V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2019, vol. 191, no. 9, article 544. DOI: 10.1007/s10661-019-7718-3.
6. Abramov B. N. Toxicity assessment of mine tailings ponds in Transbaikalia. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 11, pp. 136 – 145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_11_0_136.
7. Kamnev E. N., Karamushka V. P., Seleznev A. V., Morozov V. N., Hiller A. Ecology of uranium mine closure: problems and solutions (in terms of Russia, CIS countries and Germany). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 5, pp. 26 – 39. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-0-26-39.
8. Kolesnikov S. I., Timoshenko A. N., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V., Myasnikova M. A. Assessment of Ecotoxicity of Copper, Nickel, and Zinc Nanoparticles on the basis of biological indicators of chernozems. *Eurasian Soil Science.* 2019, no. 8, pp. 986 – 992. [In Russ]. DOI: 10.1134/S0032180X19080094.
9. Gruber V., Kabrt F., Kaineder H., Maringer F. J., Ringer W., Seidel C., Wurm G. Indoor radon, geogenic radon surrogates and geology – investigations on their correlation. *Journal of Environmental Radioactivity.* 2016, vol. 166, no. 2, pp. 382 – 389. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.04.028.
10. Kolesnikov S., Tsepina N., Minnikova T., Kazeev K., Mandzhieva S., Sushkova S., Minkina T., Mazarji M., Singh R. K., Rajput V. D. Influence of silver nanoparticles on the biological indicators of haplic chernozem. *Plants.* 2021, vol. 10, no. 5, article 1022. DOI: 10.3390/plants10051022.
11. Sidorova G. P., Avdeev P. B., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V., Manikovskiy P. M. Environmental monitoring in the territories involved in mining and management of coal with high concentration of natural radionuclides. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. 12, pp. 102 – 113. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-102-113.
12. Sakoda A., Ishimori Y., Hanamoto K., Kataoka T., Kawabe A., Yamaoka K. Experimental and modeling studies of grain size and moisture content effects on radon emanation. *Radiation Measurements.* 2010, vol. 45, no. 2, pp. 204 – 210. DOI: 10.1016/j.radmeas.2010.01.010.
13. Barton T. P., Ziemer P. L. The effects of particle size and moisture content on the emanation of Rn from coal ash. *Health Physics.* 1986, vol. 50, no. 5, pp. 581 – 588.
14. Fomenko V. A., Sokolov A. A. Development of express methods of radon exhalations, to improve the effectiveness of monitoring technogenic pollution. *Stepnaya Evraziya – ustoychivoe razvitiye* [Steppe Eurasia – sustainable development], 2022, pp. 89 – 90. [In Russ].
15. Shabanov M. V., Marichev M. S., Minkina T. M., Abdimutalip N. A. The role of the mining and processing enterprise in the formation of techno-geochemical anomalies of arsenic in

the soils of the Soymonovskaya Valley (Southern Urals). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 4, pp. 632 – 643. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-632-643.

16. Shabanov M. V., Marichev M. S. Assessment of the transformation of natural-territorial complexes in mining technogenesis. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2020, vol. 331, no. 3, pp. 90 – 99. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2020/3/2535.

17. Shabanov M. V., Marichev M. S. Geochemical anomalies of heavy metals in soils of natural and anthropogenic landscapes (by the example of Krasnouralsky industrial area). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022, vol. 333, no. 6, pp. 230 – 239. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2022/6/3545.

18. Shabanov M. V. Sulfur in geochemically conjugated landscapes Soimonovskaya valley Chelyabinsk region. *News of the Ural State Mining University*. 2021, no. 1(61), pp. 118 – 126. [In Russ]. DOI: 10.21440/2307-2091-2021-1-118-126.

19. Megumi K., Mamuro T. Emanation and exhalation of radon thoron gases from soil particles. *Journal of Geophysical Research*. 1974, vol. 79, no. 23, pp. 3357 – 3360.

20. Morawska L., Phillips C. R. Dependence of the radon emanation coefficient on radium distribution and internal structure of the materials. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1993, vol. 57, pp. 1783 – 1797.

21. Sasaki T., Gunji Y., Okuda T. Radon emanation dependence on grain configuration. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2004, vol. 41, no. 10, pp. 993 – 1002. DOI: 10.1080/18811248.2004.9726322.

22. Kulik D. P. Monitoring radiatsionnoy bezopasnosti territorii Kuzbassa. *Sbornik materialov XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem «Rossiya molodaya»* [Collection of materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference of young scientists with international participation «Young Russia»], Kemerovo, KuzGTU, 2019, pp. 10904.

23. Sun H., Furbish D. J. Moisture content effect on radon emanation in porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*. 1995, vol. 18, pp. 239 – 255.

24. Yakovleva V. S., Vukolov A. V. Method of joint measurement of density of flows of radon and thoron from the ground surface via alpha radiation. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2010, vol. 317, no. 2, pp. 167 – 170. [In Russ].

25. Yakovleva V. S. Analysis of methods of measurement of radon and thoron flux density from the ground surface. *Apparatura i novosti radiatsionnykh izmereniy*. 2010, no. 3(62), pp. 23 – 30. [In Russ].

26. Neznal M., Matolín M., Barnet I., Miksova J. The new method for assessing the radon risk of building sites. *Czech Geol. Surv. Spec. Pap.* 2004, vol. 16.

27. Petrov Y. S., Sokolov A. A., Raus E. V. A mathematical model for estimating technogenic losses from the operation of mining enterprises. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019, vol. 11, no. 4 (42), pp. 554 – 559. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-4-554-559.

28. Aimbetova I. O., Koishiyeva G. Z., Aimbetova E. O., Moldagazyeva Z. I., Myrkheyeva D. N. Heat-insulating products from polymetallic plant waste in the Turkestan region, the republic of Kazakhstan. *International Journal of Energy for a Clean Environment*. 2023, vol. 24, no. 1, pp. 1 – 14. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043034.

29. Kondratyev Y. I., Sokolova O. A., Aimbetova I. O., Galachieva S. V. Electrochemical metal leaching with added surfactant under the influence of infra-low-frequency current. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2021, vol. 13, no. 4(50), pp. 591 – 598. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-591-598.

30. Tsabolova M. M., Gudieva I. N., Makovozova Z. E. The possibility of using geometric modeling to determine the elements of occurrence of deposits in the bowels of the Earth. *Vestnik of Vladikavkaz scientific centre*. 2022, vol. 22, no. 4, pp. 74 – 76. [In Russ].

31. Aimbetova I., Kuzmin A., Myrkheyeva D., Aimbetova E., Kalimoldina L. An effect of hydrothermal synthesis time on the specific capacitance of vanadium pentoxide. *International Journal of Energy for a Clean Environment*. 2023, vol. 24, no. 2, pp. 15–26. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2022043086.

32. Kumaritov A. M., Sokolova E. A., Sokolov A. A. Geo-information system of ecological monitoring in inner-city industrial areas. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 2, pp. 94–96. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2016.02.18.

33. Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A. Improving the energy efficiency of technological equipment at mining enterprises. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021, vol. 1258, pp. 262–271, DOI: 10.1007/978-3-030-57450-5_24.

34. Golik V. I., Burdzieva O. G. The problem of the lost Sadon ores development (RNO-Alania). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 3, pp. 370–378. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-3-370-378.

35. Golik V. I. Promising direction of Sadon's potential recovery (RNO-Alania). *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 1, pp. 68–75. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-68-75.

36. Razorenov Yu. I., Klyuev R. V., Guzueva E. R. Technogenic impact on the environment during leaching. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022, vol. 1021, no. 1, article 012050. DOI: 10.1088/1755-1315/1021/1/012050.

37. Iliash N., Dunka E., Offenbergl Yu., Teshelyanu D., Predoyu I. Elements of geocological environmental audit and accounting. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 3-1, pp. 359–371. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_31_0_359.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Фоменко Владимир Александрович¹ — канд. техн. наук,
доцент, e-mail: vafomenko@sfedu.ru,
ORCID ID: 0000-0003-4725-3673,

Соколов Андрей Андреевич¹ — канд. техн. наук,
доцент, зав. кафедрой,
e-mail: anso@sfedu.ru,
ORCID ID: 0000-0003-3022-0883,

Мирошников Андрей Сергеевич — канд. техн. наук,
доцент, Северо-Кавказский
горно-металлургический институт
(государственный технологический университет),
e-mail: mirandrey@mail.ru,
ORCID ID: 0009-0008-0815-7156,

Ранджан Ануж — PhD, канд. биол. наук,
ведущий научный сотрудник,
Южный федеральный университет,
e-mail: randzhan@sfedu.ru,
ORCID ID: 0000-0003-2592-9716,

Лукьянов Александр Сергеевич — студент,
Открытый университет экономики,
управления и права,
e-mail: alexandr.luckjanov@yandex.ru,
ORCID ID: 0009-0005-5123-7344,

¹ Филиал Южного федерального университета
в г. Геленджике.

Для контактов: Соколов А.А., e-mail: anso@sfedu.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

V.A. Fomenko¹, Cand. Sci. (Eng.),

Assistant Professor,

e-mail: vafomenko@sfedu.ru,

ORCID ID: 0000-0003-4725-3673,

A.A. Sokolov¹, Cand. Sci. (Eng.),

Assistant Professor, Head of Chair,

e-mail: anso@sfedu.ru,

ORCID ID: 0000-0003-3022-0883,

A.S. Miroshnikov, Cand. Sci. (Eng.),

Assistant Professor, North Caucasian Institute

of Mining and Metallurgy

(State Technological University),

362021, Vladikavkaz, Russia,

e-mail: mirandrey@mail.ru,

ORCID ID: 0009-0008-0815-7156,

Ranjan Anuj, PhD, Cand. Sci. (Biol.),

Leading Researcher, Southern Federal

University, Rostov-on-Don, Russia,

e-mail: randzhan@sfedu.ru,

ORCID ID: 0000-0003-2592-9716,

A.S. Lukyanov, Student,

Open University of Economics,

Management and Law, Moscow, Russia,

e-mail: alexandr.luckjanov@yandex.ru,

ORCID ID: 0009-0005-5123-7344,

¹ Branch of Southern Federal University in Gelendzhik,

Gelendzhik, Russia.

Corresponding author: A.A. Sokolov, e-mail: anso@sfedu.ru.

Получена редакцией 20.04.2023; получена после рецензии 03.05.2023; принята к печати 10.05.2023.

Received by the editors 20.04.2023; received after the review 03.05.2023; accepted for printing 10.05.2023.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Литвиненко А.К.

Материалы по петрографии

Год: 2022

Страниц: 36

ISBN: 978-5-98672-559-8

Учебно-методическое пособие по курсу «Минералогия, петрография и геохимия» содержит общие вопросы петрографии. В нем рассматриваются понятия «горная порода», формы нахождения горных пород в природе, методы исследования, условия образования, внешние и внутренние особенности, некоторые приемы диагностики, практическое использование.