




## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>

### Воздействие техногенного пылевого загрязнения на экосферу и здоровье человека закрытого горного предприятия Приамурья

Н. К. Растанина , К. А. Колобанов *Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия* [n.rastanina@yandex.ru](mailto:n.rastanina@yandex.ru)

#### Аннотация

Проблема защиты окружающей среды представляет собой сложную эколого-экономическую задачу, включающую необходимость разработки и реализации ряда природоохранных мероприятий, обеспечивающих минимизацию негативного влияния отходов горного производства на все природные составляющие и здоровье человека. В связи с этим целью исследования является оценка влияния соединений Pb, Cd, Cr и As на окружающую среду и здоровье населения горняцкого поселка Солнечный. Исходя из цели определены следующие задачи: 1) анализ и систематизация литературных данных по проблеме техногенного пылевого загрязнения; 2) оценка горнопромышленной техногенной системы как источника загрязнения экосистем токсичными элементами в границах влияния закрытых горнорудных предприятий; 3) разработка предложений по снижению влияния горного техногенеза на состояние экосистемы и здоровье человека. В статье изложены результаты исследований по изучению элементного статуса детей и подростков, проживающих в границах влияния закрытого градообразующего предприятия ОАО «Солнечный ГОК». Показана связь изменений в элементном статусе детей с уровнем техногенного загрязнения среды обитания. Особенностью элементного статуса детей в исследуемой группе является высокий показатель содержания тяжелых металлов, в том числе Pb, Cr и мышьяка. Наши исследования подтверждают данные о том, что детский растущий организм активно адсорбирует соединения токсичных химических элементов. Рассчитаны индивидуальные и популяционные канцерогенные риски по As, Pb, Cr. В соответствии с критериями приемлемости риска, обусловленного воздействием загрязняющих веществ, индивидуальный канцерогенный риск  $CR(Cr) = 1,05 \cdot 10^{-3}$  относится к четвертому диапазону и является неприемлемым ни для населения, ни для профессиональных групп. Это De manifestis Risk, и при его достижении необходимо проведение экстренных оздоровительных мероприятий по его снижению. Индивидуальный риск  $CR(As) = 7,05 \cdot 10^{-4}$  превышает приемлемое значение для населения. Данный уровень загрязнения подлежит постоянному контролю, требует разработки и проведения плановых оздоровительных мероприятий по улучшению показателей среды обитания, одним из которых является организация системы экологического мониторинга в исследуемом районе.

#### Ключевые слова

горное дело, экологический мониторинг, отходы, тяжелые металлы, популяционный риск, Приамурье


#### Для цитирования

Rastanina N. K., Kolobanov K. A. Impact of technogenic dust pollution from the closed mining enterprise in the Amur Region on the ecosphere and human health. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(1):16–22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>

## SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Research article

### Impact of technogenic dust pollution from the closed mining enterprise in the Amur Region on the ecosphere and human health

N. K. Rastanina , K. A. Kolobanov *Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation* [n.rastanina@yandex.ru](mailto:n.rastanina@yandex.ru)

#### Abstract

Environmental protection is a complex ecological and economic problem, including the need to develop and implement a number of environmental protection measures to mitigate the negative impact of mining waste on all natural environment components and human health. In this regard, the study purpose was to



assess the impact of Pb, Cd, Cr, and As compounds on the environment and health of the population of the Solnechny miner's village. Based on the purpose, the following tasks were set: 1) review and systematization of literature data on the problem of technogenic dust pollution; 2) assessment of the mining industrial system as a source of ecosystem pollution with toxic elements within the closed mining enterprises impact areas; 3) development of proposals for mitigating the impact of mining activities on ecosystems and human health. The paper presents the findings of the study of the elemental status of children and adolescents living within the closed town-forming enterprise JSC Solnechny GOK impact area. The relationship between the level of technogenic pollution of the natural environment and the changes in the elemental status of the children was shown. A feature of the elemental status of the children in the study group was high content of heavy metals, including Pb, Cr, and As. Our research confirmed the data that a growing child's body actively adsorbs compounds of toxic chemical elements. Deficiency and imbalance of microelements in the body can cause ecologically-related diseases in the child population. Individual and population carcinogenic risks (CR) caused by the As, Pb, and Cr pollution were calculated. In accordance with the acceptance criteria for the risk caused by exposure to the pollutants, the individual carcinogenic risk CR (Cr) =  $1,05 \cdot 10^{-3}$  belongs to the fourth range and is unacceptable neither for the population, nor for occupational groups. This is De manifestis risk, and when it is reached, it is necessary to carry out emergency curative measures to mitigate it. The individual risks CR (As) =  $7,05 \cdot 10^{-4}$  also exceed the acceptable level for the population. This level of pollution is subject to permanent monitoring, requires development and implementation of planned curative measures to improve the indicators of the human environment, one of which is the organization of the environmental monitoring system in the study area.

### Key words

mining, environmental monitoring, waste, heavy metal, compounds, population risk, Amur Region

### For citation

Rastanina N. K., Kolobanov K. A. Impact of technogenic dust pollution from the closed mining enterprise in the Amur Region on the ecosphere and human health. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(1):16–22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>

## Введение

Многолетний опыт исследований российских и зарубежных ученых свидетельствует о негативном воздействии горно-обогатительных комбинатов, как действующих, так и закрытых [1–4], на объекты окружающей среды и человека. Загрязнение окружающей среды соединениями тяжелых металлов (Cr, Cd, Pb и As) в горнодобывающих районах, где существуют и горная промышленность, и сельское хозяйство, вызывает серьезную обеспокоенность во всем мире [5–16]. Исследования зарубежных ученых в Южной Африке, Мексике, Китае показали высокие уровни загрязнения металлами почв, сельскохозяйственных растений и микробного сообщества [5–9]. Xu Zhang et al., проанализировав особенности миграции Fe, Mn, Cr, Pb, подчеркнули высокий уровень содержания данных элементов в почвах, растениях, отмечая их высокую фитотоксичность, значительное ухудшение при этом качества воды. Биодоступные формы тяжелых металлов вызывают большие экологические риски, угрожая в конечном итоге здоровью человека [8]. Karaca O. и др. отмечают, что загрязнение тяжелыми металлами может повлиять на биоразнообразие и экономическое благосостояние региона исследований [6]. Ying-Nan Huang et al. отмечают, что дети более чувствительны, чем взрослые, к воздействию металлов Cd и Cr, что отражено в значениях HI и CR, превышающих допустимый уровень [5, 9].

За последнее время в Дальневосточном федеральном округе (ДФО), в том числе в Приамурье, были закрыты горнодобывающие предприятия, в том числе оловорудные, что привело к серьезным экологическим проблемам. Так, закрытый ныне «Солнечный

ГОК» долгие годы являлся одним из крупнейших горнопромышленных предприятий Дальнего Востока. Оловорудное месторождение в центральной части Хабаровского края обрабатывалось в течение десятиков лет, начиная с середины прошлого века. После прекращения добычи и закрытия горнодобывающего предприятия негативное воздействие на окружающую среду и прилегающую территорию может продолжаться в течение длительного времени. К основным видам такого воздействия относятся разрушение ландшафта и почвенно-растительного покрова, изменение состояния и состава подземных и поверхностных вод, уменьшение биоразнообразия, выход опасных веществ на дневную поверхность.

В настоящее время возникла необходимость организации комплексного экологического мониторинга изменения экосистем, а также прогноза влияния техногенных объектов для разработки мероприятий, направленных на снижение негативных последствий, вызванных многолетней горнопромышленной деятельностью горных предприятий, и устранение накопленного вреда окружающей среде (отходов переработки минерального сырья) в оловодобывающих районах Дальнего Востока, в том числе в Приамурье. В связи с этим целью исследования явилась оценка влияния соединений Pb, Cd, Cr и As на окружающую среду и здоровье населения горняцкого поселка Солнечный для обеспечения экологической безопасности. Исходя из цели определены следующие задачи: 1) анализ и систематизация литературных данных по проблеме техногенного пылевого загрязнения; 2) оценка горнопромышленной техногенной системы как источника загрязнения экосистем соединениями



токсичных элементов в границах влияния закрытых горнорудных предприятий; 3) разработка предложений по снижению влияния горного техногенеза на состояние экосистемы и здоровье человека.

### Объекты и методы исследования

Объектами являются природно-горнопромышленные системы, сформировавшиеся в прошлом веке благодаря деятельности Солнечного горно-обогатительного комбината. Потенциальным источником техногенного загрязнения являются отходы переработки оловорудного сырья. Для количественного анализа состава проб (отходов переработки оловорудного сырья, почв, растительности, биологического материала) был использован метод атомно-абсорбционного анализа по методике измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с источником ионов в виде индуктивно связанной аргоновой плазмы. На масс-спектрометре (ICP-MS Elan 9000, Канада) определялось количественное содержание соединений тяжелых металлов и мышьяка [17]. Согласно руководству по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [18], для определения величин популяционных канцерогенных рисков ( $PCR$ ), отражающих дополнительное число случаев злокачественных новообразований, способных возникнуть на протяжении жизни вследствие воздействия исследуемого фактора, проводится расчет по формуле

$$PCR = CR \cdot POP, \quad (1)$$

где  $CR$  – индивидуальный канцерогенный риск,  $POP$  – численность исследуемой популяции, чел.

Расчет дополнительной вероятности развития онкологического заболевания у индивидуума на протяжении всей жизни ( $CR$ ) выполнен по формуле

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (2)$$

где  $LADD$  – среднесуточная доза поступления элемента в течение жизни, мг/(кг · день);  $SF$  – фактор канцерогенного потенциала, (кг · день)/мг.

Среднесуточная доза поступления элемента в организм человека в течение жизни рассчитывается по формуле

$$LADD = \frac{((Ca \cdot Tout \cdot Vout) + (Ch \cdot Tin \cdot Vin)) \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT \cdot 365}, \quad (3)$$

где  $Ca$  – концентрация вещества в атмосферном воздухе, мг/м<sup>3</sup>;  $Tout$  – время, проводимое вне помещения, ч/день;  $Vout$  – скорость дыхания вне помещения, м<sup>3</sup>/ч;  $Ch$  – концентрация вещества в воздухе помещения, мг/м<sup>3</sup>;  $Tin$  – время, проводимое внутри помещения, ч/день;  $Vin$  – скорость дыхания внутри помещения, м<sup>3</sup>/ч;  $EF$  – частота воздействия, дней/год;  $ED$  – продолжительность воздействия, лет;  $BW$  – масса тела человека, кг;  $AT$  – период усреднения экспозиции, лет.

### Результаты и обсуждение

Специфика добычи и обогащения оловянной руды на исследуемом горном предприятии заключалась в извлечении и переработке огромного объема горной массы, использовалась лишь небольшая часть,

а остальная накапливалась в виде техногенных отходов, так называемых хвостов, размещенных в специальном сооружении – хвостохранилище. Этот гидротехнический объект был спроектирован и введен в действие в 1969 г. В процессе добычи руды произошло формирование новых, не свойственных данной территории техногенных форм. За время деятельности ГОКа в нем накоплено около 16 млн м<sup>3</sup> отходов [1]. В 2001 г. в результате прекращения деятельности предприятия хвостохранилище центральной обогатительной фабрики Солнечного ГОКа было осушено, но его поверхность, вопреки законодательству РФ, согласно которому недропользователь обязан провести консервацию техногенного объекта, не была своевременно рекультивирована.

Миграция химических элементов и их соединений в результате сложных физико-химических процессов преобразования минералов, содержащихся в отходах, происходящая в приповерхностной части литосферы, в условиях повышенной аэрации является одной из основных причин экологического загрязнения экосферы. В настоящее время хвостохранилище закрытого Солнечного ГОКа является мощным источником пылевыделения, интенсивного техногенного загрязнения токсичными элементами объектов окружающей среды [2, 3]. На поверхности и в толще хвостов, особенно в засушливое время, появляются налеты, тонкие корочки и пленки техногенных минералов из классов сульфатов, карбонатов, силикатов, арсенатов и др. [1]. В результате процесса гипергенеза и техногенеза в отходах горнорудного производства формируются высокоминерализованные растворы, содержащие большое количество соединений тяжелых металлов [4]. Они попадают в поверхностные, грунтовые воды и разносятся на большие расстояния, загрязняя компоненты среды [3, 4].

На современном этапе недостаточно изучена роль техногенного загрязнения в формировании экологической обусловленности ряда заболеваний человека. Необходимо отметить, что горняцкий поселок Солнечный расположен в 3 км от данного хвостохранилища. Население проживает в условиях постоянного превышения нормативных показателей содержания загрязняющих веществ, в том числе в атмосферном воздухе [3, 4].

Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что детское население более чувствительно к влиянию неблагоприятных факторов окружающей среды [5, 9, 10].

Исследования в области влияния оловорудной промышленности на природные компоненты свидетельствуют о том, что проблема загрязнения экосферы является одной из самых актуальных, особенно в границах влияния закрытых горных предприятий Дальневосточного федерального округа. Вопросы защиты окружающей среды представляют сложную эколого-экономическую задачу, включающую необходимость разработки и реализации ряда природоохранных мероприятий, обеспечивающих минимизацию негативного влияния отходов горного производства на все природные составляющие и человека [4], в том





числе организация экологического мониторинга. Он направлен на решение задач, обозначенных в ФЗ № 7 «Об охране окружающей среды» [19]. В соответствии с ФЗ № 7 цели экологического мониторинга включают: 1) наблюдение за состоянием окружающей среды, в том числе в районах расположения источников антропогенного воздействия; 2) наблюдение за воздействием антропогенных источников на окружающую среду; 3) обеспечение потребностей государства, юридических и физических лиц достоверной информацией, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменения состояния окружающей среды. В связи с этим существует необходимость создания и развития системы экологического мониторинга в исследуемом районе.

В рамках экологического мониторинга в результате многолетних исследований проводилось определение химического содержания соединений тяжелых металлов в отходах обогащения, почвах, растительности, снежном покрове, биологическом материале человека (волосах). Так, анализ минерального состава отходов подтверждает наличие в них высокого содержания соединений тяжелых металлов, в том числе наиболее опасных. В соответствии с имеющимися на сегодняшний день классификациями к ним относятся и такие элементы, как хром (Cr), мышьяк (As), кадмий (Cd) и свинец (Pb). Из тела техногенного объекта в воздушный бассейн выделяется около его поверхности значительное количество газов. Загрязнение воздушного бассейна здесь можно отнести к экстремально высокому. Концентрация аэрозолей оказалась выше фоновой в 80 раз. Средневзвешенные концентрации соединений тяжелых металлов в снежном покрове в зимние сезоны оказались следующими (мг/дм<sup>3</sup>): Pb – 0,001; Cd – 0,002; Cr – 0,001.

Установлено превышение ПДК в почвах и растительности для соединений As, Cr, Pb. Кроме того, почвенный покров является депономом техногенного загрязнения. Почвы медленно реагируют на изменения в окружающей среде, однако фиксируют и аккумулируют токсичные элементы. В границах влияния хвостохранилища зафиксировано накопление растениями соединений Pb и Cr, Cd преимущественно в листьях и корнях растений.

Обследование образцов волос у детей от 3 до 14 лет горняцкого поселка Солнечный на содержание соединений химических элементов (As, Cr, Cd, Pb) свидетельствует о том, что в исследуемой группе детей отмечены следующие региональные особенности элементного статуса:

- у девочек наблюдается превышение по содержанию Cr в 3,5, Pb в 2,61 раза соответственно в сравнении с данными по России [20]. В порядке возрастания кратности превышения для данных элементов можно сказать, что кратность превышения содержания Pb < Cr. Не превышает средние показатели по России содержание элементов As (0,015 мг/кг), Cd (0,103 мг/кг);

- у мальчиков наблюдается превышение по содержанию только Cr в 1,54 раза. Не превышает средние показатели содержание элементов As (0,015 мг/кг) и Cd (0,103 мг/кг).

Особенностью элементного статуса детей в исследуемой группе являются высокие показатели содержания соединений тяжелых металлов Pb, Cr и As. Наши исследования подтверждают данные о том, что детский растущий организм активно адсорбирует токсичные элементы [21–24].

При анализе воздействия соединений элементов (As, Cr, Pb) как канцерогенных факторов при ингаляционном попадании в организм человека [18] в поселке Солнечный получили следующие данные по величине индивидуального и популяционного риска (табл. 1).

Таблица 1

Популяционные и индивидуальные канцерогенные риски для населения п. Солнечный

Элемент	Содержание в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	SF, (мг/(кг · ч день)) <sup>-1</sup>	LADD, мг/кг день	CR	PCR
As	0,0032	15	$4,7 \cdot 10^{-5}$	$7,05 \cdot 10^{-4}$	9
Cr	0,0017	42	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$1,05 \cdot 10^{-3}$	12
Pb	0,0028	0,042	$4,2 \cdot 10^{-5}$	$1,76 \cdot 10^{-6}$	< 1

В соответствии с критериями приемлемости риска, обусловленного воздействием загрязняющих веществ, индивидуальный канцерогенный риск по хрому  $CR = 1,05 \cdot 10^{-3}$  относится к четвертому диапазону (индивидуальный риск в течение всей жизни, равный или более  $1 \cdot 10^{-3}$ ), он неприемлем ни для населения, ни для профессиональных групп. Данный диапазон обозначается как De manifestis Risk, и при его достижении необходимо давать рекомендации для лиц, принимающих решения, о проведении экстренных оздоровительных мероприятий по снижению риска [18]. По мышьяку значение популяционного риска ( $CR = 7,05 \cdot 10^{-4}$ ) превышает приемлемое значение для населения. По соединениям свинца индивидуальный канцерогенный риск является допустимым ( $CR = 1,76 \cdot 10^{-6}$ ). Для снижения негативного влияния на экосферу хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы, предложены технологические решения, новизна которых подтверждена патентами РФ (2017, 2019) [25, 26].

### Заключение

Результаты исследования свидетельствуют о том, что состояние окружающей среды в границах закрытого оловорудного предприятия Солнечный ГОК в Приамурье оценивается как критическое.

Улучшение состояния сложившейся ситуации в границах влияния закрытого оловорудного предприятия возможно при формировании центра экологического мониторинга в районе исследования, основной задачей которого является обеспечение комплексного подхода к контролю содержания токсичных элементов в компонентах биосферы; организация эффективной системы сбора, обработки и передачи результатов мониторинга, а также прогноза. Созданы новые методы, направленные на обеспечение экологической безопасности отходов переработки минерального сырья, новизна которых подтверждена патентами (2017, 2019) [25, 26].



## Список литературы

1. Зверева В. П., Костина А. М., Коваль О. В. Техногенное минералообразование как показатель экологического состояния оловорудных районов Дальнего Востока. *Горный журнал*. 2009;(4):41–43.
2. Khanchuk A. I., Krupskaya L. T., Zvereva V. P. Ecological problems of development of tin ore resources in Primorie and Priamurie. *Geography and Natural Resources*. 2012;33(1):46–50. <https://doi.org/10.1134/S1875372812010076>
3. Крупская Л. Т., Грехнев Н. И., Новороцкая А. Г., Уткина Е. В., Крупский А. В., Растанина Н. К. Особенности миграции токсичных химических элементов в компонентах природной среды в зоне влияния хвостохранилища ЦОФ ОАО «Солнечный ГОК». *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2010;(S4):349–361.
4. Новороцкая А. Г., Крупская Л. Т., Грехнев Н. И., Яковенко Г. П. О результатах экологического мониторинга воздушной среды на горных объектах Солнечного ГОКа. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2007;(S15):248–258.
5. Ngole-Jeme V. M., Fantke P. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil. *PLoS ONE*. 2017;12(2):e0172517. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172517>
6. Karaca O., Cameselle C., Reddy K. R. Mine tailing disposal sites: contamination problems, remedial options and phytocaps for sustainable remediation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2018;(17):205–228. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9453-y>
7. Martínez-Toledo Á., Montes-Rocha A., González-Mille D.J. et al. Evaluation of enzyme activities in long-term polluted soils with mine tailing deposits of San Luis Potosí, México. *Journal of Soils and Sediments*. 2017;(17):364–375. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1529-8>
8. Xu Zhang, Huanhuan Yang, Zhaojie Cui. Migration and speciation of heavy metal in salinized mine tailings affected by iron mining. *Water Science & Technology*. 2017;76(7):1867–1874. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.369>
9. Ying-Nan Huang, Fei Dang, Min Li, Dong-Mei Zhou, Yue Song, Jia-Bin Wang. Environmental and human health risks from metal exposures nearby a Pb-Zn-Ag mine, China. *Science of The Total Environment*. 2020;698:134326. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134326>
10. Kehui Liu, Liuqun Fan, Yi Li, Zhengming Zhou, Chaoshu Chen, Bin Chen, Fangming Yu Concentrations and health risks of heavy metals in soils and crops around the Pingle manganese (Mn) mine area in Guangxi Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(30):30180–30190. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2997-8>
11. Lingli Zhou, Bing Yang, Nandong Xue, Fasheng Li, Hans Martin Seip, Xin Cong, Yunzhong Yan, Bo Liu, Baolu Han, Huiying Li Ecological risks and potential sources of heavy metals in agricultural soils from Huanghuai Plain, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(2):1360–1369. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2023-0>
12. Reza Ali Fallahzadeh, Mohammad Taghi Ghaneian, Mohammad Miri, Mohamad Mehdi Dashti Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(32):24790–24802. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0102-3>
13. Nesta Bortey-Sam, Shouta M. M. Nakayama, Yoshinori Ikenaka, Osei Akoto, Elvis Baidoo, Hazuki Mizukawa, Mayumi Ishizuka Health risk assessment of heavy metals and metalloid in drinking water from communities near gold mines in Tarkwa, Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015;187(7):397. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4630-3>
14. Srivastava A., Siddiqui N.A., Koshe R.K., Singh V.K. Human Health Effects Emanating from Airborne Heavy Metals Due to Natural and Anthropogenic Activities: A Review In: Siddiqui N., Tauseef S., Bansal K. (eds). *Advances in Health and Environment Safety. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering*; 2017. P. 279–296. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7122-5\\_29](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7122-5_29)
15. Zhu S., Pickles J., He C. Going Green or Going Away: Environmental Regulation, Economic Geography and Firms' Strategies in China's Pollution-Intensive Industries. In: *Geographical Dynamics and Firm Spatial Strategy in China*. Springer Geography. Springer, Berlin, Heidelberg; 2017. P. 169–197. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53601-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53601-8_8)
16. Musilova J., Arvay J., Vollmannova A. et al. Environmental Contamination by Heavy Metals in Region with Previous Mining Activity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2016;97(4):569–575. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1907-3>
17. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М.; 1998. 30 с.
18. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России; 2004. 143 с.
19. ФЗ РФ от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об охране окружающей среды».
20. Скальный А. В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС. *Микроэлементы в медицине*. 2003;4(1):55–56.



21. Ревич Б. А., Авалиани С. Л., Тихонова Г. И. *Окружающая среда и здоровье населения: Региональная экологическая политика*. М.: ЦЭПР; 2003. 149 с.
22. Вельтищев Ю. Е. Фокеева В. В. *Экология и здоровье детей. Химическая экотология*. М.: Моск. НИИ педиатрии и дет. хирургии; 1996. 57 с.
23. Растанина Н. К., Крупская Л. Т. О роли экологических факторов в изучении здоровья населения горняцких поселков на юге Дальнего Востока. *Экология и промышленность России*. 2008;(12):56–57.
24. Крупская Л. Т., Растанина Н. К. Оценка риска для здоровья населения, связанного с загрязнением атмосферного воздуха в районе хвостохранилища ЦОФ Солнечного ГОКа. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2007;(S15):318–323.
25. Андроханов В. А., Крупская Л. Т., Беланов И. П. *Способ закрепления поверхности хвостохранилища*. Заявка № 20161500344 от 20.12.2016. РФ, опубл. 21.08.2017, бюл. 24. МПК В0 9С 1/08.
26. Крупская Л. Т., Ищенко Е. А., Голубев Д. А., Колобанов К. А., Растанина Н. К. Патент РФ № 2707030 от 21.11.2019. *Состав для снижения пылевой нагрузки на экосферу и рекультивации поверхности хвостохранилища*. Заявка № 2019114495 от 13.05.2019.

## References

1. Zvereva V. P., Kostina A. M., Koval O. V. Technogenic mineral formation as an indicator of ecological condition of tin ore producing districts of the Far East. *Gornyi Zhurnal*. 2009;(4):41–43. (In Russ.).
2. Khanchuk A. I., Krupskaya L. T., Zvereva V. P. Ecological problems of development of tin ore resources in Primorie and Priamurie. *Geography and Natural Resources*. 2012;33(1):46–50. <https://doi.org/10.1134/S1875372812010076>
3. Krupskaya L. T., Grekhnev N. I., Novorotskaya A. G., Utkina E. V., Krupskiy A. V., Rastanina N. K. Features of the migration of toxic chemical elements in the natural environment components within the impact area of the JSC Solnechny GOK Central Processing Plant's tailings storage facility. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2010;(S4):349–361. (In Russ.).
4. Novorotskaya A. G., Krupskaya L. T., Grekhnev N. I., Yakovenko G. P. On the results of environmental monitoring of the air at the Solnechny GOK mining facilities. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2007;(S15):248–258. (In Russ.).
5. Ngole-Jeme V. M., Fantke P. Ecological and human health risks associated with abandoned gold mine tailings contaminated soil. *PLoS ONE*. 2017;12(2):e0172517. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172517>
6. Karaca O., Cameselle C., Reddy K. R. Mine tailing disposal sites: contamination problems, remedial options and phytocaps for sustainable remediation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2018;(17):205–228. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9453-y>
7. Martínez-Toledo Á., Montes-Rocha A., González-Mille D.J. et al. Evaluation of enzyme activities in long-term polluted soils with mine tailing deposits of San Luis Potosí, México. *Journal of Soils and Sediments*. 2017;(17):364–375. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1529-8>
8. Xu Zhang, Huanhuan Yang, Zhaojie Cui. Migration and speciation of heavy metal in salinized mine tailings affected by iron mining. *Water Science & Technology*. 2017;76(7):1867–1874. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.369>
9. Ying-Nan Huang, Fei Dang, Min Li, Dong-Mei Zhou, Yue Song, Jia-Bin Wang. Environmental and human health risks from metal exposures nearby a Pb-Zn-Ag mine, China. *Science of The Total Environment*. 2020;698:134326. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134326>
10. Kehui Liu, Liuqun Fan, Yi Li, Zhengming Zhou, Chaoshu Chen, Bin Chen, Fangming Yu Concentrations and health risks of heavy metals in soils and crops around the Pingle manganese (Mn) mine area in Guangxi Province, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(30):30180–30190. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2997-8>
11. Lingli Zhou, Bing Yang, Nandong Xue, Fasheng Li, Hans Martin Seip, Xin Cong, Yunzhong Yan, Bo Liu, Baolu Han, Huiying Li Ecological risks and potential sources of heavy metals in agricultural soils from Huanghuai Plain, China. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014;21(2):1360–1369. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2023-0>
12. Reza Ali Fallahzadeh, Mohammad Taghi Ghaneian, Mohammad Miri, Mohamad Mehdi Dashti Spatial analysis and health risk assessment of heavy metals concentration in drinking water resources. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(32):24790–24802. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0102-3>
13. Nesta Bortey-Sam, Shouta M. M. Nakayama, Yoshinori Ikenaka, Osei Akoto, Elvis Baidoo, Hazuki Mizukawa, Mayumi Ishizuka Health risk assessment of heavy metals and metalloid in drinking water from communities near gold mines in Tarkwa, Ghana. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015;187(7):397. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4630-3>
14. Srivastava A., Siddiqui N.A., Koshe R.K., Singh V.K. Human Health Effects Emanating from Airborne Heavy Metals Due to Natural and Anthropogenic Activities: A Review In: Siddiqui N., Tauseef S., Bansal K. (eds). *Advances in Health and Environment Safety*. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering; 2017, pp. 279–296. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7122-5\\_29](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7122-5_29)





15. Zhu S., Pickles J., He C. Going Green or Going Away: Environmental Regulation, Economic Geography and Firms' Strategies in China's Pollution-Intensive Industries. In: *Geographical Dynamics and Firm Spatial Strategy in China*. Springer Geography. Springer, Berlin, Heidelberg; 2017, pp. 169–197. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-53601-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-53601-8_8)
16. Musilova J., Arvay J., Vollmannova A. et al. Environmental Contamination by Heavy Metals in Region with Previous Mining Activity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2016;97(4):569–575. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1907-3>
17. PND F 16.1:2.3:3.11–98. *Quantitative chemical analysis of soils. Techniques for measuring the content of metals in solid objects by spectrometry with inductively coupled plasma*. Moscow; 1998. 30 p. (In Russ.).
18. *Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to natural environment polluting chemicals*. Moscow: Federal Center of State Sanitary and Epidemiological Control under the Ministry of Health of Russia; 2004. 143 p. (In Russ.).
19. Federal Law of the Russian Federation dated 10.01.2002 No. 7-FZ (as amended on 27.12.2019) "On environmental protection". (In Russ.).
20. Skalny A.V. Reference values of concentrations of chemical elements in hair, obtained by ICP-AES method. *Trace Elements in Medicine (Moscow)*. 2003;4(1):55–56 (In Russ.).
21. Revich B.A., Avaliani S.L., Tikhonova G.I. *Environment and public health: Regional environmental policy*. Moscow: TsEPR Publ.; 2003. 149 p. (In Russ.).
22. Veltischev Yu E., Fokeeva V. V. *Environment and child health. Chemical ecopathology*. Moscow: Moscow Research Institute of Pediatrics and Pediatric Surgery Publ.; 1996. 57 p. (In Russ.).
23. Rastanina N. K., Krupskaya L. T. On the role of environmental factors in the health of the population of miners' settlements in the south of the Far East. *Ecology and Industry of Russia*. 2008;(12):56–57. (In Russ.).
24. Krupskaya L. T., Rastanina N. K. Krupskaya L. T., Rastanina N.K. Assessment of the public health risk due to air pollution in the vicinity of the Solnechny GOK Central Processing Plant TSF. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2007;(S15):318–323. (In Russ.).
25. Androkhov V. A., Krupskaya L. T., Belanov I. P. *Method for covering surface of tailings impoundments with inert materials*. Application No. 20161500344 dated 20.12.2016. RF, publ. 08.21.2017, bulletin 24. IPC B09S 1/08. (In Russ.).
26. Krupskaya L. T., Ishchenko E. A., Golubev D.A., Kolobanov N.K., Rastanina N.K. RF Patent No. 2707030 dated 21.11.2019. *Composition for reduction of dust load on ecosystem and reclamation of tailings dam surface*. Application No. 2019114495 dated 13.05.2019. (In Russ.).

### Информация об авторах

**Наталья Константиновна Растанина** – к.б.н., доцент, кафедра химии и химических технологий, Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия; Scopus ID: [56857552500](#); e-mail: [n.rastanina@yandex.ru](mailto:n.rastanina@yandex.ru)

**Константин Александрович Колобанов** – Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия; Scopus ID: [57211208606](#)

### Information about the authors

**Natalia K. Rastanina** – Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof., Department of Chemistry and Chemical Technology, Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation; Scopus ID: [56857552500](#); e-mail: [n.rastanina@yandex.ru](mailto:n.rastanina@yandex.ru)

**Konstantin A. Kolobanov** – Pacific State University, Khabarovsk, Russian Federation; Scopus ID: [57211208606](#)

Поступила в редакцию 23.05.2020

Поступила после рецензирования 12.09.2020

Принята к публикации 05.02.2021

Received 23.05.2020

Revised 12.09.2020

Accepted 05.02.2021