

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ ЗОЛОТОДОБЫЧИ (ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЙ)

М.Ю. Филатова¹, Л.Т. Крупская¹, М.Б. Бубнова², А.В. Леоненко²

¹ Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства («ДальНИИЛХ»),
Хабаровск, Россия, e-mail: filatovamariya@mail.ru

² Институт горного дела ДВО РАН (ХФИЦ ДВО РАН), Хабаровск, Россия

Аннотация: Представлены результаты многолетних исследований актуальной проблемы оценки негативного влияния ликвидированного предприятия россыпной золотодобычи в Хабаровском крае и разработки мероприятий, направленных на охрану окружающей среды. В связи со слабой изученностью проблемы воздействия последствий процессов россыпной золотодобычи на экосферу целью работы явилось определение степени их экологической опасности и обоснование способов обеспечения благоприятных условий среды обитания путем рекультивации для последующего создания лесных плантаций. Использован следующий комплекс методов: патентного поиска, ГИС-технологий, дистанционного зондирования Земли и др. Выявлены закономерности миграции соединений тяжелых металлов, связанные с химическими процессами: окисление сульфидов и накопление их в компонентах природной среды. Уровень загрязнения атмосферного воздуха от отходов переработки золотороссыпных месторождений высокий; концентрация соединений мышьяка и свинца превышала показатели предельно допустимых концентраций до 100 и более раз. Превышение в снежном покрове для ионов Zn и Hg составило от 2 до 10 и более раз, а в поверхностных водотоках и грунтовых водах – от 1,5 до 19 раз. Выявлено, что экологическая ситуация в районе исследования неблагоприятна и содействует росту эколого-обусловленных заболеваний. Содержание соединений тяжелых металлов в биологическом материале детей оказалось выше в 1,5 и более раз по сравнению с другими регионами России. В результате проведения экспериментальных исследований в оранжерее и производственных условиях (на полигоне «Кербинского прииска») созданы различные способы экологической реабилитации и рекультивации техногенно загрязненных земель с использованием биоремедиации, новизна которых подтверждена Патентами РФ. Проведенные исследования позволили обосновать возможность и необходимость создания на рекультивированных участках целевых лесных плантаций древесного и недревесного ресурсного назначения.

Ключевые слова: экологическая ситуация, ликвидированное золотодобывающее предприятие, оценка, реабилитация, техногенное загрязнение, охрана окружающей среды, биоремедиация, экологические обусловленные заболевания, лесные плантации, рекультивация.

Для цитирования: Филатова М. Ю., Крупская Л. Т., Бубнова М. Б., Леоненко А. В. Оценка экологической ситуации в границах влияния золотодобычи (для обоснования создания лесных плантаций) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 8. – С. 27–44. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_8_0_27.

Evaluation of ecological conditions in the influence zone of gold mining (manmade forest justification)

M.Yu. Filatova¹, L.T. Krupskaya¹, M.B. Bubnova², A.V. Leonenko²

¹ Far Eastern Research Institute of Forestry, Khabarovsk, Russia, e-mail: filatovamariya@mail.ru

² Mining Institute, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
(Khabarovsk Federal Research Center FEB RAS), Khabarovsk, Russia

Abstract: The article describes the long-term research connected with the topical evaluation of impact exerted by a closed gold placer mine in the Khabarovsk Krai, and with the development of the appropriate environmental activities. In view of the unexplored effects of gold placer mining on the ecosphere, the research aimed at rating of ecological hazards and at justification of methods to ensure favorable environmental conditions by means of reclamation and subsequent creation of manmade forests. The package of the research techniques included: the patent search, GIS technologies, remote sensing, etc. The migration patterns of heavy metals and their compounds are revealed in association with chemical processes: oxidation of sulphides and their accumulation in natural components. The air pollution with waste of gold placer mining is extremely high; the concentrations of arsenic and lead compounds exceed the maximum allowable concentrations by 100 times and more. The exceedance of concentrations of Zn and Hg ions is from 2 to 10 time and more in snow cover and from 1.5 to 19 times in surface and ground water. The ecological conditions in the test region are adverse and promote increasing environmentally induced diseases. The content of heavy metal compounds in children's biological materials is 1.5 times and more higher than in the other regions in Russia. As a result of the experimental research in green houses and at a full scale (test ground of Kerbinka Placer Mine), different methods of environmental rehabilitation and reclamation are developed for the polluted land, including bioremediation, and are confirmed and protected by patents of the Russian Federation. The accomplished research made it possible to validate the necessity and feasibility of creation of manmade forests for wood and non-wood production on the reclaimed land.

Key words: ecological condition, closed gold mine, evaluation, rehabilitation, induced pollution, environmental protection, bioremediation, environmentally induced diseases, manmade forest, reclamation.

For citation: Filatova M. Yu., Krupskaya L. T., Bubnova M. B., Leonenko A. V. Evaluation of ecological conditions in the influence zone of gold mining (manmade forest justification). *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(8):27-44. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_8_0_27.

Введение

В настоящее время одной из основных стала проблема удержания баланса между возможностями природной среды удовлетворять потребности человека и необходимостью обеспечения его экологической безопасности. Интенсивное освоение минерального сырья на севере Хабаровского края Дальневосточного

федерального округа (ДФО), начиная с прошлого столетия, привело к разрушению естественных ландшафтов и образованию новых природно-горнопромышленных техногенных систем, которые оказывают масштабное отрицательное влияние на состояние экосферы. Происходит техногенное загрязнение компонентов природной среды выбросами ток-

сичных веществ в атмосферу, водные объекты, накопление их в почве, растениях и живых организмах, включая человека. Возникшая негативная экологическая ситуация не только способствует снижению качества жизни человека, но и приводит к формированию экологически обусловленных заболеваний. Поэтому несомненный интерес представляет изучение воздействия природно-горно-промышленных техногенных систем на экосферу в границах влияния как действующего, так и ликвидированного золотороссыпного горного предприятия «Кербинский прииск».

Исследование влияния выбросов тяжелых металлов, вызванное переработкой минеральных ресурсов, проводилось Луисой Еленой Иатан [1]. Она утверждает, что золотодобывающая промышленность является постоянным источником загрязнения тяжелыми металлами во время эксплуатации и в течение многих десятилетий после прекращения добычи. Хвосты золотодобывающих рудников содержат высокие уровни токсичных соединений, таких как Cu, Pb, Zn, Cd, As и Hg, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду. Автором предложена для очистки промышленно загрязненных территорий технология фиторемедиации.

В статье Сабах Ахмед Абдул-Шахаб с соавторами [2] представлены результаты исследования оценки влияния процессов золотодобычи предприятием Омана на окружающую среду. Собранные пробы компонентов биосферы и отходов были проанализированы на содержание 13 соединений тяжелых металлов: V, Cr, Mn, Ni, Cu, Cd, Co, Pb, Zn, Al, Sr, Fe и Ba. Значения концентраций превышали допустимые нормы Омана и ВОЗ. Исследованные образцы растительного покрова показали, что некоторые токсичные элементы иммобилизуются растениями.

В своей статье Хамилтон Феррейра де Соуза Нето с соавторами [3] определены риски воздействия соединений мышьяка для окружающей среды и здоровья человека в районах золотодобычи в восточной части Амазонки. Были отобраны образцы почв и отходов хвостохранилищ, определены общая концентрация, индексы загрязнения и риск для здоровья человека. Выявлено, что концентрация соединений As очень высокая во всех пробах и достигает $10\,000\text{ мгкг}^{-1}$, что намного превышает предельные показатели, установленные в Бразилии. Коэффициент неканцерогенного риска для здоровья детей и взрослых составляет 17,8, что значительно превышает допустимый предел — 1,0. Результаты показывают, что исследуемая территория сильно загрязнена в результате добычи золота, что ставит под угрозу окружающую среду и здоровье населения.

Муибат Омотола Фашола с соавторами [4] исследовали влияние добычи россыпного золота и отходов его переработки, содержащих соединения тяжелых металлов на среду обитания. Выявлено, что бактерии, обнаруженные авторами в окружающей среде в результате различных биохимических, физиологических и / или генетических механизмов, способны противостоять высоким концентрациям этих соединений тяжелых металлов. Доказана роль биоремедиации в очистке участков, загрязненных соединениями тяжелых металлов.

Энна Тсуи [5] утверждает, что добыча золота вызывает подкисление воды, способствует развитию эрозии почвы и деградации местных экосистем. Внедрение современных технологий с низким уровнем воздействия и более экологичного оборудования может со временем сделать отрасль более экологичной. Например, некоторые горнодобывающие компании экспериментируют с передовыми схемами восстановления земель

с использованием биосолитов — богатых питательными веществами органических веществ, полученных в процессе очистки сточных вод, которые часто используются в качестве кондиционеров почвы в сельском хозяйстве. Предполагается, что данная технология позволит восстановить растительность на нарушенных золотодобычей участках добычи полезных ископаемых всего за 12 недель.

Анца-Иулиа Стоица и др. [6] изучили территорию добычи золота в Рошиа Монтане, расположенной в горах Апушень, в западно-центральной части Румынии. Выявлено, что горнодобывающая деятельность в районе Апривела привела к уничтожению леса, особенно бука. Этот вид дерева присутствует только в изолированной зоне, как реликт древних лесов. Определены концентрации соединений цинка, кадмия, свинца, меди и марганца в поверхностных водах и питьевой воде, превышающие пределы, принятые румынским стандартом. Источником загрязнения являются отходы, складированные по берегам реки. Максимально допустимые концентрации превышены более чем в 1000 раз. Район Рошиа Монтана можно считать загрязненным соединениями тяжелых металлов, что подтверждает высокая концентрация токсичных веществ, накопленных в растениях, собранных в этом районе.

Б.А. Кажкенова и др. в своей статье [7] представили результаты исследования влияния отвальных отходов золотодобычи на экологическую ситуацию. По оценкам авторов, в 2011 г. рассматриваемая в статье компания в процессе золотодобычи с низкой концентрацией Au использовала более 1400 т ртути и ежегодно сбрасывала в среднем 1000 т жидкого металла в окружающую среду. Установлено, что одна треть этой расчетной величины уходила в воздух, а остальная часть попадала в хвостохрани-

лища. Концентрация соединений хрома колеблется от 2 до 60 мг/кг в незагрязненной почве, однако его высокая концентрация, 486 мг/кг, была выявлена Луизой Еленой Иатан в хвостохранилищах золотых рудников в Омане. Исследования показали, что шестивалентный хром в 100 раз более токсичен и в 1000 раз более мутагенен и канцерогенен по сравнению с трехвалентным хромом. Нахождение соединений хрома в человеческом организме в высоких концентрациях вызывает кожные высыпания, язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, нарушает работу дыхательных путей, ослабляет иммунную систему, повреждает почки и печень, провоцирует мутации, препятствует активности ферментов.

В статье Л.В. Замана с соавторами [8] показаны результаты анализа космоснимков бассейна р. Амур, нарушенного золотодобычей. По результатам исследований выделены следующие техногенные ландшафты: ленточный траншейно-отвальный и котлованно-отвальный. Определена степень загрязнения речной сети, нарушенной горной промышленностью. Предложено направление дальнейших исследований состояния окружающей среды и оценки влияния россыпной золотодобычи на экосферу для восстановления нарушенных горными работами земель.

В статье М.Ю. Букарева с соавторами [9] выявлены экологические проблемы Алданского района Республики Саха (Якутия), связанные с промышленной добычей золота. Проанализированы возможные природоохранные мероприятия по рекультивации нарушенных земель, очистке водных акваторий. Обсуждены вопросы ускорения (оптимизации) самовосстановительного процесса нарушенных территорий.

Исаиах Хуберт Магамбо в своих исследованиях [10] рассматривает влияние на здоровье людей золотодобывающих

предприятий (золотой рудник в Танзании). Результаты измерения частоты задержки их роста показывают, что изменения зафиксированы в пределах 10 км от близлежащей шахты. Кроме того, результаты показали, что население, проживающее в радиусе 10 км от места добычи золота, тратит на покупку лекарств и медицинское обслуживание на 55,2 тыс. танзанийских шиллингов (TZS) больше на человека в год, чем те, кто находится дальше. В связи с этим авторы предлагают ужесточить экологические нормы.

В то же время территории, используемые для добычи полезных ископаемых, были специально изъяты из земель лесного фонда и уже много десятилетий не выполняют свои экологические и социальные функции. Рекультивация нарушенных площадей и последующий возврат «получившихся» лесных плантаций в лесной фонд позволили бы улучшить экологическую обстановку в месте проживания людей и биосферы в целом.

В своей статье О.И. Григорьева [11] показывает плюсы выращивания лесных плантаций для сырьевого обеспечения различных промышленных предприятий как механизма сохранения коренных типов леса и достижения необходимых показателей сырья в относительно короткие сроки.

В.И. Желдак [12] обосновывает направление развития лесоводства для решения обострившихся проблем содержания и использования лесов, предотвращения опасности ухудшения их состояния, связанных с возрастающим антропогенным давлением на леса и окружающую природную среду. Оно основывается на создании адаптивных приоритетно-целевых систем лесоводственных мероприятий содержания и использования лесов, в том числе создании лесных плантаций.

Отходы россыпной золотодобычи, содержащие большое количество высокотоксичных соединений тяжелых метал-

лов, длительное время негативно влияют на окружающую экологическую обстановку и человека. Однако эта проблема практически слабо изучена в условиях горных золотодобывающих предприятий Дальневосточного федерального округа (ДФО). В связи с этим целью исследования явилось определение степени воздействия последствий процессов россыпной золотодобычи на экосферу на действующих предприятиях до проведения природозащитных мероприятий и обоснование способов обеспечения благоприятных условий для среды обитания путем рекультивации и последующего создания лесных плантаций.

Исходя из цели, сформулированы следующие задачи:

- проанализировать опыт оценки экологической ситуации нарушенных территорий, техногенно загрязненных отходами переработки минерального сырья в России и за рубежом;
- оценить влияние токсичных твердых отходов горной промышленности на объекты окружающей среды;
- на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработать экологически безопасную технологию, направленную на повышение экологической сохранности почв и среды обитания в целом при освоении золотороссыпных месторождений.

Район и методы исследования

Работа выполнена в течение 1986–2022 гг. в границах воздействия ныне ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск» района им. П. Осипенко (п. Бриакан) Хабаровского края. Этот регион богат полезными ископаемыми, интенсивное освоение которых привело к возникновению экологических проблем.

Методологической основой исследований явилось учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [13],

а также основные положения, изложенные Б.П. Колесниковым и Л.В. Моториной [14]. Использован комплекс основных методов и отдельных методических приемов: анализ, обобщение и систематизация отечественных, зарубежных литературных источников, патентной информации; традиционные химические, физико-химические и биологические методы; ГИС-технологии и методы дистанционного зондирования Земли и т.д.

В процессе экспедиционных и полевых исследований определено содержание соединений тяжелых металлов в отобранных образцах компонентов окружающей среды и отходов переработки спектральным и атомно-абсорбционным методами. Снежный покров, образцы отходов, почв, растительности, биологический материал (волосы детей до 14 лет) отобраны по стандартным методикам [15, 16], ГОСТу 27262–87, в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 05.10.1998 № 289.

Результаты исследования

Разработка золотороссыпных месторождений дражным и гидромеханизованным способами в районе им. П. Осипенко Хабаровского края ДФО началась еще в конце прошлого столетия [17]. В связи с многолетним интенсивным освоением минерального сырья здесь накоплены большие объемы отходов золотодобычи, расположенных в верховьях рек Семитка и Бриакан, в границах п. Бриакан, на территории шлихообогатительной установки. Они загрязняют окружающую среду соединениями ртути и другими токсичными соединениями тяжелых металлов и являются угрозой здоровью жителей населенного пункта. Отходы обогащения являются потенциальным источником техногенного загрязнения биосферы и относятся ко второму и третьему классу опасности — опасные.

Образующиеся техногенные геохимические потоки токсичных веществ мигрируют от отходов россыпной золотодобычи в объекты окружающей среды и происходит загрязнение атмосферного воздуха, снежного покрова, почвы, поверхностных и грунтовых вод, растительности и живых организмов, в том числе человека [18].

На основе выполненных расчетов загрязнения приземного слоя атмосферы, с использованием унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА) «ЭКО центр», получены зависимости распространения некоторых загрязняющих веществ в воздушном бассейне. Цифровая картографическая модель мажоранта по веществам и группам суммаций в воздухе в пределах населенного пункта (рис. 1) показала, что степень загрязнения атмосферного воздуха от отходов переработки золотороссыпных месторождений ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск» чрезвычайно высока. Например, для соединений мышьяка и свинца превышение значений предельно допустимых концентраций (ПДК) составило до 100 и более раз.

Отходы, являясь источником загрязнения воздушного бассейна, особенно летом, при ветрах юго-восточного, южного и юго-западного направлений, когда аэрогенный поток направлен в сторону п. Бриакан, загрязняют все компоненты окружающей среды.

Исследование снежного покрова (СП), который обладает высокой сорбционной способностью и содействует осадждению на земную поверхность значительной части газообразных и тонкодисперсных продуктов техногенеза, позволило выявить зоны аномального их накопления на поверхности земли и связать их с конкретными источниками загрязнения.

Значения концентрации превышают показатели ПДК и ПДК в водах водных

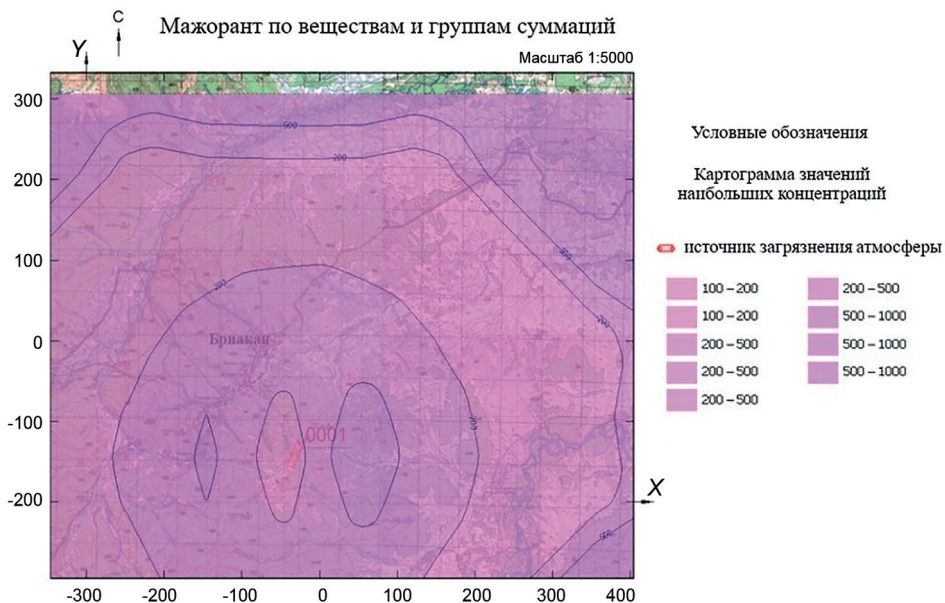


Рис. 1. Цифровая картографическая модель мажоранта по веществам и группам суммаций в атмосфере в пределах населенного пункта

Fig. 1. Digital cartographic model of the majorant by substances and summation groups in the atmosphere within the limits of the settlement

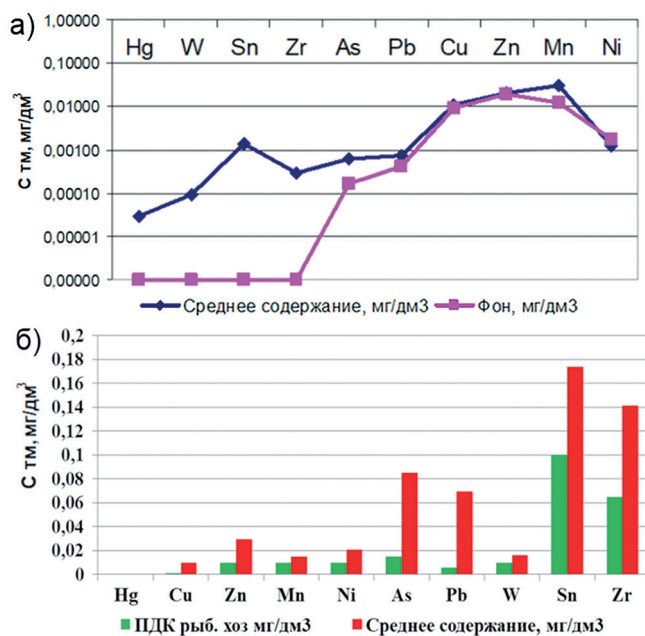


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в растворимой фазе снега, фоновая концентрация (а) и ПДК рыб.хоз (б), мг/дм³

Fig. 2. The content of heavy metals in the soluble phase of snow, background concentration (a) and MPC for fish (b), mg/dm³

объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рыб.хоз.}) в растворенной фазе СП для соединений: Hg в 3, Cu – 11, Mn – 3, Zn – 2 раза (рис. 2).

Определена концентрация соединений тяжелых металлов во взвешенной форме снежного покрова, которая оказалась значительно выше по сравнению не только с фоном, но и с растворимой формой. Для взвешенной фазы характерно загрязнение в южном и восточном направлениях. Соединения свинца в растворимой форме снега распространяются в восточном и северном направлениях (рис. 3), таковые мышьяка мигрируют на запад (растворимая форма) и восток (взвешенная форма). Соединения Hg в основном обнаружены в южном и восточном направлениях.

Получена классификационная группировка соединений тяжелых металлов по диапазонам коэффициентов концентрации в СП, которая свидетельствует о наибольшей опасности взвешенной фазы соединений As (Кс составил от 3,1 до 10) и Hg (Кс составил от 10 и выше).

Согласно рассчитанным суммарным показателям загрязнения (Zс), выявлено, что максимальное количество соединений тяжелых металлов в растворенной форме СП отмечается во всех направлениях от источника загрязнения, а наибольшее загрязнение взвешенной фракцией происходит в восточном и юго-восточном направлениях, что согласуется с розой ветров. В результате исследований получен геохимический ряд в порядке уменьшения воздействия соединений тяжелых металлов на СП: Hg(64,58%) > As > W > Sn > Zr > Mn > Pb > Zn > Cu > Ni.

Проанализировано эколого-геохимическое состояние водных объектов и донных отложений как наиболее информативных компонентов биосферы. Проведенное дистанционное зондирование исследуемой территории позволило установить практически полное изменение пойм многих речных долин из-за размещения там разновозрастных дражных полигонов и гидромониторных полей и отвалов [19–23]. Было отмечено снижение фильтрационных свойств в рус-

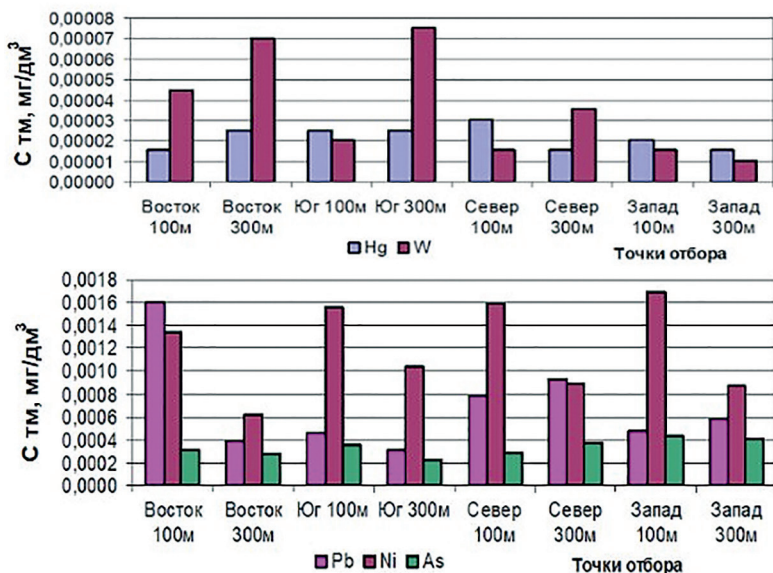


Рис. 3. Содержание Hg, W, Pb, Ni, As в растворимой фазе снежного покрова, мг/дм³
 Fig. 3. Content of Hg, W, Pb, Ni, As in the soluble phase of snow cover, mg/dm³

ловых отложениях, ухудшение качества подземных вод и, как следствие, разрушение нерестилищ не только на притоках, но и на самих реках: Бриакан, Семитка, Керби и др.

В процессе опробования поверхностных вод рек были определены концентрации взвешенных веществ, сульфатов Cu, Fe, Zn, Mn, нефтепродуктов по сравнению с ПДКрыб-хоз водных объектов и разработана картографическая модель миграции соединений тяжелых металлов в водной среде р. Керби (рис. 4).

Поверхностные водотоки и грунтовые воды района исследования загрязнены токсичными соединениями тяжелых металлов (Hg, Zn, As, Cu, Pb, Fe, Ni, Co, Mn и др), содержание которых превышает фоновые показатели от 1,5 до 19 раз. В водах р. Бриакан превышение содержания соединений тяжелых металлов для растворимых форм составило более чем 2,2 раза, а взвешенной формы — 2,9 раз. Только в верховьях рек сохраняется удовлетворительное их качество (рис. 4).

Установлена закономерность распространения и накопления соединений ртути в водах верхнего, среднего и нижнего течения р. Керби исследуемого района (рис. 5). Зависимость описывается линейной функцией (1) с коэффициентом детерминации — $R^2 = 0,9390$ и свидетельствует о постоянном повышении концентрации соединений ртути при перемещении воды от верховьев к нижнему течению р. Керби:

$$y = 0,386x + 0,2473, \quad (1)$$

где y — концентрация загрязняющего вещества; x — расстояние от источника загрязнения.

Отобранные образцы колодезной воды в п. Бриакан показали, что превышение содержания соединений тяжелых металлов относительно фоновых значений колеблется от 1,4 до 3,5 раз, а превышение норм качества воды для водоснабжения составило от 1,2 (для Zn) до 19 (для As) раз.

Результаты проведенного дистанционного зондирования земной поверх-

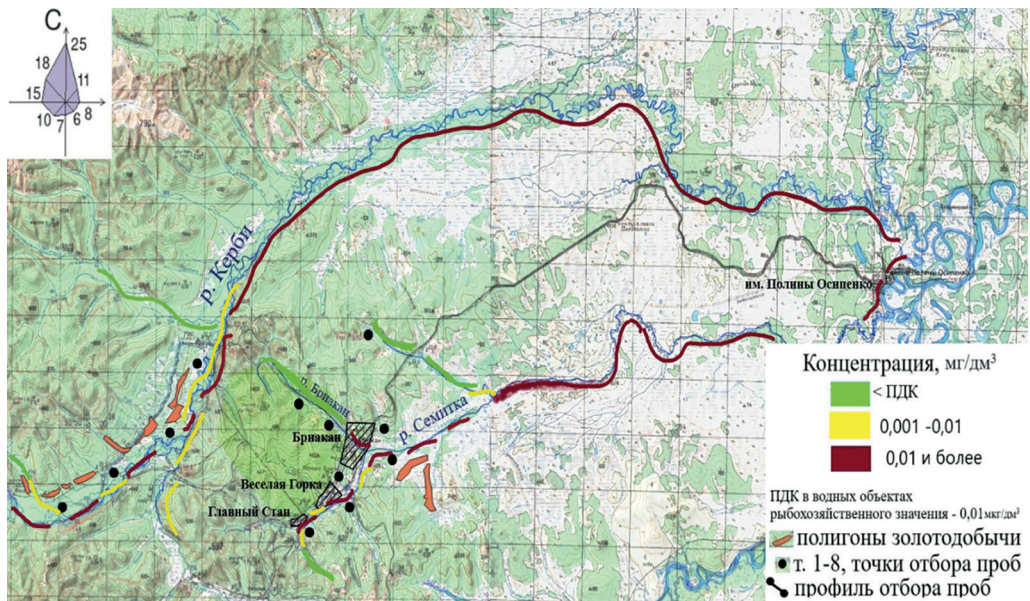


Рис. 4. Картографическая модель миграции соединений ртути в водной среде р. Керби

Fig. 4. Cartographic model of migration of mercury compounds in the aquatic environment of the river Kerby

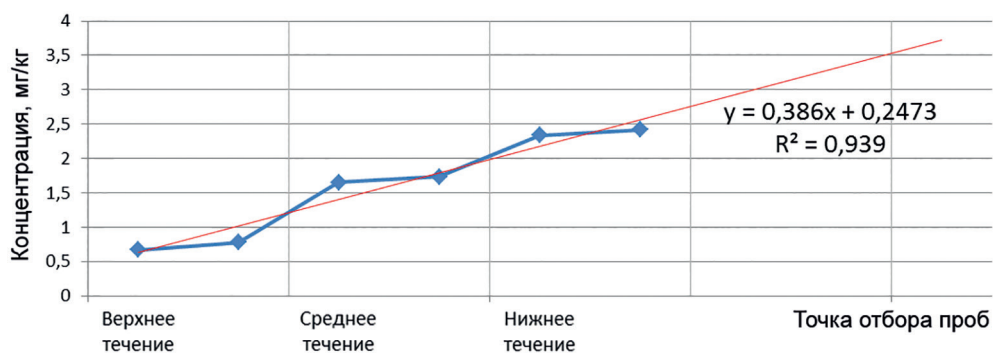


Рис. 5. Концентрации соединений ртути в водах верхнего, среднего и нижнего течения р. Керби исследуемого района

Fig. 5. The concentrations of mercury compounds in the waters of the upper, middle and lower reaches of the river Kirby study area

ности района исследования и изучение экологических проблем показало значительное техногенное загрязнение компонентов среды обитания. Выявленное нами техногенное его загрязнение, обусловленное миграцией соединений тяжелых металлов от отходов переработки золотороссыпных месторождений, вызывает ухудшение здоровья населения, особенно детей и пожилых людей. На основе изучения статистической информации по заболеваемости здесь установлено увеличение количества заболеваний органов дыхания, нервной системы, пищеварения, кровообращения, онкологических заболеваний по сравнению с условно чистой территорией проживания людей (с. Богородское) (в 1,5–2 раза и более).

Проведенное сравнение средних значений заболеваемости жителей населенных пунктов исследуемой территории и с. Богородское свидетельствует, что самый высокий уровень заболеваемости населения обнаружен в п. Бриакан (выше на 40%) (рис. 6).

Анализ биологического материала детей до 14 лет (волосы) в исследуемом районе показал высокий уровень содержания в нем загрязняющих веществ по сравнению с другими регионами России. Содержание в нем соединений Cu, Zn

и др. оказалось выше в 1,3–1,7 и более раз, чем в Нечерноземье и Центральном Черноземье и др. Определена прямая зависимость между экологическими условиями проживания в населенном пункте (п. Бриакан) и ростом экологически обусловленных заболеваний [19].

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований авторами были сформулированы принципы обеспечения экологической безопасности биоты для разработки новой экологически безопасной природоподобной технологии, направленной на повышение экологической сохранности почв и среды обитания в целом при освоении золотороссыпных месторождений в условиях устойчивого развития горнодобывающих районов Дальневосточного федерального округа.

Установлено, что исследуемый субстрат (поверхность дражного полигона) из-за токсичности непригоден для роста и развития растений. В связи с этим возникает необходимость в проведении реабилитационных работ. Экспериментальные исследования в оранжерее и производственных условиях (на полигоне «Кербинского прииска»), начиная с 1988 г. и по настоящее время, позволили создать различные способы экологической реабилитации путем рекульти-

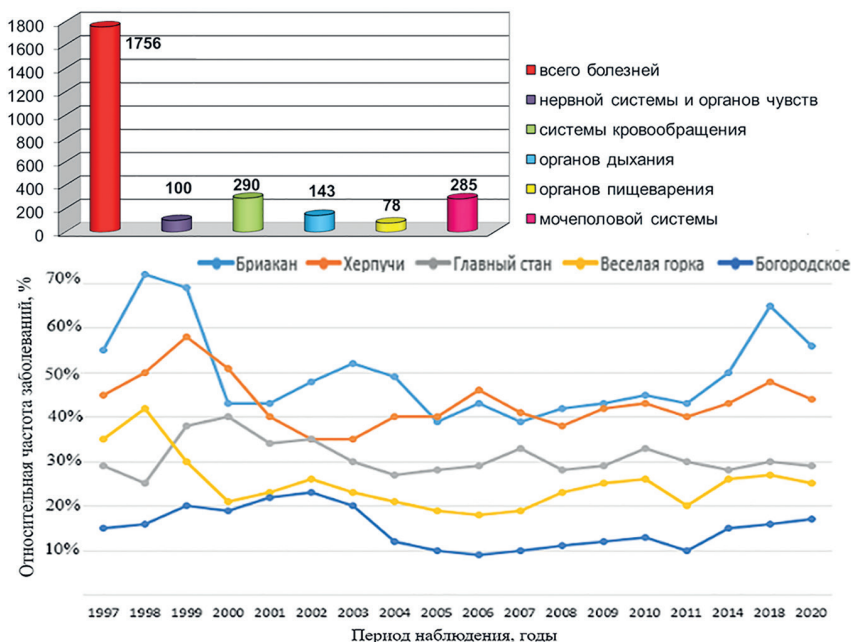


Рис. 6. Средние значения заболеваемости населения исследуемой территории (1997–2020 гг.) и изменение относительной частоты заболеваний

Fig. 6. Average incidence rates of the population of the study area (1997–2020) and changes in the relative incidence of diseases

вации техногенно загрязненных земель с использованием биоремедиации, направленные на снижение негативного их влияния на экосистемы, новизна которых подтверждена Патентами РФ [24].

Суть технологического решения заключалась в следующем: в субстрат, содержащий токсичные загрязняющие вещества, был внесен предлагаемый авторами состав (%): биоуголь — 30, цео-

Таблица 1

Анализ динамики состояния древостоев и его состав на рекультивированных участках, образованиях в границах влияния шлихообогатительной установки, ШОУ Кербинского прииска

Analysis of growing stock dynamics and composition on reclaimed land and soil within the influence zone of sluice tailings processing at Kerbinka Placer Mine

№ п/п	Возраст рекультивированного участка, лет	Расстояние от источника загрязнения, км	Анализ динамики и состав древостоев
1	5–7	0,1 (вблизи)	Угнетенное состояние древостоев
2	10–12	9	ЗБп2ОлЛ2Т* – преобладает береза
3	15–18	15	ЗЛ2ОсТ2Б* – участие лиственницы увеличивается до 3 единиц
4	25	19	5ЛЗБ2Ос* – участие лиственницы увеличивается до 5 единиц

* Примечание: Приказ Рослесхоза от 15.12.1994 № 265 Об утверждении Инструкции по проведению лесоустройства в лесном фонде России (Зарегистрировано в Минюсте РФ 28.06.1995 N 887). Приложение 6. ЗБп2ОлЛ2Т – 3 Береза плосколистная, 2 Ольха, 1 Лиственница, 2 Тополь; ЗЛ2ОсТ2Б – 3 Лиственница, 2 Осина, 1 Тополь, 2 Береза; 5ЛЗБ2Ос – 5 Лиственница, 3 Береза, 2 Осина.



Рис. 7. Древесно-кустарниковая растительность на рекультивированной в 1988 г. площади (п. Бриакан)
Fig. 7. Tree and shrub vegetation on the area recultivated in 1988 (Briakan village)

литы — 5, биогумус — 5, отходы переработки россыпной золотодобычи — 60. После перемешивания произведен посев семян бобово-злаковой смеси и высажены сеянцы древесно-кустарниковой растительности. В качестве контроля использованы техногенно загрязненные площади (нарушенные, дражный полигон) золотороссыпного месторождения.

Обследование 30-летних рекультивированных и нереккультивированных растительных сообществ свидетельствует о том, что формирование растительности идет по типу первичной сукцессии. В этой зоне развиваются, как правило, лесные сообщества с доминированием березы и ивы (см. табл. 1).

Почвы нереккультивированных участков имеют примитивный профиль, обусловленный недостаточной интенсивностью преобразования субстрата. Здесь, как правило, формируются только эмбриоземы инициальные.

За прошедшие тридцать лет с момента начала рекультивации нарушенных золотодобычей земель Кербинского прииска (1988 г.) произошло лесовосстановление местными древесно-кустарниковыми породами. Здесь сформировались

лиственные и смешанные разновозрастные молодняки с преобладанием березы плосколистной (рис. 7). Лиственница здесь испытывает некоторое угнетение со стороны лиственных древесных пород, например, березы. Пониженные участки с временным и постоянным переувлажнением заняты травянистой растительностью (осоки, тысячелистник, вейник, одуванчик, клевер ползучий) (см. табл. 2).

Растительность здесь соответствует составу окружающих коренных типов леса. В сравнении с нереккультивированными лесными участками (естественно зарастающими), расположенными в тех же климатических условиях), рекультивированная площадь обладает достаточно высоким биологическим разнообразием. В составе его растительного комплекса более 100 видов растений, принадлежащих к 26 семействам. В составе лесного яруса отмечается ряд особенностей: высокая плотность насаждений при сомкнутости крон 0,7, осинник, например, 1 класса бонитета и высотой около 10 м. С учетом этих показателей можно сказать, что за прошедшие после рекультивации более 30 лет значительно улуч-

Таблица 2

Краткая таксационная характеристика пробных площадей (рекультивированных)
Brief taxation characteristic of test land (reclaimed ground)

№ п/п	Состав древостоя и тип леса	Сомкнутость, %	Интервал возраста, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Подрост, тыс. шт./га	Кустарниковый покров	Сумма площадей сечений, м ²	Запас древостоя, м ³
1	6Б61Л1Ос1Ив1ТпБ6К*	0,9	1–18	6,2	2,7	3,6	спирея, рябинолистник, малина, ива, редкий	15,92	76,4
2	8Б61Ос1Ив, ед.Т,Ол,ЛБ6К*	0,9	1–21	6,8	3		рябинолистник, очень редкий	16,03	78,1
3	10Б6Б6К*	0,2	1–3	1,4	1,8	19	спирея, редкий	—	—
4	5Б64Ос1Ив, ед.Л*	1	15–23	9,0	5,5	единично	рябинолистник, очень редкий	29,71	87,6
5	4ЛЗБ62Т1Ос*	1	1–23	7,0	4,3	16,8	спирея, рябинолистник, очень редкий	—	—

* Примечание: Приказ Рослесхоза от 15.12.1994 № 265 Об утверждении Инструкции по проведению лесоустройства в лесном фонде России (Зарегистрировано в Минюсте РФ 28.06.1995 № 887). Приложение 6. 6Б61Л1Ос1Ив1ТпБ6К — 6 Береза бородавчатая, 1 Лиственница, 1 Осина, 1 Ива, 1 Тополь пирамидальный, 1 Береза бородавчатая, 1 Клен; 8Б61Ос1Ив, ед.Т,Ол,ЛБ6К2 — 8 Береза бородавчатая, 1 Осина, 1 Ива, единичные Тополь, Ольха, Лиственница, 1 Береза бородавчатая, 1 Клен; 10Б6 Б6К — 10 Береза бородавчатая, 1 Береза бородавчатая, 1 Клен; 5Б64Ос1Ив, ед. Л — 5 Береза бородавчатая, 4 Осина, 1 Ива, единичная Лиственница; 4ЛЗБ62Т1Ос — 4 Лиственница, 3 Береза бородавчатая, 2 Тополь, 1 Осина.

шились физико-химические свойства почв рекультивированного участка, что обусловило успешный рост растительности. Так, содержание органического вещества здесь составило около 2%, плотность — 1,89 г/см³, емкость катионного обмена (ЕКО) — 17,4 мг-экв/100.

Однако почвенно-экологического состояния нереккультивированного участка неудовлетворительное, о чем свидетельствуют следующие показатели: содержание органического вещества 0,21%, плотность — 2,66 г/см³, емкость катионного обмена (ЕКО) — 2,56 мг-экв/100.

Представленные виды растений способны успешно функционировать в ус-

ловиях техногенных ландшафтов (повышенная каменистость, ксероморфизм и др.).

Результаты обследования рекультивированных и нереккультивированных лесных участков свидетельствуют о существенном положительном влиянии рекультивации техногенно загрязненных участков, нарушенных золотодобычей.

Здесь образовались не только инициальные, но и органо-аккумулятивные и гумусо-аккумулятивные эмбриоземы. Материалы наших исследований показывают, что устойчивый фитоценоз может быть создан только на рекультивированных участках.

Итак, в результате использования предлагаемого способа рекультивации с применением биоремедиации не только улучшились водно-физические свойства рекультивированного субстрата, но и в течение одного вегетационного периода сформировался мощный органический горизонт (дернина), который способствует предотвращению эрозийных процессов на рекультивируемой поверхности. Таким образом, предложенная технология обеспечивает восстановление как защитных функций леса, так и почвенно-экологических на токсичном субстрате, что позволяет успешно развиваться всем компонентам разрушенных ранее экосистем.

Проведенные исследования позволили обосновать возможность и необходимость создания на рекультивированных участках целевых лесных плантаций различного ресурсного назначения.

Заключение

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования с использованием различных методов, в том числе с применением дистанционного зондирования Земли, ГИС-технологий и других, позволили выявить закономерности миграции соединений тяжелых металлов, связанные с химическими процессами: окислением сульфидов, образованием концентрированных растворов и накоплением их в компонентах окружающей среды.

Рассмотрены особенности миграции элементов в системе отходы → воздушный бассейн → снежный покров → почвы → растительность → водные объекты → донные отложения → человек. Уровень загрязнения атмосферного воздуха от отходов переработки золотороссыпных месторождений ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск» высок, например значения концентраций соединений мышьяка и свин-

ца превышают показатели ПДК до 100 и более раз. Превышение уровня ПДК соединений тяжелых металлов в снежном покрове в исследуемом районе колеблется от 2 раз (Zn) до 10 и более раз (Hg). Поверхностные водотоки и грунтовые воды в районе исследования загрязнены токсичными соединениями тяжелых металлов (Hg, As, Pb и др), содержание которых превышает фоновые показатели от 1,5 до 19 раз.

Только в верховьях рек сохраняется удовлетворительное их качество. На основании результатов исследований установлено, что экологическая ситуация в границах воздействия действующих и ликвидированных золотодобывающих предприятий неблагоприятна и способствует росту эколого-обусловленных заболеваний в исследуемом районе. Содержание соединений тяжелых металлов в биологическом материале детей оказалось выше в 1,5 и более раз по сравнению с другими регионами России.

На основе экспериментальных исследований в оранжерее и производственных условиях (на полигоне «Кербинского прииска»), начиная с 1988 г. и по настоящее время, созданы различные способы экологической реабилитации путем рекультивации техногенно загрязненных участков с использованием биоремедиации, направленные на снижение негативного их влияния на экосистемы, новизна которых подтверждена Патентами РФ.

Установлено, что почвенно-экологическое состояние рекультивированного участка удовлетворительное по сравнению с нереккультивированным.

Результаты исследований рекультивированных и нереккультивированных площадей позволили обосновать возможность и необходимость создания на рекультивированных участках целевых лесных плантаций различного ресурсного назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Iatan L. E.* Phytorestoration of abandoned mining and oil drilling sites. Elsevier, 2021, 538 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-821200-4.00007-8.
2. *Abdul-Wahab S. A., Marikar F. A.* The environmental impact of gold mines: pollution by heavy metals // *Central European Journal of Engineering*. 2012, vol. 2, pp. 304–313. DOI: 10.2478/s13531-011-0052-3.
3. *de Souza Neto H. F., da Silveira Pereira W. V., Dias Y. N., de Souza E. S., Teixeira R. A., de Lima M. W., Ramos S. J., do Amarante C. B., Fernandes A. R.* Environmental and human health risks of arsenic in gold mining areas in the eastern Amazon // *Environmental Pollution*. 2020, vol. 265, Part B, article 114969. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114969.
4. *Fashola M. O., Ngole-Jeme V. M., Babalola O. O.* Physicochemical properties, heavy metals, and metal-tolerant bacteria profiles of abandoned gold mine tailings in Krugersdorp, South Africa // *Canadian Journal of Soil Science*. 2020, vol. 100, no. 3, pp. 1–17. DOI: 10.1139/cjss-2018-0161.
5. *Tsui J.* The environmental impact of mining (different mining methods compared). [Электронный ресурс]. URL: <https://get-green-now.com/environmental-effects-of-mining/> (дата обращения 15.12.2022 г.).
6. *Stoica A.-I., Florea R.-M., Baiulescu G.-E.* Gold mining: formation and resource estimation, economics and environmental impact. Ch. 3. Nova Science Publishers, Inc. 2009, 227 p.
7. *Kazhkenova B. A., Yessimova D. D., Redkin A. G.* Impact of the gold mining and gold processing industries on the physical state of living organisms // *Scientific-Practical Journal*. 2020, vol. 41, no. 125, pp. 43–50.
8. *Замана Л. В., Вахнина И. Л.* Влияние россыпной золотодобычи на природные комплексы речных долин бассейна реки Амур (восточное Забайкалье, Россия) // *Геосферные исследования*. — 2020. — № 2. — С. 83–89. DOI: 10.17223/25421379/15/7.
9. *Букарев М. Ю., Ларичкина Н. И.* Экологические проблемы при добыче россыпного золота в Алданском районе республики Саха (Якутия) / *Наука. Промышленность. Оборона. Труды XIX Всероссийской научно-технической конференции*. — Новосибирск, 2018. — 260 с.
10. *Magambo I. H., Dikgang J., Gelo D., Tregenna F.* Gold-mining pollution exposure, health effects and private healthcare expenditure in Tanzania. Munich Personal RePEc Archive. 2021, 32 p.
11. *Григорьева О. И., Нгуен Фук Зюи* Лесные плантации для сырьевого обеспечения деревоперерабатывающих предприятий / *Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. — Петрозаводск, 2017. — 299 с.
12. *Желдак В. И.* Проблемы и перспективы развития лесоводства // *Вестник Поволжского государственного технологического университета*. Серия: Лес. Экология. Природопользование. — 2021. — № 3(51). — С. 5–27. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.3.5.
13. *Вернадский В. И.* Биосфера. — М.: Мысль, 1967. — 287 с.
14. *Колесников Б. П., Моторина Л. В.* Методы изучения техногенных биогеоценозов в техногенных ландшафтах. — М.: Наука, 1963. — 150 с.
15. *Леоненко А. В., Новороцкая А. Г., Чумаченко Е. А.* Снежный покров как индикатор техногенного загрязнения в зоне влияния золотодобычи (на примере шлихообогатительной установки Кербинского прииска) / *Проблемы комплексного освоения георесурсов*. Т. 4. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2010. — 264 с.
16. *Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д.* Мониторинг загрязнения снежного покрова. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 182 с.
17. *Крупская Л. Т., Леоненко А. В., Зверева В. П., Филатова М. Ю., Усиков В. И.* Комплексная экологическая оценка влияния россыпной золотодобычи на состояние окружающей среды с использованием инновационного подхода: монография. — Хабаровск: Изд-во ФГБОУ ВО ДВГМУ Минздрава России, 2022. — 196 с.

18. Пуртова Л. Н. Показатели хемодеструкционного фракционирования органического вещества почв природных и антропогенно преобразованных ландшафтов юга Приморья // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. — 2021. — № 3(211). — С. 111–116. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-3-111-116.


19. Крупская Л. Т., Зверева В. П., Склярова Г. Ф., Орлов А. М. Техногенные поверхностные образования как источник загрязнения экосферы и обоснование возможности их освоения в Дальневосточном федеральном округе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2. — С. 5–21. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.

20. 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.

21. Куликова А. А., Стельмахов А. А., Бачева Т. А., Цымбал М. Н. Очистка вод, поступающих из затопленных шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 38–47. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-38-47.

22. Панфилов О. О., Голубев Д. А., Крупская Л. Т., Морин В. А., Гула К. Е. Обеспечение экологической безопасности процессов освоения техногенных золотороссыпных месторождений на севере Хабаровского края // Экологическая химия. — 2014. — Т. 23. — № 3. — С. 135–144.

23. Зверева В. П., Лысенко А. И. Химические реакции и условия кристаллизации техногенных минералов из рудничных вод на месторождениях Дальнего Востока // Экологическая химия. — 2021. — Т. 30. — № 3. — С. 159–164.

24. Крупская Л. Т., Леоненко Н. А., Леоненко А. В., Колобанов К. А., Филатова М. Ю. Патент RU 2783893 С1. Состав для рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья. Заявка № 2021129031, 04.10.2021, опубл. 21.11.2022 бюлл. № 33. 

REFERENCES

1. Iatan L. E. *Phytorestitution of abandoned mining and oil drilling sites*. Elsevier, 2021, 538 p. DOI: 10.1016/B978-0-12-821200-4.00007-8.

2. Abdul-Wahab S. A., Marikar F. A. The environmental impact of gold mines: pollution by heavy metals. *Central European Journal of Engineering*. 2012, vol. 2, pp. 304–313. DOI: 10.2478/s13531-011-0052-3.

3. de Souza Neto H. F., da Silveira Pereira W. V., Dias Y. N., de Souza E. S., Teixeira R. A., de Lima M. W., Ramos S. J., do Amarante C. B., Fernandes A. R. Environmental and human health risks of arsenic in gold mining areas in the eastern Amazon. *Environmental Pollution*. 2020, vol. 265, Part B, article 114969. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.114969.

4. Fashola M. O., Ngole-Jeme V. M., Babalola O. O. Physicochemical properties, heavy metals, and metal-tolerant bacteria profiles of abandoned gold mine tailings in Krugersdorp, South Africa. *Canadian Journal of Soil Science*. 2020, vol. 100, no. 3, pp. 1–17. DOI: 10.1139/cjss-2018-0161.

5. Tsui J. *The environmental impact of mining (different mining methods compared)*. available at: <https://get-green-now.com/environmental-effects-of-mining/> (accessed 15.12.2022).

6. Stoica A.-I., Florea R.-M., Baiulescu G.-E. *Gold mining: formation and resource estimation, economics and environmental impact*. Ch. 3. Nova Science Publishers, Inc. 2009, 227 p.

7. Kazhkenova B. A., Yessimova D. D., Redkin A. G. Impact of the gold mining and gold processing industries on the physical state of living organisms. *Scientific-Practical Journal*. 2020, vol. 41, no. 125, pp. 43–50.

8. Zamana L. V., Vakhnina I. L. Influence of placer gold mining on natural complexes of river valleys of the Amur River basin (Eastern Transbaikalia, Russia). *Geosphere research*. 2020, no. 2, pp. 83–89. [In Russ]. DOI: 10.17223/25421379/15/7.

9. Bukarev M. Yu., Larichkina N. I. Geological problems in the extraction of placer gold in the Aldan district of the Republic of Sakha (Yakutia). *Nauka. Promyshlennost'. Oborona. Trudy XIX Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The science. Industry. Defense. Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Technical Conference], Novosibirsk, 2018, 260 p. [In Russ].
10. Magambo I. H., Dikgang J., Gelo D., Tregenna F. *Gold-mining pollution exposure, health effects and private healthcare expenditure in Tanzania*. Munich Personal RePEc Archive. 2021, 32 p.
11. Grigorieva O. I., Nguyen Phuc Zui. Forest plantations for the raw material supply of wood processing enterprise. *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy tret'ey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa. Materialy tret'ey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem], Petrozavodsk, 2017, 299 p. [In Russ].
12. Zheldak V. I. Problems and prospects of forestry development. *Vestnik of Volga state university of technology. Series: Forest. Ecology. Nature management*. 2021, no. 3(51), pp. 5 – 27. [In Russ]. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.3.5.
13. Vernadskiy V. I. *Biosfera* [Biosphere], Moscow, Mysl', 1967, 287 p.
14. Kolesnikov B. P., Motorina L. V. *Metody izucheniya tekhnogennykh biogeotsenozov v tekhnogennykh landshaftakh* [Methods of studying technogenic biogeocenoses in technogenic landscapes], Moscow, Nauka, 1963, 150 p.
15. Leonenko A. V., Novorotskaya A. G., Chumachenko E. A. Snow cover as an indicator of technogenic pollution in the zone of influence of gold mining (on the example of the Kerbinsky mine dressing plant). *Problemy kompleksnogo osvoeniya georesursov*, T. 4 [Problems of integrated development of geo resources], vol. 4. Khabarovsk, IGD DVO RAN, 2010, 264 p.
16. Vasilenko V. N., Nazarov I. M., Fridman Sh. D. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Monitoring of snow cover pollution], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 182 p.
17. Krupskaya L. T., Leonenko A. V., Zvereva V. P., Filatova M. Yu., Usikov V. I. *Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka vliyaniya rossypnoy zolotodobychi na sostoyanie okruzhayushchey sredy s ispol'zovaniem innovatsionnogo podkhoda: monografiya* [Complex ecological assessment of the influence of placer gold mining on the state of the environment using an innovative approach: monograph], Khabarovsk: Izd-vo FGBOU VO DVG MU Minzdrava Rossii, 2022, 196 p.
18. Purtova L. N. Indicators of chemodestructive fractionation of organic matter of soils and anthropogenically transformed landscapes of the south of Primorye. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii region. Natural science*. 2021, no. 3(211), pp. 111 – 116. [In Russ]. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-3-111-116.
19. Krupskaya L. T., Zvereva V. P., Sklyarova G. F., Orlov A. M. Aboveground mining waste storage as an ecosphere pollution source and waste exploitability in Russia's Far East. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2, pp. 5 – 21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-5-21.
20. 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: 10.25018/0236-1493-2020-6-1-0-107-118.
21. Kulikova A. A., Stelmakhov A. A., Bacheva T. A., Tsymbal M. N. Treatment of water inflow from flooded underground mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 38 – 47. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-38-47.
22. Panfilov O. O., Golubev D. A., Krupskaya L. T., Morin V. A., Gula K. E. Ensuring environmental safety of the processes of development of technogenic gold deposits in the north of the Khabarovsk Territory. *Ekologicheskaya khimiya*. 2014, vol. 23, no. 3, pp. 135 – 144. [In Russ].
23. Zvereva V. P., Lysenko A. I. Chemical reactions and conditions of crystallization of technogenic minerals from mine waters in the deposits of the Far East. *Ekologicheskaya khimiya*. 2021, vol. 30, no. 3, pp. 159 – 164. [In Russ].

24. Krupskaya L. T., Leonenko N. A., Leonenko A. V., Kolobanov K. A., Filatova M. Yu.
Patent RU 2783893 S1. 21.11.2022. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Филатова Мария Юрьевна*¹ — канд. техн. наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: filatovamariya@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2212-9783,

*Крупская Людмила Тимофеевна*¹ — д-р биол. наук,
профессор, Заслуженный эколог РФ,
главный научный сотрудник,
e-mail: ecologiya2010@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-4479-4047,

*Бубнова Марина Борисовна*² — канд. техн. наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: 138_marina@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-4384-1120,

*Леоненко Анна Валерьевна*² — младший
научный сотрудник, e-mail: 334212@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0499-7675,

¹ Дальневосточный научно-исследовательский институт
лесного хозяйства («ДальНИИЛХ»),

² Институт горного дела ДВО РАН
(Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН).
Для контактов: Филатова М.Ю., e-mail: filatovamariya@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*M. Yu. Filatova*¹, Cand. Sci. (Eng.),
Senior Researcher, e-mail: filatovamariya@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2212-9783,

*L. T. Krupskaya*¹, Dr. Sci. (Biol.), Professor,
Honored Ecologist of the Russian Federation,
Chief Researcher,

e-mail: ecologiya2010@yandex.ru,
ORCID ID: 0000-0002-4479-4047,

*M. B. Bubnova*², Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher,
e-mail: 138_marina@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-4384-1120,

*A. V. Leonenko*², Junior Researcher,
e-mail: 334212@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-0499-7675,

¹ Far Eastern Research Institute of Forestry,
680020, Khabarovsk, Russia,

² Mining Institute, Far Eastern Branch
of Russian Academy of Sciences
(Khabarovsk Federal Research Center FEB RAS),
680000, Khabarovsk, Russia.

Corresponding author: M. Yu. Filatova, e-mail: filatovamariya@mail.ru.

Получена редакцией 21.02.2023; получена после рецензии 19.04.2023; принята к печати 10.07.2023.
Received by the editors 21.02.2023; received after the review 19.04.2023; accepted for printing 10.07.2023.