

ПЕРСПЕКТИВЫ ФИТОДОБЫЧИ ЗОЛОТА ИЗ ПЕРЕМЫТЫХ ПЕСКОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И.В. Дроздова¹, С.С. Тимофеева¹, С.С. Тимофеев¹

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия, e-mail: drozdovaiv@istu.edu

Аннотация: Представлен критический анализ ресурсного потенциала техногенных золотосодержащих объектов и подтверждена необходимость применения инновационных технологий биодобычи, основанной на способности растений концентрировать металлы и другие соединения – фитомайнинге. Рассмотрены достижения зарубежных авторов в реализации технологии фитодобычи и составлен реестр растений – гипераккумуляторов золота. Установлено, что диапазон золотоаккумулирующей способности растений достаточно широк – от 0,01 до 10 мг/г, растения преимущественно произрастают в условиях жаркого климата. Золотодобывающие предприятия в России сосредоточены преимущественно в северных территориях, поэтому здесь нужны растения, способные вегетировать в условиях сурового климата. В условиях лабораторного эксперимента изучены токсикометрические характеристики перемытых песков россыпных месторождений и установлено, что образцы исследуемых песков не проявляют токсичных свойств и могут быть использованы как субстрат для выращивания растений. В условиях горшечных культур оценили золотоаккумулирующую способность подсолнечника, овса и технической конопли. Наибольший коэффициент биологического накопления и биологический вынос золота обнаружен у технической конопли, и это растение целесообразно высаживать на отработанных месторождениях россыпного золота для его доизвлечения.

Ключевые слова: золотосодержащие отходы, фитодобыча, фитомайнинг, растения-гипераккумуляторы, коэффициент биологического накопления, техническая конопля.

Для цитирования: Дроздова И. В., Тимофеева С. С., Тимофеев С. С. Перспективы фитодобычи золота из перемытых песков россыпных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 5. – С. 99–111. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_99.

Prospects for gold phytorecovery from washed sand at placers

I.V. Drozdova¹, S.S. Timofeeva¹, S.S. Timofeev¹

¹ Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
e-mail: drozdovaiv@istu.edu

Abstract: The critical analysis of the resource potential of gold mining waste confirms the need for the technologically innovative phytomining based on the capacity of plants to concentrate metals and other compounds. The foreign advances in phytomining are discussed, and the plants–hyperaccumulators of gold are listed. The range of the gold accumulation capability of

plants is rather wide, from 0.01 to 10 mg/g, and such plants mostly grow in the hot climate. Russia's gold mines concentrate chiefly in the north of the country, thus, we need plants capable to vegetate in the harsh climate. The lab-scale toxicometry testing of washed sand sampled at placers finds out that the sand samples exhibit no toxic properties and can be used as a rooting medium. The pot planting was undertaken to evaluate the gold accumulation capacity of sunflower, oat and industrial hemp. Industrial hemp demonstrated the highest bioconcentration factor and gold bio-recoverability. It is expedient to plant out industrial hemp in the areas of mined-out gold placers with a view to additional gold recovery.

Key words: gold-bearing waste, phytorecovery, phytomining, hyperaccumulators, bioconcentration factor, industrial hemp.

For citation: Drozdova I. V., Timofeeva S. S., Timofeev S. S. Prospects for gold phytorecovery from washed sand at placers. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2023;(5):99-111. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_99.

Введение

Многолетняя добыча россыпного и рудного золота привела к тому, что запасы его постепенно уменьшаются, и сегодня назрела настоятельная необходимость создания и применения инновационных технологий, которые позволили бы использовать техногенные золотосодержащие отходы. По данным [1], только в России ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов составляет 5000 т, это примерно 55–60% добытого в стране золота. Согласно классификации техногенного золотосодержащего сырья, предложенной В.А. Макаровым и др. [2], выделяют две группы объектов.

Первая группа состоит из объектов, сформированных при переработке руд, песков и пород, отделенных от массива, включающих техногенные россыпи, хвосты обогащения, отвалы забалансовых руд и вскрышных пород, золоотвалы, остаточные кучи после цианирования и др.

Вторая группа представляет собой остаточные месторождения и их части, испытывавшие техногенное воздействие в горном массиве. Исторически сложилось так, что на территории Сибири в силу горно-геологических и других факторов

наиболее распространенными способами отработки золотосодержащих россыпей были мускульный, дражный, гидравлический и гидромеханический способы добычи.

По опубликованным в литературе данным [3], потери золота при использовании промывочных приборов достигают 50%, в отработанных песках остается мелкодисперсное золото. Для доизвлечения мелкого золота разработано множество конструкций промывочных приборов, усовершенствованы методы извлечения тонкого золота, однако проблема остается нерешенной. По оценкам И.И. Ковалева [4], запасы золота в техногенных отвалах составляют не менее 18% от запасов россыпного золота. В техногенных образованиях Забайкальского края содержится более 150 т золота [5], а в техногенных россыпях Хабаровского края — около 124 т [6]. Отвалы перемытых песков россыпных месторождений Магаданской области составляют 1,5 млрд м³ и содержат 500 т золота [26].

В Иркутской области отвалы перемытых россыпей содержат 500 т золота [7, 8]. В настоящее время в Бодайбинском районе успешно работает 31 недропользователь, из них 29 занимаются разра-

боткой россыпных месторождений. Объем промытых песков достигает ежегодно более 9 млн т. Около 70% всех россыпных месторождений СФО относится к техногенным месторождениям [9].

Месторождения, содержащие мелкое и тонкое золото, следует считать новым видом сырья, для которого не существует эффективных технологий обогащения, и следует переходить к новым экологически чистым технологиям, обеспечивающим извлечение тонких классов драгметаллов. Среди таких технологий прежде всего выделяются биотехнологические методы извлечения золота из бедных руд и техногенных отходов с участием микроорганизмов [10–15].

Эти технологии внедрены на многих золотодобывающих предприятиях в России и за рубежом. Технологии бактериального окисления опробованы сотрудниками ОАО «Иргиредмет» на 20 месторождениях: «Тасеевское», «Олимпиадинское», «Боголюбовское», «Майское», «Бакырчикское», «Бестюбе», «Жолымбет», «Аксу», «Кючус», «Албазино», «Делита», «Неждановское», «Зармитан», «Зодское» и др. Впервые установлена пригодность руд месторождений «Кокпатас» и «Даугызтау» (Узбекистан) для технологии бактериального выщелачивания [16, 17].

Параллельно с использованием микроорганизмов в извлечении золота стала применяться экономически эффективная, эстетически приятная и недорогая технология, основанная на способности растений концентрировать металлы и другие соединения — фиторемедиация. Технологии фиторемедиации основаны на физиологических процессах растений и связанных с ними микроорганизмов, таких как питание, фотосинтез, обмен веществ, транспирация и другие. В зависимости от целей технологии фиторемедиации используются в качестве механизма сдерживания загрязнений (методы

фитостабилизации, ризофилтрации) или в качестве механизма для устранения (методы фитоэкстракции, фитодеградации и фитоволатизации) [18].

Фитоэкстракция представляет собой процесс поглощения, транслокации веществ в наземные части растений, которые могут быть собраны, сожжены, и из биоруды могут быть извлечены металлы. Эта технология в зарубежной литературе получила название фитомайнинг [19] и в настоящее время интенсивно разрабатывается и внедряется.

Фитостабилизация — использование растений для иммобилизации загрязняющих веществ из почвы путем поглощения и накопления в тканях растений и препятствия дальнейшей миграции загрязнителей. Фитоиспарение (фитоволатизация) — поглощение и транспирация загрязнителей в атмосферу.

Как самостоятельное направление фитомайнинг (фитодобыча) появился в конце XX в. (1998 г.), когда были выполнены исследования, доказавшие накопление золота в растениях, и начиная с 2003 г. уже проводились полевые испытания данной технологии в Новой Зеландии и Бразилии [20–24]. Были найдены растения, способные аккумулировать металлы в высоких концентрациях, они получили название «гипераккумуляторы». Первым гипераккумулятором оказалась ярутка альпийская из семейства капустных, произрастающая на почвах в районе цинковых рудников. Она накапливала до 17% цинка в пересчете на сухой вес [23].

Целенаправленные исследования по разработке технологии фитомайнинга золота из почв и хвостов обогатительных фабрик проводятся преимущественно в условиях Южной Африки и других стран с сухим и полусухим климатом. В частности, в обзорах [25] дается определение фитомайнинга как процесса, при котором растения выращиваются для

извлечения металлов, при этом производится обрезка и сбор растений-гипераккумуляторов, их сжигание и сбор биоруды с последующим отделением металла. Преимуществом фитомайнинга является резкое сокращение выбросов диоксида углерода в процессе плавки. Он является экологически чистым процессом, значительно дешевле, чем добыча руды; недостатком процесса является низкая скорость, и при высоких концентрациях возможно проявление токсичности металлов.

Основной проблемой в реализации технологии фитомайнинга является подбор растений — гипераккумуляторов золота, а также сопутствующих металлов.

На основе опубликованных данных нами составлен перечень растений, обладающих гипераккумуляционной способностью. Он включает две группы растений: водные и водно-болотные и сухопутные наземные растения.

В таблице приведены обобщенные данные по аккумуляционной способности растений к золоту.

Диапазон золотоаккумуляционной способности растений достаточно широк — от 0,01 до 10 мг/г, растения преимущественно произрастают в условиях жаркого климата. Золотодобывающие предприятия в России сосредоточены преимущественно в северных территориях, поэтому здесь нужны растения,

Таблица 1

Аккумуляция золота в растениях по литературным данным
Gold accumulation in plants according to literature data

Растение	Золотоаккумуляционный потенциал, мг/г	Источник
Водные растения		
Rhizoclonium hieroglyphicum	3,28	Chakraborty et al., 2009
Lyngbya majuscula	1,93	Chakraborty et al., 2009
Spirulina subsalsa	1,73	Chakraborty et al., 2009
Наземные растения		
Горчица сарептская (Brassica juncea)	0,057 (побеги)	Novo et al., 2017
Редька посевная (Raphanus sativus)	0,113 (корни)	Novo et al., 2017
Морковь дикая (Daucus carota)	0,089 (корни)	Novo et al., 2017
Берхейя (Berkeleya coddii)	0,097 (корни)	Novo et al., 2017
Капуста (Brassica sp.)	0,06	Novo et al., 2017
Хилопсис (Chilopsis linearis)	0,197 (стебли)	Novo et al., 2017
Ботриохлоа макра (Bothriochloa macra)	0,024 (побеги)	Novo et al., 2017
Клевер ползучий (Trifolium repens)	0,027 (побеги)	Novo et al., 2017
Сорго алеппское (Sorghum halepense)	0,0239 (побеги)	Novo et al., 2017
Подсолнечник однолетний (H. Annuus)	0,019 (листья) 0,022 (стебли) 0,015 (корни)	Novo et al., 2017
Каланхоэ сerratа (Kalanchoe serrata)	0,009 (побеги)	Novo et al., 2017
Трава (Paspalum conjugatum)	0,0006	Novo et al., 2017
Кукуруза (Zea mays)	0,02	Novo et al., 2017

способные вегетировать в условиях сурового климата.

Целью настоящей работы являлась оценка возможности применения технологии фитомайнинга в условиях Восточной Сибири, в частности в Бодайбинском районе.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на базе лабораторий Иркутского национального исследовательского университета, ПАО Иргиредмет.

В качестве субстрата для апробации технологии использовали эфельные отходы и образцы почв из района добычи полезных ископаемых с применением промприборов в ООО «Сибирь Недра». Контролем служили песок из карьера и садово-огородная почва из окрестностей г. Иркутска.

На первом этапе исследований провели оценку фитотоксичности перемытых песков (эфельные отходы с золотоносного месторождения) в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22030-2009, идентичным международному стандарту ИСО 22030:2005* «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность высших растений», а также методическими рекомендациями МР 2.1.7.2297-07 [27].

Пробоподготовку водных экстрактов из исследуемых образцов готовили согласно. 100 г воздушно-сухой массы пробы помещали в колбу вместимостью 1000 см³ и добавляли 4-кратное количество дистиллированной воды. Далее на аппарате для встряхивания жидкости полученную смесь встряхивали в течение 2 ч, после чего отстаивали в течение 30 мин. Надосадочную жидкость сифонировали и использовали для тестирования, непосредственно в разведениях 1:10, 1:100; 1:1000 (рис. 1).

Фитотоксичность определяли по изменению значений тест-параметров: энергии прорастания семян (E), длины корней (L_k) и длины ростков (L_p), под действием анализируемых растворов в сравнении с холостым опытом на семенах овса.

В чашки Петри диаметром 10 см на фильтровальную бумагу равномерно раскладывали по 25 семян, добавляли по 5 мл исследуемого раствора, экспонировали 3 сут при комнатной температуре, затем подсчитывали количество проросших семян и длину корней (см. рис. 2). Контролем служила дистиллированная вода, экстракт из садово-огородной почвы.

В качестве потенциальных аккумуляторов золота испытывали:



Рис. 1. Пробоподготовка водных экстрактов исследуемых песков для проведения фитотестирования
Fig. 1. Sample preparation of investigated sands aqueous extracts for phytotesting



1 — первый день; 2, 3 — третий день

Рис. 2. Процедура фитотестирования исследуемых образцов на семенах овса

Fig. 2. The phytotesting process of test samples on oat seeds

- подсолнечник (*Helianthus annuus* L.) сорт «Грызунчик», среднеспелый, от всходов до уборочной спелости 90–95 дней. Адаптирован к стрессовым ситуациям, высокозасухоустойчив. Растения высотой до 2 м. Корзинка Ø25–30 см (до 40 см), слегка выпуклая. Семена хорошо выполненные, крупные — масса 1000 семян превышает 100 г (доходит до 150);

- овес яровой (*Avena sativa*) сорт «Ровесник», среднеранний, пленчатый, включен в Госреестр по Западно-Сибирскому и Восточно-Сибирскому региону, засухоустойчив, устойчив к полеганию. Соломина средней высоты (100–110 см). Метелка односторонняя белая с желтоватым оттенком. Ости короткие, тонкие, белые. Процент остистых зерен составляет 5–10%. Зерно выровненное, крупное. Vegetационный период 78–90 дней;

- техническая конопля (*Cannabis sativa* L.) сорт «Надежда», среднеспелый сорт, вегетационный период 11–117 дней, маслянистого направления использования, отличается высокими стабильными урожаями, устойчива к корневым и стеблевым гнилям. Высота растений 203–219 см. Число междоузлий 10–12. Метелка компактная, длиной 55–66 см. Растение нераскидистое. Лист зе-

ленный, пальчатораздельный. Плод светло-серый орешек со слабовыраженным рисунком, его величина 3,2–3,7 мм.

Лабораторные исследования по изучению золотоаккумулирующей способности растений выполняли в условиях горшечных культур.

В вегетационные сосуды емкостью 5 л размещали по 2 кг эфелевого песка с месторождений Бодайбинского района, 1 л деионизированной воды, перемешивали и сеяли по 30 семян исследуемого растения, оставляли на открытом воздухе при естественном освещении и следили за всходами и ростом растений (см. рис. 3), периодически поливали. Через 17 недель наросшую биомассу собирали, разделяя наземную и корневую часть, тщательно промывали, сушили при температуре 80 °C и анализировали на наличие золота. В качестве контроля использовали песок, приобретенный в розничной сети из карьера под Иркутском, а также садово-огородную почву из садоводства «Иркут».

Анализ на содержание золота в исследуемых песках и растениях выполняли в аккредитованной лаборатории Ирригиредмета.

Пробоподготовку и анализ растительных образцов проводили по методике измерений НСАМ № 512-МС «Методика

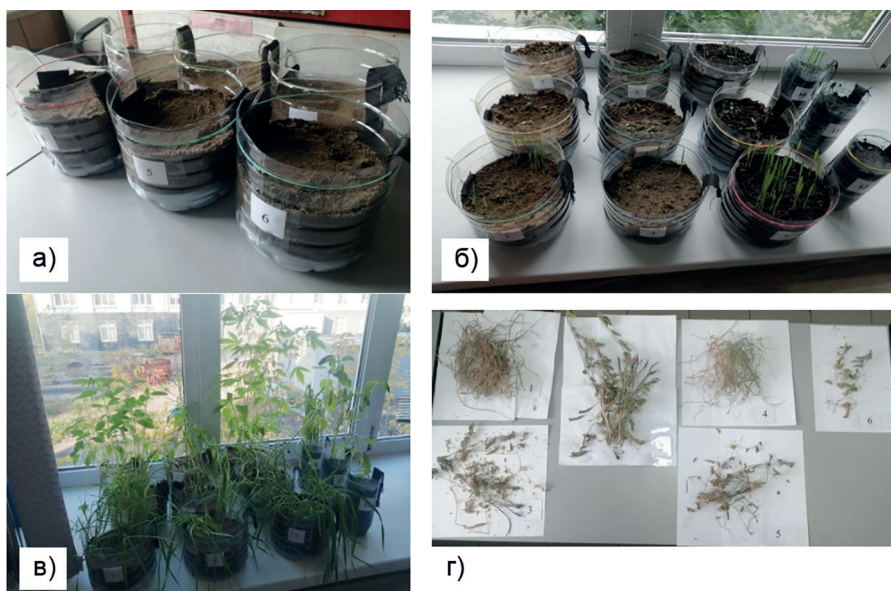


Рис. 3. Этапы эксперимента: подготовка емкостей и посев (а); всходы через 5 сут (б); урожай через 117 сут (в); высушенная биомасса растений (г)

Fig. 3. Experiment stages: container preparation and seeding (a); seedlings after 5 days (b); crop after 117 days (v); dried plant biomass (g)

измерений. Определение элементарного состава растительного происхождения (травы, листья) атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами анализа». Предел обнаружения золота составлял от 0,0030 до 100 мкг/г (г/т).

Результаты и их обсуждение

При токсикометрической диагностике образцов перемытых песков, отобранных в Бодайбинском районе, в районе деятельности ООО «Сибирь Недра», непосредственно с отвалов, а также

контрольного песка из карьера вблизи Иркутска и садово-огородной земли установлено, что водные экстракты не оказывают токсичного действия (табл. 2) на ростовые реакции овса.

Установлено, что образцы исследуемых песков не проявляют токсичных свойств и могут быть использованы как субстрат для выращивания растений [27].

Основываясь на данных зарубежных исследований, разрабатывающих технологию фитомайнинга, установили, что

Таблица 2

Результаты токсикометрических исследований образцов перемытых песков по энергии прорастания и длине корней овса посевного, % к контролю
Toxicometric research results of waste sand samples of germination energy and *Avena sativa* root length, % to control sample

Водные экстракты из образцов	0	1:1	1:10	1:100	1:1000
Песок с отвалов ООО «Сибирь Недра»	100	155	105	95	109
Песок с карьера близ г. Иркутска	100	145	101	100	99
Садово-огородная земля	100	160	157	150	145

растения, рекомендуемые для этих задач, должны обладать следующими свойствами: быстро расти, производить большой объем биомассы, легко убираться, обладать способностью растворять металлы из почв и грунтов, поглощать их корнями и накапливать в надземной части. Для выполнения этих функций растения должны иметь мощную корневую систему и сорбционную активность. Корни растений должны быть устойчивы к компонентам, которые могут присутствовать в техногенных месторождениях.

В качестве потенциальных аккумуляторов золота испытывали овес, подсолнечник и техническую коноплю. Наш выбор растений основывался на следующих фактах. Овес обладает фитосидеративными свойствами, способен повышать содержание доступных элементов в корнеобитаемом слое, меняет кислотность среды, а главное, рекомендован как тест-организмы в нормативных документах при оценке токсичности отходов.

Подсолнечник обладает мощной корневой системой, проникает в почву на глубину 2–3 м, максимальная урожайность 4,5 т/га, очень требователен к наличию воды и плодородию почв, минимальная температура прорастания 5 °С, при посеве температура почвы должна быть не ниже 6...8 °С, в зарубежных публикациях изучен и рекомендован как гипераккумулятор золота.

Техническая конопля ранее была запрещена к выращиванию на территории

России; сегодня коноплеводство возрождается, так как это уникальное растение с множеством полезных свойств, из нее получают коноплянное волокно, которое прочнее в 10 раз хлопка, является сырьем для производства бумаги, из нее получают биотопливо и т.д. Особенностью технической конопли является быстрый рост, за 110 дней растение достигает в высоту 2–3 м, и можно получить по несколько урожаев в год. В 2021 г. техническую коноплю стали возделывать на территории Восточной Сибири, в Бурятии, и получили высокий урожай. Корневая система конопли относится к стержневому типу. Это означает, что корни не сильно разрастаются в стороны, а стремительно уходят вглубь земли. Длина корня конопли может достигать 1,5–2 м, она может расти на бедных, песчаных почвах. Как аккумулятор золота не исследовалась.

В табл. 3 приведены результаты анализа содержания золота в биомассе растений, выращенных на песках с отвалов месторождений, разрабатываемых ООО «Сибирь Недра».

Как следует из приведенных данных, наибольшей золотоаккумулирующей способностью из исследованных растений обладает техническая конопля.

Показателем степени накопления элементов растениями является коэффициент биологического поглощения (КБП). КБП — это отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию его в почве. КБП позволяет

Таблица 3

Содержание золота в биомассе растений и песках, мкг/г
Gold content in plant biomass and sands, mcg/g

Образец	1 определение	2 определение	среднее
Песок	менее 0,2	менее 0,2	менее 0,2
Конопля	1,000	1,100	1,050
Подсолнечник	0,460	0,510	0,485
Овес	0,390	0,390	0,390

Таблица 4

**Коэффициенты биологического накопления
и биологического выноса золота исследуемыми растениями**
Bioaccumulation index and biological removal of gold index for research plants

Растение	КБН	Биологический вынос, г/га
Конопля	38	170,3
Подсолнечник	22	36,1
Овес	13	9,3

косвенно судить о степени доступности элемента для растений и его поведении в системе «почва — растение». Биологический вынос золота с урожаем растений определяется величиной урожая, содержанием металлов в растениях, а также биологическими особенностями возделываемых культур (табл. 4).

Для сравнения приведем данные, полученные ранее при опытно-промышленных испытаниях технологии фиторемедиации на Ангренской золотоизвлекательной фабрике.

Коэффициент накопления — отношение содержания вещества в тканях водного растения к его концентрации в воде для элодеи канадской — составил по золоту 630, серебру 510, а харовых водорослей — 810 и 620 соответственно. Установлено, что 1 га зарослей элодеи канадской за период вегетации может извлекать до 296 г золота и 210 г серебра.

В настоящее время нами совместно с узбекскими учеными опробуется биотехнология доизвлечения золота из сточных вод хвостохранилища на ЗИФ-3 Навоийского ГМК с использованием растений, произрастающих в регионе, а именно эхорнии, пистии.

Заключение

Подводя итог, необходимо отметить, что представленные в работе лабораторные исследования возможности использования растений — гипераккумуляторов золота для целей фитодобычи позволяют заключить, что технология извлечения золота из перемытых песков, основанная на использовании способности растений накапливать его, относится к экологически безопасной и перспективной альтернативе физико-химических методов. С учетом потенциальной эффективности использования растений-гипераккумуляторов необходимо провести детальные исследования по изучению степени влияния типа и pH песков, присутствия сопутствующих тяжелых металлов, форм нахождения золота, активировать гипераккумуляцию нейтральных форм золота применением цианидов, бромидов, тиосульфатов, оксикарбонильных соединений и других факторов, а также полевые испытания в условиях Бодайбинского района. Необходимо отработать технологию выделения золота из биомассы путем ее озоления (посредством сжигания) либо коксования (нагревом без доступа кислорода) с последующим извлечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасенко С. И., Лазариди А. Н. Золотая жила техногенных отвалов // Металлы Евразии. — 2012. — № 6. — С. 2—5.
2. Макаров В. А., Самородский П. Н. Актуальные вопросы оценки и освоения техногенных месторождений золота // Золото и технологии. — 2018. — № 4. — С. 72—89.

3. Мирзеханов Г. С. Оценочные критерии ресурсного потенциала техногенных образований россыпных месторождений золота Дальнего востока России // Вестник КРАУНЦ. Науки о земле. — 2014. — № 1(23). — С. 139—149.

4. Ковлеков И. И. Техногенное золото Якутии. — М.: Изд-во МГГУ, 2002. — 303 с.

5. Юргенсон Г. А., Шумилова Л. В., Хатькова А. Н. Лежалые хвосты комбината «Балей-золото»: проблемы утилизации // Вестник ЗабГУ. — 2021. — Т. 27. — № 4. — С. 45—55. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54.

6. Горлова О. Е., Шадрунова И. В., Жилина В. А., Чекушина Т. В. Повышение полноты извлечения золота из лежалых отходов переработки золотосодержащих руд // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 1. — С. 193—210. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-193-210.

7. Мамахатова Р. Эколого-экономические проблемы добычи и переработки золота в Сибири // Вестник инженерных изысканий. — 2020. — № 8(47). — С. 26—28.

8. Аренс В. Ж., Шумилова Л. В., Фазлуллин М. И., Хчеян Г. Х. Перспективные направления химической и микробиологической переработки минерального сырья цветных и благородных металлов // Металлург. — 2017. — № 9. — С. 2—89.

9. Аренс В. Ж. Геотехнология. — М.: Изд-во МИСиС. — 2018. — 100 с.

10. Голик В. И., Комащенко В. И. Практика выщелачивания металлов из отходов переработки руд // Известия ТулГУ. Науки о Земле. — 2016. — № 3. — С. 13—22.

11. Кузякина Т. И., Хайнасова Т. С., Левенец О. О. Биотехнология извлечения металлов из сульфидных руд // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. — 2008. — № 2(12). — С. 76—85.

12. Тимофеева С. С., Ульрих Д. В., Тимофеев С. С. Фитомайнинг как технология ревитализации территории меднорудных месторождений Южного Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № S6. — С. 3—16. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-6-3-16.

13. Гудков С. С., Шкетова Л. Е., Копылова Н. В., Михайлова А. Н. Кучное биовыщелачивание сульфидных руд // Золотодобыча. — 2011. — № 1(146). — С. 3—5.

14. Верховзина В. А., Тимофеева С. С., Верховзина Е. В., Шкетова Л. И. Исследование биотехнологической переработки сульфидной золотосодержащей руды // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. — 2019. — Т. 9. — № 1. — С. 109—117. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-1-109-117.

15. Kurniawan R., Henny C., Satya A. Identification of potential phytoaccumulator plants from tailings area as a gold phytomining agent // Journal of Ecological Engineering. 2022, vol. 23, no. 1, pp. 169—181. DOI: 10.12911/22998993/143978.

16. Sinha R., Singh A. K., Baudh K., Sharma T. R., Sharma P. Phytomining: a sustainable approach for recovery and extraction of valuable metals / Phytoremediation of Abandoned Mining and Oil Drilling Sites. Elsevier, 2021, pp. 487—506. DOI: 10.1016/B978-0-12-821200-4.00013-3.

17. Kumari P., Kumar P., Kumar T. An overview of phytomining: a metal extraction process from plant species // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. 2020, vol. 6, no. 12, pp. 1367—1376. DOI: 10.5281/zenodo.4066900.

18. Muthusamy L., Rajendran M., Ramamoorthy K., Narayanan M. Phytostabilization of metal mine tailings—a green remediation technology / Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water. Elsevier, 2022, pp. 243—253. DOI: 10.1016/B978-0-323-85763-5.00014-3.

19. Jovanovic G., Randelovic D., Markovic B., Sokic M. Overview of technologies for Zn extraction from hyperaccumulating plants: Current state of research and future directions // Journal of Mining and Metallurgy. 2022, vol. 58, no. 1, pp. 29—38. DOI: 10.5937/jmma2201029J.

20. Dinh T., Dobo Z., Kovacs H. Phytomining of rare earth elements. A review // Chemosphere. 2022, vol. 297, article 134259. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134259.

21. Hamdan A. M., Rahmi R., Hafidz A., Risplaman R. Future direction of Au agromining on how to solve artisanal and small scale gold mining problems // *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2021, vol. 8, no. 4, pp. 2971 – 2984. DOI: 10.15243/jdmlm.2021.084.2971.

22. Верховин С. С. Фитодобыча как новый способ извлечения ценных металлов с помощью растений. Фиторазведка, агродобыча // *Золотодобыча*. — 2018. — № 7(236). — С. 19–23.

23. Тимофеева С. С. Фитомайнинг: современное состояние и перспективы // *XXI век. Техносферная безопасность*. — 2018. — Т. 3. — № 3. — С. 112–128. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-3-112-128.

24. Dinh T., Dobo Z., Kovacs H. Phytomining of noble metals. — A review // *Chemosphere*. 2021, vol. 286, no. 7, article 131805. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131805.

25. Akinbile B. J., Makhubela B. C. E., Ambushe A. A. Phytomining of valuable metals: status and prospective. — A review // *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021, vol. 2021, pp. 1–21. DOI: 10.1080/03067319.2021.1917557.

26. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». — М.: Изд-во Минприроды России; НИА-Природа, 2016. — 639 с.

27. МР 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности: Методические рекомендации. — М.: ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2008. — 15 с. **ПЛАТ**

REFERENCES

1. Afanasenco S. I., Lazaridi A. N. Goldmine of technogenic dumps. *Metally Evrazii*. 2012, no. 6, pp. 2–5. [In Russ].

2. Makarov V. A., Samorodskiy P. N. Actual issues of evaluation and development of technogenic gold deposits. *Zoloto i tekhnologii*. 2018, no. 4, pp. 72–89. [In Russ].

3. Mizerkhanov G. S. Evaluation Criteria of resource potential of the Russian Far East's alluvial deposits technogenic formations. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy assotsiatsii «Uchebno-nauchnyy tsentr»*. Seriya: Nauki o Zemle. 2014, no. 1(23), pp. 139–149. [In Russ].

4. Kovlekov I. I. *Tekhnogennoe zoloto Yakutii* [Technogenic gold of Yakutia], Moscow, Izd-vo MGGU, 2002, 303 p.

5. Yurgenson G. A., Shumilov L. V., Khat'kova A. N. Stale tailings of the plant «Baleygold»: recycling problems. *Transbaikalian state university journal*. 2021, vol. 27, no. 4, pp. 45–55. [In Russ]. DOI: 10.21209/2227-9245-2021-27-4-45-54.

6. Gorlova O. E., Shadrinova I. V., Zhilina V. A., Checushina T. V. Increase in completeness of gold extraction from old waste gold waste processing. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2020, no. 1, pp. 193–210. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-193-210.

7. Mamahatova R. Ecological and economic problems of gold mining and processing in Siberia. *Vestnik inzhenernykh izyskaniy*. 2020, no. 8(47), pp. 26–28. [In Russ].

8. Arens V. Zh., Shumilova L. V., Fazlullin M. I., Hcheyan G. H. Promising chemical and microbiological processing directions of mineral raw materials of black and non-ferrous metals. *Metallurg*. 2017, no. 9, pp. 2–89. [In Russ].

9. Arens V. Zh. *Geotekhnologiya* [Geotechnology], Moscow, Izd-vo MISiS. 2018, 100 p.

10. Golik V. I., Komashenko V. I. Metal leaching practices from ore processing waste. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2016, no. 3, pp. 13–22. [In Russ].

11. Kuzyakina T. I., Hainasova T. S., Levehets O. O. Biotechnology for the extraction of metals from sulfide ores. *Vestnik Kamchatskoy regional'noy assotsiatsii «Uchebno-nauchnyy tsentr»*. Seriya: Nauki o Zemle. 2008, no. 2(12), pp. 76–85. [In Russ].

12. Timofeeva S. S., Ulrikh D. V., Timofeev S. S. Phytomining as a technology for revitalizing the territory of copper ore deposits in the Southern Urals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. S6, pp. 3–16. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-1-6-3-16.
13. Gudkov S. S., Shketova L. E., Kopulova N. V., Mikhailova A. N. Heap bioleaching of sulfide ores. *Zolotodobycha*. 2011, no. 1(146), pp. 3–5. [In Russ].
14. Verhozina V. A., Timofeeva S. S., Verhozina E. V., Shketova L. I. Research of biotech processing of sulfide gold ore. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*. 2019, vol. 9, no. 1, pp. 109–117. [In Russ]. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-1-109-117.
15. Kurniawan R., Henny C., Satya A. Identification of potential phytoaccumulator plants from tailings area as a gold phytomining agent. *Journal of Ecological Engineering*. 2022, vol. 23, no. 1, pp. 169–181. DOI: 10.12911/22998993/143978.
16. Sinha R., Singh A. K., Baudh K., Sharma T. R., Sharma P. Phytomining: a sustainable approach for recovery and extraction of valuable metals. *Phytoremediation of Abandoned Mining and Oil Drilling Sites*. Elsevier, 2021, pp. 487–506. DOI: 10.1016/B978-0-12-821200-4.00013-3.
17. Kumari P., Kumar P., Kumar T. An overview of phytomining: a metal extraction process from plant species. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 2020, vol. 6, no. 12, pp. 1367–1376. DOI: 10.5281/zenodo.4066900.
18. Muthusamy L., Rajendran M., Ramamoorthy K., Narayanan M. Phytostabilization of metal mine tailings – a green remediation technology. *Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water*. Elsevier, 2022, pp. 243–253. DOI: 10.1016/B978-0-323-85763-5.00014-3.
19. Jovanovic G., Randelovic D., Markovic B., Sokic M. Overview of technologies for Zn extraction from hyperaccumulating plants: Current state of research and future directions. *Journal of Mining and Metallurgy*. 2022, vol. 58, no. 1, pp. 29–38. DOI: 10.5937/jmma2201029J.
20. Dinh T., Dobo Z., Kovacs H. Phytomining of rare earth elements. A review. *Chemosphere*. 2022, vol. 297, article 134259. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134259.
21. Hamdan A. M., Rahmi R., Hafidz A., Risplaman R. Future direction of Au agromining on how to solve artisanal and small scale gold mining problems. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2021, vol. 8, no. 4, pp. 2971–2984. DOI: 10.15243/jdmlm.2021.084.2971.
22. Verhozina S. S. Phytoextraction like a new way of extraction of valuable metals with the help of plants. Phytoexploration, agricultural production. *Zolotodobycha*. 2018, no. 7(236), pp. 19–23. [In Russ].
23. Timofeeva S. S. Phytomining: Current state and prospects. *XXI Century. Technosphere Safety*. 2018, vol. 3, no. 3, pp. 112–128. (In Russ.) DOI: 10.21285/1814-3520-2018-3-112-128.
24. Dinh T., Dobo Z., Kovacs H. Phytomining of noble metals. A review. *Chemosphere*. 2021, vol. 286, no. 7, article 131805. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131805.
25. Akinbile B. J., Makhubela B. C. E., Ambushe A. A. Phytomining of valuable metals: status and prospective. A review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2021, vol. 2021, pp. 1–21. DOI: 10.1080/03067319.2021.1917557.
26. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu» [State Report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2015»], Moscow, Izd-vo Minprirody Rossii; NIA-Priroda, 2016, 639 p. [In Russ].
27. MR 2.1.7.2297-07. Obosnovanie klassa opasnosti otkhodov proizvodstva i potrebleniya po fitotoksichnosti: Metodicheskie rekomendatsii [MP 2.1.7.2297-07. Substantiation of the hazard class of production and consumption waste by phytotoxicity: Methodological recommendations], Moscow, FBUZ FTSGIE Rospotrebnadzora, 2008, 15 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дроздова Ирина Владиславовна¹ — аспирант,

e-mail: drozdovaiv@istu.edu,

ORCID ID: 0000-0003-2234-6566,

Тимофеева Светлана Семеновна¹ — д-р техн. наук,

профессор, e-mail: timofeeva@istu.edu,

ORCID ID: 0000-0001-8427-3732,

Тимофеев Семен Сергеевич¹ — старший преподаватель,

e-mail: timofeeva@istu.edu,

ORCID ID: 0000-0001-7085-9468,

¹ Иркутский национальный исследовательский технический университет.

Для контактов: Дроздова И.В., e-mail: drozdovaiv@istu.edu.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*I.V. Drozdova*¹, Graduate Student,

e-mail: drozdovaiv@istu.edu,

ORCID ID: 0000-0003-2234-6566,

*S.S. Timofeeva*¹, Dr. Sci. (Eng.),

Professor, e-mail: timofeeva@istu.edu,

ORCID ID: 0000-0001-8427-3732,

*S.S. Timofeev*¹, Senior Lecturer,

e-mail: timofeeva@istu.edu,

ORCID ID: 0000-0001-7085-9468

¹ Irkutsk National Research Technical University,

664074, Irkutsk, Russia.

Corresponding author: I.V. Drozdova, e-mail: drozdovaiv@istu.edu.

Получена редакцией 27.01.2023; получена после рецензии 22.03.2023; принята к печати 10.04.2023.

Received by the editors 27.01.2023; received after the review 22.03.2023; accepted for printing 10.04.2023.



НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Плащанский Л.А.

Электроснабжение горных предприятий

Год: 2023

Страниц: 496

ISBN: 978-5-98672-565-9

Приведены категории электроприемников с точки зрения надежности электроснабжения и их характеристики, методы определения электрических нагрузок. Рассмотрены переходные процессы, методы выбора напряжения и определения качества электрической энергии, особенно в сетях с нелинейной нагрузкой. Даны сведения о подстанциях, элементах и аппаратах системы электроснабжения. Изложены вопросы пуска и самозапуска электродвигателей, защиты электроустановок от аномальных режимов и перенапряжений, а также

устройства заземляющей сети. В каждом разделе приведены контрольные вопросы и темы рефератов для самостоятельной работы.