ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(5—1):35—45
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.013.364.2:519.72 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_35

ИННОВАЦИОННАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В. М. Аленичев[1], **М. В. Аленичев**[1]

[1] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Аннотация: Проблема сбережения георесурсов является актуальной для государственных органов, ответственных за состояние минерально-сырьевой базы страны. Сбережение георесурсов при разработке природных россыпей реализуется в современных условиях с использованием геоинформационных технологий, позволяющих при компьютерном планировании разработки россыпи дополнительно извлекать продуктивную горную массу из приконтактовых зон исходя из условия безубыточности её добычи. Полнота извлечения запасов из россыпи связана с предварительной оценкой содержания полезного компонента и последующей отработкой природно-техногенных образований, формируемых из охранных целиков и целиков, примыкающих непосредственно к природной россыпи, внутриконтурных, недоработанных и частично или полностью погребенных под отвалами зон и приплотиковых участков, хвостов переработки шлихового концентрата и аллювиальных отложений, возникающих по мере размыва отвалов и остаточных целиковых площадей. Пространственную связь факторов целесообразно отображать матричными корреляционными функциями, описывающими линейную, площадную и объемную связность геоданных. Математическое моделирование техногенных образований с учетом пространственной связи геоданных реализовано построением 2D- и 3D-карт. Исходными пространственными и атрибутивными геоданными являются результаты геологического опробования объекта.

Ключевые слова: георесурсы, россыпь, приконтактовые зоны, нулевая безубыточность, инновационная геотехнология, техногенный объект, потери, связь геоданных, моделирование.

Благодарность: Статья подготовлена по результатам выполнения темы 2: ГР № АААА-Ф19-119020790024-7 (0405-2019-006) и проводимых исследований по теме 2 (Госзадание № 075-00412-22 ПР. Тема 2 (2022—2024).

Для цитирования: *Аленичев В. М.*, *Аленичев М. В.* Инновационная направленность ресурсосбережения при разработке россыпных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5—1. — С. 35—45. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_35.

Innovative orientation of resource saving in development of placer deposits

V. M. Alenichev[1], **M. V. Alenichev**[1]

[1] Institute of Mining of the UB RAS, Ekaterinburg, Russia

© В. М. Аленичев, М. В. Аленичев. 2022

Abstract: The problem of saving geo-resources is a constant task of the state bodies responsible for the state of the mineral resource base of the country. Conservation of geological resources in the development of natural placers is realized in modern conditions with the use of geoinfomation technologies that allow for the computer planning of placer development to additionally extract productive mining mass from near-contact zones based on the break-even condition of its extraction. The completeness of the extraction of reserves from the placer is associated with a preliminary assessment of the content of the useful component and the subsequent development of natural and man-made formations formed from security tails and tails adjacent directly to the natural growth, intra-contour, unfinished and partially or completely buried under the dumps of zones and near-site areas, tailings processing of concentrate and alluvial deposits that occur as dumps and residual intact areas are washed away. It is advisable to display the spatial relationship of factors by matrix correlation functions describing the linear, areal and volumetric connectivity of geodata. Mathematical modeling of technogenic formations, taking into account the spatial connection of geodata, is implemented by constructing 2D and 3D maps. The initial spatial and attributive geodata are the results of geological testing of the object.

Key words: georesources, placer, contact zones, zero break-even, innovative geotechnology, technogenic object, losses, geodata communication, modeling.

Acknowledgements: The article was prepared based on the results of the implementation of topic 2: GR No. AAAAAF 19-119020790024-7 (0405-2019-006) and ongoing research on topic 2 (State Task No. 075-00412-22 PR).

For citation: Alenichev V. M., Alenichev M. V. Innovative orientation of resource saving in development of placer deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5—1):35—45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_35.

Введение

В связи с ростом мирового потребления минеральных ресурсов рациональное освоение месторождений твердых полезных ископаемых, учитывая их невозобновляемость и интенсивное использование, остается одним из приоритетных направлений горнодобывающей промышленности Российской Федерации, обеспечивающей увеличивающиеся потребности государства в продукции минерально-промышленного комплекса. Баланс интересов государства как собственника недр и недропользователя как арендатора недр достигается при увеличении полноты извлечения ресурсов, внедрении новой классификации потерь и их учета, особенно при разработке золотосодержащих россыпей, связанных с меньшими затратами на их освоение по сравнению с коренными месторождениями [1—7]. Эффективная эксплуатация золотосодержащих россыпных месторождений зависит не только от совершенствования классификации потерь и их учета, но и от границ отработки эксплуатационного пласта, пространственного распределения количественно-качественных характеристик полезных компонентов в природных россыпях и техногенных образованиях и использования при планировании выемочных работ горно-геологических информационных технологий (ГГИС-технологий), позволяющих мониторить состояние георесурсов и принимать управленческие решения [8, 9].

При разработке месторождения переход полезного ископаемого из балансовых запасов в недрах в товарную продукцию сопровождается трансформацией его в подвижное состояние, эксплуатационными потерями, разубоживанием и извлечением полезных и вредных компонентов. Подробно

процедуры, связанные с трансформацией сырья при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, рассмотрены в работах [10, 11]. Существенный вклад в развитие теории и практику ресурсосбережения внесли акад. К. Н. Трубецкой, чл-корр. Д. Р. Каплунов, доктора технических наук Е. И. Панфилов, С. А. Филиппов, В. М. Аленичев и другие.

Методология проведения работы

Успешное решение проблемы ресурсосбережения возможно при комплексном рассмотрении следующих организационно-управленческих задач: оптимизации границ эксплуатационного пласта при отработке россыпи в условиях безубыточности, моделировании распределения количественных и качественных характеристик полезных компонентов в природном и техногенном образованиях с учетом пространственной связи геоданных и использовании рекомендаций по повышению эффективности освоения запасов на основе совершенствования учета потерь в рыночных условиях [12, 13].

При разработке россыпных месторождений эксплуатационные потери, связанные с ведением выемочных работ, существенно зависят от способа определения границ эксплуатационного пласта в приконтактовых зонах [11, 14]. В связи с этим одним из инновационных базисов ресурсосберегающей геотехнологии при разработке россыпных месторождений является определение контура эксплуатационного пласта с использованием критерия нулевой прибыли [15].

Результаты исследований

Применение критерия нулевой прибыли при отработке приконтактовых зон россыпных золотосодержащих месторождений позволяет реализовать ресурсосбережение при отработке продуктивного пласта на уровне безубыточности, что подтверждается практическим опытом золотодобывающих предприятий. Фактический уровень безубыточности не превышает 0,7 после освоения проектных мощностей, что свидетельствует об устойчивой их экономической деятельности. Сущность предлагаемой инновации заключается в методике определения эксплуатационной мощности продуктивного пласта во вмещающих породах, содержащих полезный компонент.

В качестве оценочной функции используется минимальное содержание, отвечающее нулевой безубыточности, учитывающей количество полезного компонента и его сквозное извлечение, цену, общие затраты на добычу и промывку 1 м^3 золотосодержащей горной массы. При наличии полезного ископаемого в покрывающих породах определяется минимальное содержание полезного компонента $c_т^{мин}$, удовлетворяющее условию безубыточной добычи и переработки [15]:

$$c_т^{мин} = \frac{З_{доб} + З_{пер}}{\mu \cdot Ц}, \qquad (1)$$

где $З_{доб}$ — общие затраты на выемку 1 м^3 горной массы из слоя, приуроченного к изоповерхности минимального содержания, руб./м^3;

$З_{пер}$ — общие затраты на промывку 1 м^3 горной массы, руб./м^3;

μ — сквозное извлечение полезного компонента, д. е.;

Ц — цена золота, руб./г.

Расчетная мощность предохранительного слоя в кровле h_1 и глубина задирки пласта h_2 устанавливаются с учетом заданной доверительной границы t и доверительной вероятности p (p = 0,68; 0,95; 0,997):

$$h_1 = t \cdot \sigma_1, \quad (2)$$

$$h_2 = t \cdot \sigma_2, \quad (3)$$

где σ_1 и σ_2 — стандарты изменчивости соответственно отметок подошвы вскрышного уступа и подошвы добычного уступа. Величины данных стандартов вычисляются с учетом изменчивости подошвы вскрышного уступа и подошвы добычного, зависящей от используемого выемочного оборудования σ_3(σ_3 = 0,10÷0,15 м), по выражениям:

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma_1 + \sigma_3}, \quad (4)$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\sigma_1 + \sigma_3}, \quad (5)$$

Как отмечалось выше, сбережение георесурсов при ведении горных работ достигается за счет увеличения объема эксплуатационного пласта путем уточнения поверхностей кровли, почвы и в бортах за границей балансовых запасов. Эти поверхности определяются по критерию нулевой безубыточности добычи полезного ископаемого, извлекаемого из прирезаемых зон.

Средняя высота (мощность) пустых пород по полигону m зависит от разности отметок положения подошвы вскрышного уступа (Z_i^3, $i = \overline{1,N}$) и изоповерхности содержаний в кровле пласта (Z_i^2) относительного дневной поверхности (Z_i^1) и определяется по формуле:

$$m = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \min\left[(Z_i^1 - Z_i^2),(Z_i^1 - Z_i^3)\right], \quad (6)$$

где N — число отметок.

Средняя глубина задирки, обеспечивающая минимальное содержание полезного компонента в плотике по условию нулевой безубыточности, вычисляется по формуле:

$$h = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} \max\left[(Z_i^4 - Z_i^5),(Z_i^4 - Z_i^6)\right], \quad (7)$$

где Z_i^4 — отметка подошвы продуктивного пласта в *i-й* точке; Z_i^5 — отметка подошвы эксплуатационного пласта в *i-й* точке; Z_i^6 — отметка изоповерхности в плотике, соответствующая безубыточному содержанию полезного ископаемого в *i-й* точке.

Эксплуатационные потери песков при отработке пологозалегающих залежей в приконтактовых зонах определяются по формуле:

$$П_{\Delta l=1} = \frac{R \sin\alpha \cdot \sin\beta}{2\sin(\beta - \alpha)}, \text{ м}^3, \quad (8)$$

где R — основание треугольника потерь, обеспечивающего безубыточную добычу; α, β — угол соответственно падения рудного тела и откоса борта карьера.

Как показала практика отработки уральских россыпей, возможна полная выемка продуктивной массы из западений любой формы при использовании небольших драглайнов или гидравлических экскаваторов с нижним черпанием. Применение при разработке россыпей открытым способом вышеизложенного методического подхода для определения дополнительно извлекаемых объемов продуктивной горной массы способствует ресурсосбережению недр.

Степень извлечения запасов из россыпных месторождений неразрывно связана с предварительной оценкой содержания полезного компонента и последующей отработкой природно-техногенных образований, формируемых из охранных целиков, и целиков, примыкающих непосредственно к природной россыпи, внутриконтурных, недоработанных и частично или полностью погребенных под отвалами зон и приплотиковых участков, хвостов переработки шлихового концентрата и аллювиальных отложений, возникающих по мере размыва отвалов

и остаточных целиковых площадей. Распределение полезного компонента и среднее его содержание в различных целиках, зонах и участках в «остаточной» россыпи зависит в основном от горно-геологических условий «первичной» россыпи [16 — 18]. Распределение полезных компонентов в техногенном образовании требует более глубокого изучения, поскольку оно зависит от способа складирования и схемы заполнения отвала, порядка и интенсивности поступления объемов горной массы различного вида.

Освоение георесурсов природно-техногенных объектов, представляющих собой горно-промышленные отходы (ГПО), обеспечит поддержание минерально-сырьевой базы и одновременное решение социальных и экологических проблем. Количество металлов в ГПО с необходимой степенью точности и достоверности не характеризуется надежными технологическими и геолого-экономическими оценками [19, 20].

Для повышения полноты извлечения золота из россыпей Федеральным агентством по недропользованию (письмо № 324 от 14.08.2017 г. № СА-04-30/ 10154) и департаментом по недропользованию УрФО (письмо от 01.08.2017 г.) рекомендовано на техногенном золотосодержащем отвале проводить геолого-разведочные работы по проектам опытно-промышленной разработки (ОПР) с учетом индивидуальных особенностей и сложности геологического строения объекта. Проект ОПР согласовывается с территориальным органом Ростехнадзора. Недропользователь по мере отработки техногенного объекта представляет государственную отчетность по формам 5-гр и 2-лс с указанием факта постановки запасов на государственный баланс. Таким образом, процедура перевода ГПО в техногенные месторождения остается неизменной. При существенном снижении требований к её содержанию обеспечивается формальное соблюдение требований Закона РФ «О недрах». В последнее время в горнотехнической литературе высказывается мнение о целесообразности перевода горно-промышленных отходов под юрисдикцию Федерального закона «Об отходах производства и потребления», что позволит снизить административные барьеры, упростить документооборот (разведка, экспертиза запасов и др.) и реализовать отработку техногенных золотосодержащих образований на условиях коммерческого риска [18, 21 — 23].

Для повышения достоверности оценки содержания полезного компонента и его распределения в пространстве техногенного месторождения дискретные геоданные, полученные в результате проведения поисково-оценочных работ, необходимо трансформировать в непрерывные с использованием геостатистических и вероятностно-статистических методов анализа. Блок-схема построения цифровой модели золотосодержащего отвала (техногенного месторождения) представлена на рис. 1, в соответствии с которой пространственно-факторная связь геотехнологических данных определяется путем последовательного решения задач профильного, площадного и объемного моделирования. Моделирование профилей, являясь основой программного комплекса, позволяет оценивать интервалы корреляционной связности атрибутивных признаков между собой и выявлять закономерности их изменения вдоль выделенного профиля. Площадное моделирование (2D) позволяет в полностью автоматическом режиме создать двумерные цифровые модели по месторождению. Объемное моде-

Рис. 1. Блок-схема построения цифровой модели золотосодержащего отвала
Fig. 1. Block diagram of the construction of a digital model of a placer deposit

лирование (3D) обеспечивает создание трехмерных цифровых моделей на основе данных, полученных при проведении поисково-оценочных работ, геологической разведки (данные анализа керна, геофизических исследований) и эксплуатационного опробования.

С помощью данной подсистемы строятся погоризонтные планы и разрезы или карты усредненного содержания по всему техногенному образованию.

Апробация методики моделирования проведена при расчете прогнозного содержания и запасов по золотоносным отвалам, сформированным при разработке россыпи реки Винновка. Техногенные объекты представляли собой чередование гале-эфельных отвалов (хвостохранилищ) и участков выборочной ручной старательской отработки первичной россыпи.

В качестве примера и оценки адекватности моделирования проведены расчеты. По результатам опробования шурфов по глубине произведено оконтуривание блоков на всю высоту продуктивной толщи, что позволило установить валовое содержание золота в галечно-песчаном теле отвалов № 1, № 2 и № 3.

Для наглядности результатов компьютерного моделирования были выбраны в зависимости от содержания золота следующие цвета:

- содержание золота более 270 мг/м^3;
- содержание золота 240—270 мг/м^3;
- содержание золота 120—240 мг/м^3;
- содержание золота 60—120 мг/м^3.

Графическое моделирование распределения золота в продуктивной толще по отвалу № 1 представлено на рис. 2. Результаты компьютерного и ручного способов подсчета запасов в техногенных образованиях (отвалы № 1, № 2 и № 3) приведены в таблице.

Отклонения количества золота и его среднего содержания в отвалах вызвано наличием на отдельных участках зон повышенных значений площади и средней мощности, определенных с учетом тренда на участке более редкой разведочной сети. Расчет содержания, проводимый в каждой ячейке регулярной сети, позволяет точнее отобразить конечное распределение качества полезного ископаемого, которое зачастую не выявляется при оконтуривании линейной интерполяцией, используемой при ручных расчетах. Использование компьютерной программы для построения цифровой модели золотосодержащего отвала в десятки раз снижает трудоемкость проведения геолого-экономической оценки.

Обсуждение результатов

В зависимости от горно-геологических и горно-технических условий залегания эксплуатационные потери продуктивных песков возникают при:

Таблица

Результаты традиционного / компьютерного расчетов
Results of traditional / computer calculations

Отвал	Площадь, тыс. м^2	Средняя мощность, м	Объём горной массы, тыс. м^3	Среднее содержание, мг/м^3	Запас, кг
1	6,1 / 5,3	2,2 /2,2	13,3 / 11,7	233 / 295	3,1 / 3,4
2	3,4 / 3,2	3,1 / 3,05	10,5 / 9,7	219 / 243	2,3 / 2,4
3	4,3 / 3,9	3,2 / 3,2	13,8 / 12,5	257 / 270	3,5 / 3,4

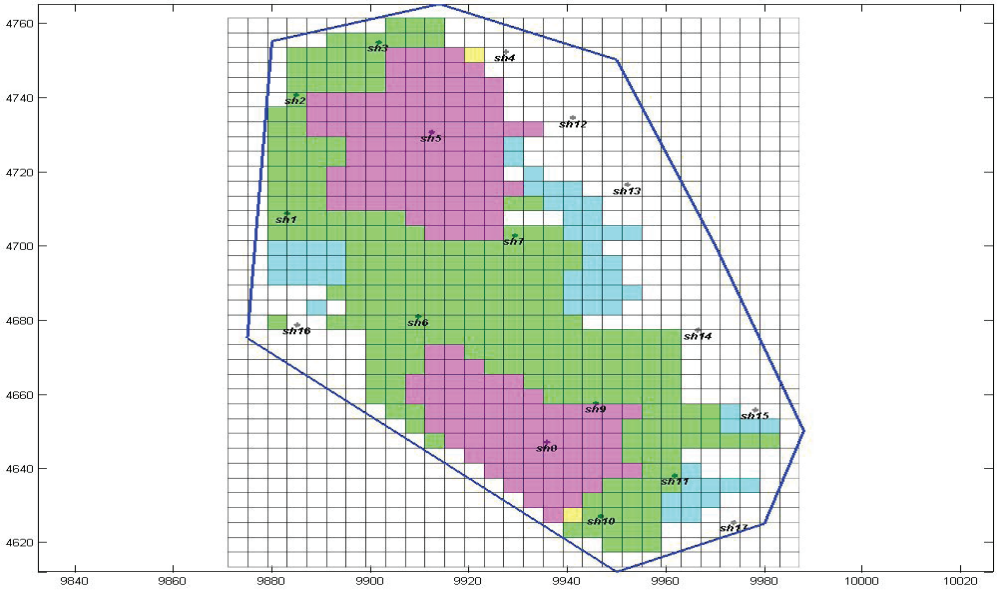

Рис. 2. Компьютерная модель распределения золота в отвале № 1
Fig. 2. Computer model of gold distribution in dump No. 1

– зачистке кровли и почвы пласта на горизонтально залегающих месторождениях;

– формировании горизонтальных рабочих площадок при разработке пологозалегающих месторождений;

– отработке наклонных и крутопадающих залежей при неравенстве углов откоса уступа и падения залежи.

Использование инновационной стратегии ресурсосбережения, позволяющей определять параметры эксплуатационного пласта и уточнять распределение полезного компонента в межскважинном пространстве обеспечивает снижение потерь полезного ископаемого.

Моделирование золотосодержащих отвалов, сформированных без проявления эффекта кластеризации, с учетом пространственной связи дискретных геоданных позволяет выявить распределение количественно-качественных характеристик полезного компонента.

Заключение

Сбережение георесурсов при разработке россыпных месторождений достигается извлечением дополнительных объемов продуктивной массы из приконтактовых и прибортовых зон при условии безубыточности их добычи.

Повышение геопотенциала природного месторождения достигается при вовлечении в отработку техногенных образований, количественную оценку которых необходимо проводить вероятностно-статистическими методами с учетом пространственной связи геоданных, полученных в результате геологическо-оценочного опробования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий черной металлургии с открытым способом разработка. Утв. Министерством черной металлургии СССР 11.03.1986. — Ленинград: МЧМ СССР Черметпроект Гипроруда, 1983. — 264 с.
2. Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки. Минцветмет СССР, ВНТП 35 — 86.
3. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживанию руды и песков на рудниках и приисках Министерства цветной Металлургии СССР. — 1975. — 197 с.
4. Методические указания по нормированию, определению и учету потерь и разубоживания золотосодержащей руды (песков) при добыче. — Иргиредмет. Иркутск. — 1994. — 265 с.
5. Отраслевая инструкция по определению, учету и нормированию потерь руды при разработке железорудных, марганцевых и хромитовых месторождений на предприятиях Министерства черной металлургии СССР: утв. МЧМ СССР 23.01.1975. — Белгород: МЧМ СССР Главруда, 1975.
6. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания руды и песков на рудниках и приисках Министерства цветной металлургии СССР, М., 1977. — 197 с.
7. Методические указания по нормированию, определению и учету потерь и разубоживания золотосодержащей руды (песков) при добыче. Иркутск. -1994. — 265 с.
8. *Струков К. И.* Состояние и перспективы развития золотодобычи на Южном Урале//Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Тула. Изд. ТулГУ. — 2021. Вып. 4. — С. 3–14.

9. *Carvalho F. P.* Mining industry and sustainable development: time for change. Food Energy Secur. 2017, 6, 61–77.

10. Проектирование карьеров: Учебник/К. Н. Трубецкой, Г. Л. Краснянский, В. В. Хронин, В. С. Коваленко. –3-е изд., перераб. — 2009. — М.: Высш шк. — 694 с.: ил.

11. *Каплунов Д. Р.*, *Рыльникова М. В.* Развитие научно-методических основ устойчивости функционирования горнотехнических систем в условиях внедрения нового технологического уклада// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Тула. Изд. ТулГУ. — 2021. Вып. 4. — С. 24–39.

12. *Wang X.*, *Xie, H.* A Review on Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources and Flood Risk Management. 2018, 10, 608.

13. *Аленичев В. М.*, *Аленичев М. В.*, *Борисков Ф. Ф.* Совершенствование классификации потерь полезных ископаемых применительно к современным условиям недропользования. — Недропользование — XXI век. — 2009. — № 2. — С. 36–40.

14. *Hou D.*, *O'Connor, Nathanail P.*, *Tian L.*, *Ma Y.* Integrated GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metal soil contamination: A critical review. ENVIRON. POLLUT. 2017, 231, 1188–1200.

15. Методические рекомендации при оценке инвестиционных проектов (вторая редакция). «Экономика». — М. — 2000. — 422 с.

16. *Аленичев В. М.*, *Аленичев М. В.* Геоинформационное обеспечение повышения эффективности использования потенциала россыпного месторождения //Маркшейдерия и недропользование. — 2017. — № 1 (87). — С. 53– 61.

17. *Jiang Q.*, *Feng X.*, *Song Y.*, *Zehg H.*, *Cui J.* Modeling rockspecimens through 3D printing: Tentative experiments and prospects//Acta Mechanica Sinica.2015. Vol. 32. No 1. Pp. 524–535.

18. *Чернявский А. Г.* О проблеме освоения техногенных ресурсов //Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2020. — № 3. — С. 58–64.

19. Горно-промышленные отходы — дополнительный источник минерального сырья / М. А. Комаров, В. А. Алискеров, В. И. Кусевич, В. Л. Заверткин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2007. — № 4. — С. 3 — 9.

20. *Киперман Ю. А.*, *Комаров М. А.* Горно-промышленные отходы в формировании ресурсосберегающей природоохранной политики // Минеральные ресурсы России, Экономика и управление. — 2016. — № 1 — 2. — С. 68 — 73,

21. Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). Утверждено распоряжением МПР России от 05.07.1999 № 83-р.

22. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Россыпные месторождения. Утверждено распоряжением МПР России от 05.06.2007 № 37-р.

23. Методика разведки россыпей золота и платиноидов. М.: ЦНИГРИ, НТК «Геоэксперт», 1992, 286 с. ГИАБ

REFERENCES

1. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornodobyvayushchih predpriyatij chernoj metallurgii s otkrytym sposobom razrabotka* [Norms of technological design of mining enterprises of ferrous metallurgy with an open method of development]. Approved. Ministry of Ferrous Metallurgy of the USSR 11.03.1986. Leningrad: Ministry of Emergency Situations of the USSR Chermetproekt Giproruda, 1983. p. 264. [In Russ].

2. *Normy tekhnologicheskogo proektirovaniya gornorudnyh predpriyatij cvetnoj metallurgii s otkrytym sposobom razrabotki* [Norms of technological design of mining enterprises of non-ferrous metallurgy with an open method of development]. Mintsvetmet of the USSR, VNTP 35 — 86. [In Russ].

3. *Otraslevaya instrukciya po opredeleniyu, normirovaniyu i uchetu poter' i razubozhivaniyu rudy i peskov na rudnikah i priiskah Ministerstva cvetnoj Metallurgii SSSR* [Branch instruction on determination, rationing and accounting of losses and dilution of ore and sands at mines and mines of the Ministry of Non-ferrous Metallurgy of the USSR]. 1975. p. 197. [In Russ].

4. *Metodicheskie ukazaniya po normirovaniyu, opredeleniyu i uchetu poter' i razubozhivaniya zolotosoderzhashchej rudy (peskov) pri dobyche* [Methodological guidelines for rationing, determining and accounting for losses and dilution of gold-bearing ore (sands) during mining. Irgiredmet]. Irkutsk. 1994. p. 265. [In Russ].

5. *Otraslevaya instrukciya po opredeleniyu, uchetu i normirovaniyu poter' rudy pri razrabotke zhelezorudnyh, margancevyh i hromitovyh mestorozhdenij na predpriyatiyah Ministerstva chernoj metallurgii SSSR* [Industry instruction on the determination, accounting and rationing of ore losses during the development of iron ore, manganese and chromite deposits at the enterprises of the Ministry of Ferrous Metallurgy of the USSR]: approved. Ministry of Emergency Situations of the USSR 23.01.1975. Belgorod: Ministry of Emergency Situations of the USSR Glavruda, 1975. [In Russ].

6. *Otraslevaya instrukciya po opredeleniyu, normirovaniyu i uchetu poter' i razubozhivaniya rudy i peskov na rudnikah i priiskah Ministerstva cvetnoj metallurgii SSSR* [Industry instruction on the definition, rationing and accounting of losses and dilution of ore and sands at mines and mines of the Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of the USSR], Moscow, 1977. p. 197. [In Russ].

7. *Metodicheskie ukazaniya po normirovaniyu, opredeleniyu i uchetu poter' i razubozhivaniya zolotosoderzhashchej rudy (peskov) pri dobyche* [Methodological guidelines for rationing, determining and accounting for losses and dilution of gold-bearing ore (sands) during mining]. Irkutsk. 1994. p. 265. [In Russ].

8. Strukov K. I. The state and prospects of development of gold mining in the Southern Urals. *Proceedings of Tula State University. Earth sciences*. Tula. Ed. Tula-GU. 2021. Issue 4. pp. 3—14. [In Russ].

9. Carvalho F. P. Mining industry and sustainable development: time for change. Food Energy Secur. 2017, 6, pp. 61—77.

10. Designing quarries: Textbook/K. N. Trubetskoy, G. L. Krasnyansky, V. V. Khronin, V. S. Kovalenko. 3rd ed., reprint 2009. Moscow: Higher School 694 p.: ill. [In Russ].

11. Kaplunov D. R., Rylnikova M. V. Development of scientific and methodological foundations of the sustainability of the functioning of mining systems in the conditions of the introduction of a new technological way. *Izvestiya Tula State University. Earth sciences*. Tula. TulSU Publishing House. 2021. Issue 4. pp. 24—39. [In Russ].

12. Wang X., Xie, H. A Review on Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources and Flood Risk Management. 2018, 10, 608.

13. Alenichev V. M., Alenichev M. V., Boriskov F. F. Improving the classification of mineral losses in relation to modern conditions of subsoil use. Subsoil use XXI century. 2009. no. 2. pp. 36—40. [In Russ].

14. Hou D., O'Connor, Nathanail P., Tian L., Ma Y. Integrated GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metal soil contamination: A critical re-view. ENVIRON. POLLUT. 2017, 231, 1188—1200.

15. Methodological recommendations for the evaluation of investment projects (second edition). "Economics". M. 2000. 422 p. [In Russ].

16. Alenichev V. M., Alenichev M. V. Geoinformation support for improving the efficiency of using the potential of a placer deposit. Surveying and subsoil use. 2017. no. 1 (87). pp. 53–61. [In Russ].

17. Jiang Q., Feng X., Song Y., Zehg H., Cui J. Modeling rockspecimens through 3D printing: Tentative experiments and prospects. *Acta Mechanica Sinica*. 2015. Vol. 32. No 1. pp. 524 — 535.

18. Chernyavsky A. G. On the problem of the development of technogenic resources. Mineral resources of Russia. *Economics and management*. 2020. No. 3. pp. 58 — 64. [In Russ].

19. Mining and industrial waste an additional source of mineral raw materials / M. A. Komarov, V. A. Aliskerov, V. I. Kusevich, V. L. Zavertkin. *Mineral Resources of Russia. Economics and management*. 2007. no. 4. pp. 3 — 9. [In Russ].

20. Kiperman Yu. A., Komarov M. A. Mining and industrial waste in the formation of resource-saving environmental policy. *Mineral resources of Russia, Economics and management*. 2016. no. 1 — 2. pp. 68 — 73. [In Russ].

21. *Polozhenie o poryadke provedeniya geologorazvedochnyh rabot po etapam i stadiyam (tverdye poleznye iskopaemye)* [Regulations on the procedure for conducting geological exploration by Stages and Stages (Solid Minerals)]. Approved by the Order of the MPR of Russia dated 05.07.1999 No. 83-p. [In Russ].

22. *Metodicheskie rekomendacii po primeneniyu Klassifikacii zapasov mestorozhdenij i prognoznyh resursov tverdyh poleznyh iskopaemyh. Rossypnye mestorozhdeniya* [Methodological recommendations for the application of the Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals]. Placer deposits. Approved by the order of the MPR of Russia dated 05.06.2007. no. 37-R. [In Russ].

23. *Metodika razvedki rossypej zolota i platinoidov* [Methods of exploration of placers of gold and platinoids]. Moscow: TsNIGRI, NTK “Geoexpert”, 1992, 286 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аленичев Виктор Михайлович[1] — докт. техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, alenichev@igduran.ru;
Аленичев Михаил Викторович[1] — соискатель;
[1] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alenichev V. M.[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, alenichev@igduran.ru;
Alenichev M. V.[1], competitor of a scientific degree of candidate of sciences, (Groduate Student), alenichev@mail.ru;
[1] Institute of Mining of the UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 01.11.2021; получена после рецензии 03.03.2022; принята к печати 10.04.2022.
Received by the editors 01.11.2021; received after the review 03.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.