

УДК 622:[550.8:519.72]

Аленичев Виктор Михайлович

доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: alenichev@igduran.ru

**НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ
ПОЛНОТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕСУРСОВ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ****Аннотация:*

Росгеолфонд и его территориальные фонды актуализируют горно-геологическую информацию за счет непрерывного пополнения и накопления оперативных сведений, поступающих в обязательном порядке от недропользователей, что обеспечивает получение достоверных геоданных, необходимых при обосновании эффективных и ресурсосберегающих геотехнологий для разработки природных россыпей и техногенных золотосодержащих образований. Предложена структура потерь полезного компонента при открытой раздельной разработке россыпей. Повышение полноты извлечения ресурсов при разработке россыпей достигается при своевременной корректировке инженерных решений, принимаемых на основе актуализированных горно-геологических данных с пространственной привязкой их к горно-технологической информационной системе и оценке содержания полезного компонента и его распределения в пространстве техногенного образования путем трансформации дискретных (точечных) геоданных с использованием геостатистических и вероятностно-статистических методов анализа.

Ключевые слова: геоданные, природно-технологический объект, потери, россыпь, техногенный объект, актуализация информации.

DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.087

Alenichev Viktor M.

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Chief Researcher, Institute of Mining,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
620075 Ekaterinburg,
58 Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: alenichev@igduran.ru

**DIRECTIONS FOR INCREASING
THE COMPLETENESS OF RESOURCE
EXTRACTION IN THE DEVELOPMENT
OF PLACERS***Abstract:*

Rosgeolfond and its territorial funds update mining and geological information due to the continuous replenishment and accumulation of operational information received without failure from subsoil users, which ensures the receipt of reliable geodata necessary for the justification of effective and resource-saving geotechnologies for the development of natural placers and man-made gold-bearing formations. The paper propose the structure of the losses of the useful component in the open-cut development of placers. An increase in the completeness of resource extraction during placer development is to achieve with timely adjustment of engineering decisions made on the basis of updated mining and geological data with spatial reference to the mining and technological information system and assessment of the content of the useful component and its distribution in the space of technogenic formation, by transformation of discrete (pointwise) geodata, using geostatistical and probabilistic statistical analysis methods.

Key words: geodata, natural-technological object, losses, placer, technogenic object, updating of information.

Введение

Минерально-промышленный комплекс Российской Федерации, оставаясь одним из приоритетных секторов экономики, обеспечивает увеличивающиеся потребности государства в минеральном сырье практически во всех сферах жизнедеятельности (промышленность, сельское хозяйство, ЖКХ, космос и т.д.) и вносит наибольший вклад в наполнение государственного бюджета страны. При невозобновляемости минеральных ресурсов и интенсивном их использовании реализация социально-экономического развития страны ориентирована на рациональное освоение месторождений. Одним из основных показателей рационального недропользования наряду с экономикой является полнота извлечения ресурсов, адекватная в большинстве случаев минимально допустимым потерям полезного ископаемого. Успешное решение этой задачи возможно при

* Работа выполнена в рамках Госзадания № 007-00293-18-00, тема № 0405-2019-0006.

использовании актуализированных геоданных по природным россыпям и техногенным образованиям, необходимых для выбора рациональной технологии разработки и промывки продуктивной массы.

Состояние вопроса

Понятие «геоданные» в недропользовании связано с информацией о геологических образованиях, месторождениях, горно-геологических условиях, техногенных объектах (шахты, карьеры, отвалы и т.п.), характеристиках минерального состава, текстурно-структурных особенностях полезного ископаемого, физических свойствах пород и горного массива. Геоинформационное обеспечение природно-технологической системы, характеризующее ее состояние при недропользовании, целесообразно базировать на общих универсальных принципах управления: комплексности, системности, научности, гибкости, обратной связи и эффективности. Поэтому необходимость анализа тенденций создания и хранения горно-геологической информации является перманентной задачей недропользователей. Качество геоданных характеризуется их полнотой, актуальностью, точностью, достоверностью, содержательностью, репрезентативностью и устойчивостью. Надежность геоданных оценивается комплексом свойств: корректностью, устойчивостью, восстанавливаемостью и исправляемостью. Следует иметь в виду, что рутинная работа и человеческий фактор при интерпретации геоданных и подготовке решений приводят к использованию простых линейных связей, потере информации при транзакциях и хранении, разнородности и разобщенности данных, слабой формализации экспертных знаний и интеграции информации.

В связи с изменением законодательства о недрах и недропользовании [1] система сбора, хранения и предоставления геологической информации перестала удовлетворять потребностям государства и общества в оперативности предоставления геологической информации, в том числе для управления государственным фондом недр. Для исправления сложившегося положения правительство Российской Федерации в 2015 г. внесло существенные изменения в технологии сбора, хранения и предоставления геологической информации [2 – 8], что позволит в дальнейшем актуализировать геоданные за счет непрерывного пополнения и накопления текущей (оперативной) геологической информации, поступающей в обязательном порядке от недропользователей. Структурная схема использования геоданных для оценки запасов, определения кондиций, проектирования горного предприятия и его функционирования при разработке природных и техногенных образований представлена на рис. 1.

Основным документом, определяющим содержание геологоразведочных работ при изучении россыпных месторождений и техногенных объектов, содержащих драгоценные и редкоземельные металлы, являются «Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (россыпные месторождения)» (Приложение 41 к распоряжению МПР РФ от 05.06.2007 г. № 37-р) и приказ Минприроды России от 23 мая 2011 г. № 378 «Об утверждении Требований к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов твердых полезных ископаемых». Геоинформационное обеспечение золотодобывающего предприятия с открытым способом разработки россыпей, соответствующее существующей классификации потерь – общекатьерные потери, потери при ведении горных работ (эксплуатационные) и при переработке продуктивной массы на обогатительном оборудовании (технологические) – позволяет в процессе разработки и эксплуатации месторождения контролировать и вносить соответствующие изменения в геотехнологию, направленные на повышение степени извлечения минерального сырья из недр [9] (рис. 2). Одно из направлений повышения полноты извлечения запасов при разработке россыпей связано с перманентной актуализацией геоданных, с учетом которых принимаются к исполнению технологические решения, в наибольшей мере отвечающие изменившимся горно-геологическим условиям.



Рис.1. Структурная схема использования геоданных
Figure 1. Block diagram of the use of geodata

Общекарьерные потери золота по некоторым россыпям Уральского региона изменяются в достаточно широком диапазоне (от 0,7 до 17,6 %) и характеризуются как временно неактивные запасы, поскольку связаны с целиками, расположенными под охранными зонами, гидротехническими сооружениями, транспортными и другими коммуникациями. С изменением инфраструктуры прилегающей территории некоторые из них в дальнейшем вовлекаются в промышленное освоение.

Эксплуатационные потери обусловлены горными работами и зависят от следующих факторов:

- геологических (условия залегания россыпи, мощность вскрышных пород и продуктивной толщи, изменчивость ее кровли и почвы, наличие в продуктивной толще свободной воды, затрудняющей доставку песков к промывочному оборудованию);
- геотехнологических (схема отработки, способ выемки, параметры и тип выемочного и транспортного оборудования, физико-механические свойства горной массы).

Технологические потери, образующиеся при промывке продуктивной массы на аппаратах гравитационного обогащения, зависят от физико-механических свойств (плотности, гранулометрического состава полезного компонента и продуктивной толщи, промывистости), структурно-текстурных особенностей (минералогического состава продуктивной массы, наличия тяжелых фракций сопутствующих минералов, формы золотин), применяемого оборудования и отношения Т:Ж. В связи с усугублением экологических проблем и успешными исследованиями методы гравитационного обогащения (gravity recoverable gold, GRG) становятся все более актуальными по сравнению с флотацией и цианированием, которые основаны на использовании химических реагентов и в настоящее время становятся общепризнанной практикой изучения россыпей. Необходимо отметить, что единой общепринятой теории гравитационного обогащения песков в настоящее время не существует.

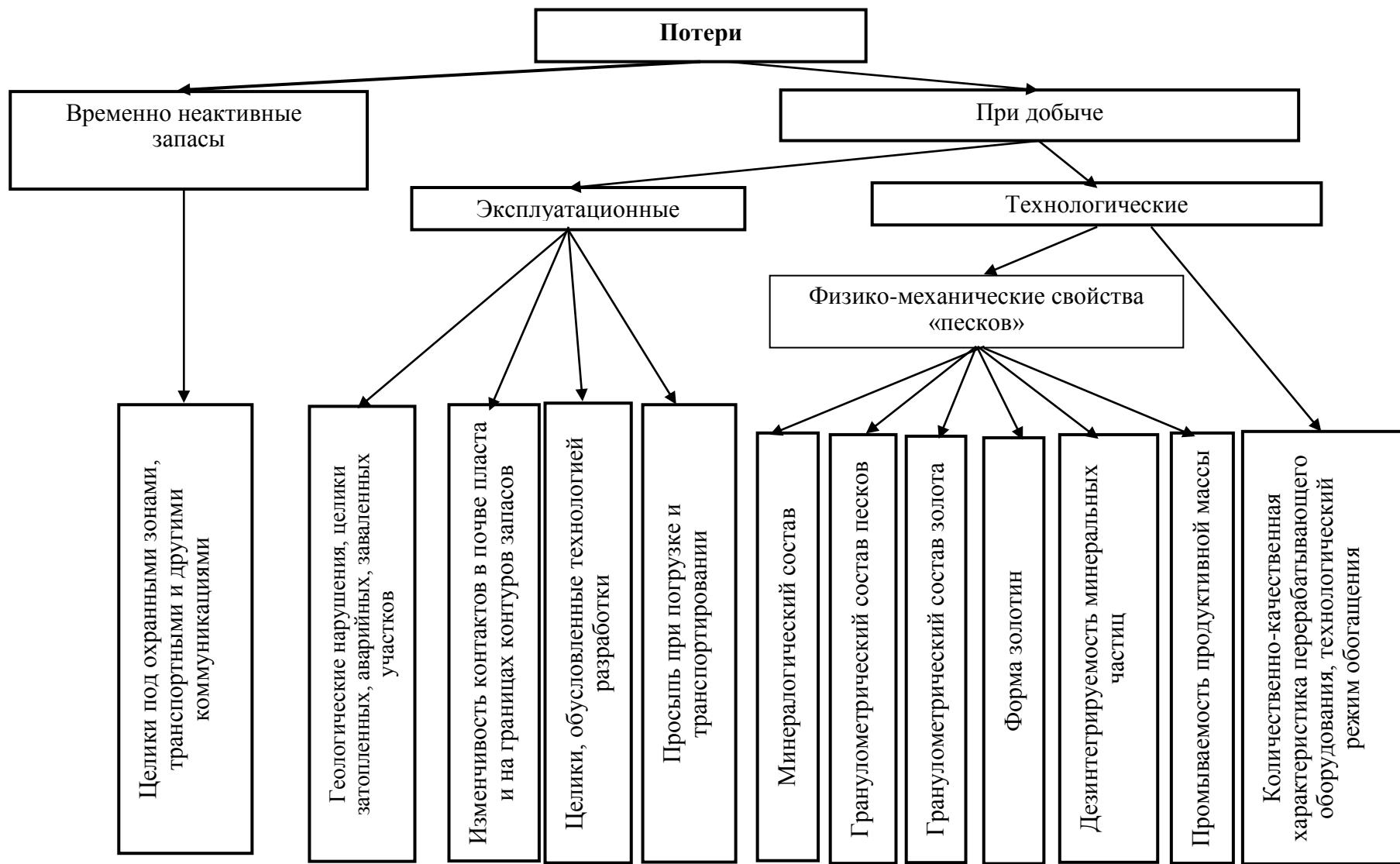


Рис. 2. Структура потерь полезного компонента при открытой раздельной разработке россыпей
 Figure 2. Structure of losses of a useful component in open separate placer mining

Вовлечение в переработку техногенных объектов, представленных при разработке россыпей отвалами вскрышных пород (торфов), галеефельными фракциями и илоотстойниками, находящимися в различных состояниях (рекультивированные или сохранившиеся в первоначальном состоянии), приводит к повышению полноты извлечения ресурсов при недропользовании и увеличению минерально-сырьевой базы действующего предприятия. Анализ горно-технической литературы свидетельствует, что в подобных техногенных объектах в соответствии с ранее согласованными нормативами потерь находится от 3 до 10 % золота от разведанных запасов. Ресурсный потенциал техногенного образования определяется производственными факторами и горно-геологическими параметрами, основными из которых являются технология и оборудование для добычи и промывки песков, запасы отработанной россыпи, объемы галечных и эфельных фракций, первичное содержание драгметалла в песках, гранулометрический состав продуктивных песков и золота, морфология и литология золота, способы доводки шлифов и шлиховых концентратов, наличие тяжелых минералов в шлихе исходных песков, характеристика плотика, продолжительность промывки при отрицательной температуре, мероприятия, проведенные после отработки россыпи, и качество разведки. Технологическая оценка техногенного минерального сырья как фактора повышения эффективности использования недр является актуальной задачей горной науки [10 – 14].

Отвалы формируются из горных пород с непромышленной концентрацией полезных минералов, маломощных висячих пластов, селективная отработка которых нерентабельна. Гранулометрический состав металла в этих образованиях меньше, чем в «первичных» месторождениях, хотя и не исключается наличие крупных самородков. Распределение полезных компонентов в техногенных месторождениях отличается от первоначальных россыпей и требует более глубокого изучения, поскольку их формирование зависит от способа складирования и заполнения отвала, порядка и интенсивности поступления горной массы различного вида, процесса сегрегации складированных пород и драгоценных металлов. Обычные методы разведки и получения данных для подсчета запасов оказываются непригодными, что касается и ранее используемых технологий добычи и переработки сырья. Поэтому разведку техногенных образований рекомендуется проводить шурфами или скважинами по прямоугольной или квадратной сети, учитывая, что первоначальное строение россыпи в процессе разработки было полностью нарушено [15]. Содержание полезного компонента и его распределение в пространстве техногенного объекта вычисляется путем трансформации дискретных геоданных опробования с использованием геостатистических и вероятностно-статистических методов анализа. Для хранения горно-геологической информации, как показал практический опыт, целесообразно использовать реляционную базу данных.

В целях повышения полноты извлечения полезных компонентов Федеральное Агентство по недропользованию рекомендовало департаменту недропользования УрФО (письмо № 324 от 14.08.2017 г.) проводить геологоразведочные работы на техногенных золотосодержащих отвалах с учетом индивидуальных особенностей и сложности геологического строения каждого объекта. Изучение подобных объектов осуществляется в процессе опытно-промышленной разработки (ОПР). Проект ОПР, согласованный с территориальным органом Ростехнадзора, позволяет недропользователю проводить геологоразведочные работы, совмещенные с извлечением золота. Государственная экспертиза запасов проводится на любой стадии геологического изучения объекта как до, так и после утверждения проекта ОПР. По результатам оценки недропользователь предьявляет государственную отчетность по формам 5-гр и 2-лс с указанием факта поставки их на государственный баланс.

Ранее проведенными в ИГД УрО РАН исследованиями доказано, что достоверное определение содержания полезного компонента и его распределение в пространстве техногенного месторождения, зависящее от способа складирования и заполнения

отвала, порядка и интенсивности поступления объемов горной массы различного вида, процесса сегрегации складываемых пород и драгоценных металлов, достигается путем трансформации дискретных геоданных с использованием геостатистических и вероятностно-статистических методов анализа [15,16].

Поддержание в актуальном состоянии банка горно-геологических данных в соответствии с современным развитием информационных технологий – цифровизацией – сводится к формированию целостной технологической среды в виде «Цифрового ядра» с дружественным интерфейсом (методическим, документальным и т. п.) для накопления, хранения, обработки, трансформации и передачи численных значений о свойствах горных пород. «Цифровой ядро» представляет собой математическую модель физического образца, включающую совокупность данных об объемной структуре и физических свойствах породы, элементном, химическом и минеральном составе ее компонентов с привязкой получаемых данных к горно-геологической информационной системе (ГИС) [17 – 19].

Процедуры актуализации геоданных включают выбор и анализ информации, полученной на различных стадиях геологического изучения объекта (детальная и эксплуатационная разведки, оперативное опробование, привлечение вероятностно-статистических методов и ретроспективных данных объектов-аналогов) и отражающей (учитывающей) трансформацию концептуальной модели, соответствующей мнению профессионального сообщества и отвечающей практическому использованию.

Обсуждение результатов

Повышение полноты извлечения запасов при разработке природной россыпи достигается совершенствованием технологии горных работ и режимов промывки продуктивных песков на основании перманентного уточнения геоданных, влияющих на эксплуатационные и технологические потери. С ужесточением экологических требований методы гравитационного обогащения (gravity recoverable gold, GRG) являются более востребованными по сравнению с флотацией и цианированием и становятся общепризнанной практикой изучения рудных месторождений.

Вовлечение в отработку техногенных образований, являющихся неотъемлемыми элементами инфраструктуры действующего горнодобывающего предприятия, повышает эффективность использования недр и расширяет минерально-сырьевую базу горного предприятия. Совмещение опытно-промышленной разработки техногенных объектов по проекту, согласованному с территориальным органом Ростехнадзора, позволяет недропользователю проводить геологоразведочные работы, совмещенные с извлечением золота, и по результатам оценки предьявляет государственную отчетность по формам 5-гр и 2-лс. Достоверное определение содержания полезного компонента и его распределение в пространстве техногенного месторождения зависит от способа складирования и заполнения отвала, порядка и интенсивности поступления объемов горной массы различного вида, процесса сегрегации складываемых пород и драгоценных металлов и определяется процедурой трансформации дискретных (точечных) геоданных с использованием геостатистических и вероятностно-статистических методов анализа.

Выводы

Создание в системе Федерального агентства по недропользованию структуры Росгеолфонда позволяет реализовать актуализацию геоданных за счет непрерывного пополнения и накопления текущей (оперативной) геоинформации, поступающей в обязательном порядке от недропользователей.

Повышение ресурсного потенциала россыпного месторождения достигается за счет

– корректировки решений, принимаемых на стадии разработки россыпи на основе актуализированных горно-геологических данных с пространственной привязкой их к горно-технологической информационной системе;

– оценки содержания полезного компонента и его распределения в пространстве техногенного образования путем трансформации дискретных (точечных) геоданных с использованием геостатистических и вероятностно-статистических методов анализа.

Список литературы

1. Постановление Совета Народных Комиссаров Союза ССР от 27.03.1937 г. № 517 «О Всесоюзном Геологическом фонде». URL: <https://old.rfgf.ru/1-1-1.htm> (дата обращения: 27.12.2021).

2. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии России от 24.10.2016 № 555 «Об утверждении Перечней первичной геологической информации о недрах и интерпретированной геологической информации о недрах, представляемых пользователем недр в Федеральный фонд геологической информации и его территориальные фонды, фонды геологической информации субъектов РФ по видам пользования недрами и видам полезных ископаемых» URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=283780> (дата обращения 27.12.2021).

3. Федеральный закон от 29.06.2015 № 205-ФЗ «О внесении изменений в Закон «О недрах» и отдельные законодательные акты РФ». URL: <https://bazanpa.ru/gd-rf-zakon-n205-fz-ot29062015-h2536547/> (дата обращения 27.12.2021).

4. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18977> (дата обращения 27.12.2021)

5. Федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27684/page/1> (дата обращения 27.12.2021).

6. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39815> (дата обращения 27.12.2021).

7. ГОСТ 8.563-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методы (методики) измерений». URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200077909?marker=7D20K3> (дата обращения 27.12.2021).

8. Аракчеев Д.Б., Юон Е.М., 2018. Геофонд: от архива к цифровому управлению недропользованием. *Недропользование XXI век*, № 5 (75), С. 70 - 77.

9. Яковлев В.Л., Аленичев В.М., 2015. Пути повышения эффективности освоения запасов на основе совершенствования методов нормирования потерь. *Маркшейдерия и недропользование*, № 2 (77), С. 24 – 28.

10. Подтуркин Ю.А., 2009. Проблемы правового обеспечения хозяйственной деятельности при разработке техногенных месторождений. *Маркшейдерия и недропользование*, № 6, С. 29 – 33.

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

12. Moridi, Mohammad Ali, Youhei Kawamura, Mostafa Sharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hyongdoo Jang, Hirokazu Okawa, 2015. Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated ZigBee and GIS. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (5), p. 811 – 818.

13. Pimentel B.S., Gonzalez E.S., Barbosa G.N.O., 2016. Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112, P. 2145 - 2157.

14. Espinoza R. D., Rojo J., 2017. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector. *Resources Policy*, Vol. 52, P. 7 - 18.

15. Шило Н.А., 1985. *Основы учения о россыпях*. 2-е изд. Москва: Наука, 400 с.

16. Аленичев В.М., Аленичев М.В., Уманский А.Б., 2011. Геоинформационное обеспечение проблемы полноты извлечения запасов при разработке россыпей. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 6, С. 51 – 63.

16. Аленичев В.М., Аленичев М.В., Уманский А.Б., 2015. Учет пространственной связи геоданных при создании моделей россыпей. *Недропользование – XXI век*, № 2 (52), С. 24 – 31.

17. Шнуров И.В., Коровина Т.А., Романов Е.А., Шиманский В.В., 2018. Повышение достоверности геологической информации. Система геологического изучения недр. *Недропользование XXI век*, № С. 104 – 109.

18. Шкловер В.Я., Артемов Н.А., Марясев И.Г., Дмитриева Т.Г., Рашковский А.Ю., Карпов В.А., 2018. Технология анализа и цифрового моделирования ядра как составляющая часть инфраструктуры «цифрового месторождения». От геологоразведки до промышленной эксплуатации. *Недропользование XXI век*, № 5 (75), С. 84 – 97.

19. Бочков А.С., 2018. Приоритеты цифровой трансформации в геологоразведке на примере ПАО «Газпромнефть». *Недропользование XXI век*, № 5 (75), С. 78 – 83.

References

1. *Postanovlenie Soveta Narodnykh Komissarov Soyuza SSR ot 27.03.1937 g. № 517 "O Vsesoyuznom Geologicheskome fonde"* [Resolution of the Council of People's Commissars of the USSR of 27.03.1937 No. 517 "On the All-Union Geological Fund"]. URL: <https://old.rfgf.ru/1-1-1.htm> (data obrashcheniya: 27.12.2021).

2. *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossii ot 24.10.2016 № 555 "Ob utverzhdenii Perechnei pervichnoi geologicheskoi informatsii o nedrakh i interpretirovannoi geologicheskoi informatsii o nedrakh, predstavlyaemykh pol'zova-telem nedr v Federal'nyi fond geologicheskoi informatsii i ego territoriyal'nye fondy, fondy geologicheskoi informatsii sub"ektov RF po vidam pol'zovaniya nedrami i vidam poleznykh iskopaemykh"* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of Russia dated 24.10.2016 No. 555 "On approval of the Lists of primary geological information about the subsoil and interpreted geological information about the subsoil submitted by the subsoil user to the Federal Fund for Geological Information and its territorial funds, funds of geological information of the subjects of the Russian Federation by types of subsoil use and types of minerals"]. URL: [https://normativ.kontur.ru/document? moduleId=1&documentId=283780](https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=283780) (data obrashcheniya 27.12.2021).

3. *Federal'nyi zakon ot 29.06.2015 № 205-FZ "O vnesenii izmenenii v Zakon "O nedrakh" i otdel'nye zakonodatel'nye akty RF"* [Federal Law No. 205-FZ of 29.06.2015 "On Amendments to the Law "On Subsoil" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation"]. URL: <https://bazanpa.ru/gd-rf-zakon-n205-fz-ot29062015-h2536547/> (data obrashcheniya 27.12.2021).

4. *Federal'nyi zakon ot 27.12.2002 № 184-FZ "O tekhnicheskome regulirovanii"* [Federal Law No. 184-FZ of 27.12.2002 "On Technical Regulation"]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18977> (data obrashcheniya 27.12.2021)

5. *Federal'nyi zakon ot 26.06.2008 № 102-FZ "Ob obespechenii edinstva izmerenii"* [Federal Law No. 102-FZ of 26.06.2008 "On ensuring the uniformity of measurements"]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/27684/page/1> (data obrashcheniya 27.12.2021).

6. *Federal'nyi zakon ot 29.06.2015 № 162-FZ "O standartizatsii v Rossiiskoi Federatsii"* [Federal Law No. 162-FZ of 29.06.2015 "On Standardization in the Russian Federation"]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/39815> (data obrashcheniya 27.12.2021).

7. *GOST 8.563-2009 "Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenii. Metody (metodiki) izmerenii"* [GOST 8.563-2009 "State system for ensuring the uniformity of measurements. Measurement methods (techniques)"]. URL: [https://docs.cntd.ru/document/1200077909? marker=7D20K3](https://docs.cntd.ru/document/1200077909?marker=7D20K3) (data obrashcheniya 27.12.2021).

8. Arakcheev D.B., Yuon E.M., 2018. *Geofond: ot arkhiva k tsifrovomu upravleniyu nedropol'zovaniem* [Geofund: from archive to digital management of subsoil use]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, № 5 (75), P. 70 - 77.
9. Yakovlev V.L., Alenichev V.M., 2015. *Puti povysheniya effektivnosti osvoeniya zasobov na osnove sovershenstvovaniya metodov normirovaniya poter'*. [Ways to increase the efficiency of the development of reserves based on the improvement of methods of rationing]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 2 (77), P. 24 – 28.
10. Podturkin Yu.A., 2009. *Problemy pravovogo obespecheniya khozyaistvennoi deyatel'nosti pri razrabotke tekhnogennykh mestorozhdenii* [Problems of legal support of economic activity in the development of technogenic deposits]. *Marksheideriya i nedropol'zovanie*, № 6, P. 29 – 33.
11. Carvalho, F.P., 2017. Mining industry and sustainable development: time for change. *Food Energy Secur*, no 6, P. 61 – 77.
12. Moridi, Mohammad Ali, Youhei Kawamura, Mostafa Sharifzadeh, Emmanuel Knox Chanda, Markus Wagner, Hyongdoo Jang, Hirokazu Okawa, 2015. Development of Underground Mine Monitoring and Communication System Integrated ZigBee and GIS. *International Journal of Mining Science and Technology*, 25 (5), P. 811 – 818.
13. Pimentel B.S., Gonzalez E.S., Barbosa G.N.O., 2016. Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 112, P. 2145 - 2157.
14. Espinoza R. D., Rojo J., 2017. Towards sustainable mining (Part I): Valuing investment opportunities in the mining sector. *Resources Policy*, Vol. 52, P. 7 - 18.
15. Shilo N.A., 1985. *Osnovy ucheniya o rossypyakh* [Fundamentals of the doctrine of placers]. 2-e izd. Moscow: Nauka, 400 s.
16. Alenichev V.M., Alenichev M.V., Umanskii A.B., 2011. *Geoinformatsionnoe obespechenie problemy polnoty izvlecheniya zasobov pri razrabotke rossypei* [Geoinformation support of completeness problem of reserves extraction during development of placers]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 6, P. 51 – 63.
17. Alenichev V.M., Alenichev M.V., Umanskii A.B., 2015. *Uchet prostranstvennoi svyazi geodannykh pri sozdanii modelei rossypei*. [Taking into account the spatial relationship of geodata when creating placer models]. *Nedropol'zovanie – XXI vek*, № 2 (52), P. 24 - 31.
18. Shnurov I.V., Korovina T.A., Romanov E.A., Shimanskii V.V., 2018. *Povyshenie dostovernosti geologicheskoi informatsii. Sistema geologicheskogo izucheniya nedr* [Improving the reliability of geological information. System of geological study of the subsurface]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, № P. 104 – 109.
19. Shklover V.Ya., Artemov N.A., Maryasev I.G., Dmitrieva T.G., Rashkovskii A.Yu., Karpov V.A., 2018. *Tekhnologiya analiza i tsifrovogo modelirovaniya kerna kak sostavlyayushchaya chast' infrastruktury "tsifrovogo mestorozhdeniya". Ot geologorazvedki do promyshlennoi ekspluatatsii* [Technology of analysis and digital modeling as an integral part of the infrastructure of the "digital deposit". From geological exploration to industrial operation]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, № 5 (75), P. 84 – 97.
20. Bochkov A.S., 2018. *Prioritety tsifrovoi transformatsii v geologorazvedke na primere PAO "Gazpromneft"* [Priorities of digital transformation in geological exploration on the example of PAO Gazpromneft]. *Nedropol'zovanie XXI vek*, № 5 (75), P. 78 – 83.