

УДК 622.271.5

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПЕЙ И ОЦЕНКА ОПЫТА ИХ РАЗРАБОТКИ

Мурзин Николай Владимирович¹,
murzinnv@istu.edu

Тальгамер Борис Леонидович¹,
talgamer@istu.edu

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Актуальность. Эксплуатация техногенных россыпных месторождений осуществляется уже больше ста лет. При этом опыт разработки таких месторождений весьма неоднозначен: значительное количество месторождений успешно эксплуатируются с рентабельностью на уровне отработки целикового месторождения, а некоторые приносят лишь убытки. При этом был выявлен ряд специфических особенностей, в первую очередь связанных с неоднородностью разрабатываемого забоя, присущих техногенным россыпям. В связи с тем, что в настоящее время наблюдается истощение минерально-сырьевой базы россыпной золотодобычи, а основным резервом для ее восполнения являются техногенные месторождения, работа по обобщению опыта их эксплуатации является весьма актуальной.

Цель: проанализировать структуру и причины формирования техногенных россыпных месторождений, а также обобщить опыт их эксплуатации.

Объекты: техногенные россыпные месторождения.

Методы: анализ литературных источников, данных технических проектов, а также опыта предприятий, осуществляющих повторную разработку россыпей.

Результаты. Дана общая оценка динамики минерально-сырьевой базы россыпных месторождений. Обоснована перспектива освоения техногенных образований на россыпных месторождениях, и указаны факторы, способствующие этому. По результатам исследований специалистов и изучения опыта работы горных предприятий дана оценка потерям полезного ископаемого и ценных компонентов при разработке россыпей различными способами. Проанализированы структуры техногенных запасов с учетом технологии первичной разработки россыпи. Приведены наиболее перспективные для вовлечения в эксплуатацию техногенные образования. Изложены примеры позитивного и негативного опыта разработки техногенных россыпей. Отмечены причины, сдерживающие развитие повторной разработки россыпных месторождений.

Ключевые слова:

россыпи, потери ценных компонентов, повторная разработка, техногенные месторождения, структура техногенных россыпей.

Введение

Объемы накопленного техногенного сырья на планете измеряются миллиардами тонн [1]. Сюда относятся как породы вскрыши, пригодные для использования в строительстве и других областях [2–5], так и оставшиеся запасы руды и песков, а также хвосты обогащения, отличающиеся заметным содержанием ценных компонентов [6, 7]. И если вопрос вовлечения в промышленное использование вскрышных пород стал разрабатываться сравнительно недавно, то вторичная переработка золото- и алмазосодержащих песков ведется уже более столетия [7].

В настоящее время наблюдается неуклонное истощение минерально-сырьевой базы россыпного золота и алмазов [8, 9]. В первую очередь это вызвано активной эксплуатацией таких месторождений в XX в., при крайне низком приросте запасов в россыпях за счет геологоразведки в последние десятилетия. Отрицательная разница между приростом запасов и объемами отработки золотоносных отложений и многих других полезных ископаемых наблюдается уже последние полвека и с течением времени только увеличивается. При этом горное оборудование, активная эксплуатация которого велась в середине прошлого века, в частности драги, на большинстве полигонов дорабатывает имеющиеся запасы без дальнейших ви-

димых перспектив. Кроме того, старательские поселки, основанные в местах активной россыпной золотодобычи в середине прошлого века, приходят в запустение и упадок по причине дефицита рабочих мест.

Еще одним фактором, обуславливающим необходимость вовлечения техногенных россыпей в эксплуатацию, является негативное воздействие оставшихся выработок и отвалов на природный комплекс [10–15], что вызвано невозможностью рекультивации нарушенных земель из-за значительных содержаний ценных компонентов в переработанной горной массе.

Поэтому в настоящее время наращивание минерально-сырьевой базы россыпного золота и алмазов будет происходить в основном за счет вовлечения в эксплуатацию запасов техногенных россыпей [16–19], для освоения которых необходимы эффективные способы и технологии разработки.

Методология

С целью оценки опыта эксплуатации техногенных россыпных месторождений произведен анализ литературных источников, данных технических проектов, а также опыта предприятий, осуществляющих повторную разработку россыпей.

К настоящему времени существует значительное количество терминологических определений понятия «техногенное месторождение» [20–24], однако зако-

нодательно закрепленный термин фактически отсутствует [25]. В связи с этим отнесение месторождения к техногенному осуществляется на основании предложенной систематизации [26].

Анализ россыпных месторождений, вовлекаемых в эксплуатацию последние 10 лет, показал, что большинство из них являются техногенными.

Обсуждение

Наиболее активно эксплуатация россыпных месторождений велась в середине XX в., при этом преобладающим способом разработки в разные периоды были как подземный, так и дражный, и открытый раздельный способы, в связи с чем образованные техногенные россыпи обладают различными особенностями. В связи с этим оценка эффективности разработки таких месторождений должна производиться с учетом не только способа вторичной разработки, но и первичной.

Помимо этого, значительное влияние на эффективность вторичной отработки запасов оказывают условия эксплуатации целикового месторождения, такие как: промывистость песков, степень пораженности пород мерзлотой, валунистость, геометрические параметры россыпи, а также способ и технология горных работ, сезон промывки и т. д.

Исходя из способа первичной разработки к первому типу техногенных россыпных месторождений относятся отработанные дражные полигоны. По результатам анализа было установлено, что порядка 60–80 % техногенных месторождений представлены отвалами, а также целиками, оставленными при первичной отработке россыпи дражным способом. Основными причинами формирования техногенных отложений при таком способе разработки являются технологические потери, в большей степени присущие глинистым россыпям и связанные с недостаточной эффективностью мокрой дезинтеграции, применяемой на обогащательном оборудовании драг [27–29]. Кроме этого, значительную долю в формировании техногенных запасов после дражной разработки составляют эксплуатационные потери, связанные как с недостаточной проработкой плотика (мерзлота, ложный плотик), так и с особенностями работы драг (междодрожные, междодрожные и бортовые целики).

Повторная эксплуатация таких месторождений характеризуется достаточно высокой эффективностью, что объясняется значительным снижением себестоимости добычи песков (иногда в 5 раз) (из-за резкого уменьшения затрат на производство горноподготовительных и гидротехнических работ, а также улучшения промывистости песков) [7].

Наибольшей эффективностью характеризуется повторная разработка глинистых россыпей (рис. 1), в т. ч. на Урале. При первичной разработке таких месторождений технологические потери достигали 50 % из-за плохой промывистости песков, в результате чего значительная часть ценного компонента попадала в галечный отвал в неразмытых глинистых окатышах. Впоследствии под воздействием современного выветривания окатыши разрушаются, а ценные компо-

ненты, сосредоточенные в них, высвобождаются и извлекаются при повторном дражировании [30].



Рис. 1. Структура потерь на глинистых россыпях

Fig. 1. Structure of losses on clay placers

Вторичная разработка алмазоносных россыпей Якутии (а на некоторых полигонах и третичная) позволила добыть около 40–50 % от первоначально извлеченного количества алмазов [31], что также связано с плохой промывистостью отложений.

Помимо глинистых россыпей перспективными для вовлечения в эксплуатацию являются глубокие россыпи. Для таких месторождений будут характерны эксплуатационные потери, связанные с оставлением целиков у плотика россыпи. Помимо этого, такие россыпи характеризуются значительными недоработками вдоль контуров россыпи, что, как указывалось выше, связано не только с недостаточной достоверностью проводимой разведки, но и с конструктивными особенностями драги.

Опыт успешной эксплуатации глубоких техногенных россыпей, появившихся после первичной отработки месторождений дражным способом, имеется в Забайкалье (порядка 34–60 % от первоначально добытого) и Ленском золотоносном районе (45 % от первоначально добытого). Помимо этого, глубокие дражные полигоны успешно вторично разрабатываются и за рубежом [32, 33].

Помимо отвального комплекса значительный интерес также представляют запасы, оставленные в бортах россыпи (рис. 2). В ряде случаев эти запасы невелики и не могут быть рентабельно отработаны как самостоятельное месторождение, однако их совместная эксплуатация с отвальным комплексом позволяет достичь необходимой эффективности добычных работ. При проведении геологоразведочных работ вдоль бортов дражных разрезов Ленского района было дополнительно подсчитано порядка 25–30 % запасов относительно отработанных ранее [34, 35]. Более того, в настоящее время значительное количество место-

рождений этого района представлены отвально-целиковым комплексом, где осуществляется одно-временная переработка как отвалов вскрыши, так и запасов в бортах дражных разрезов [36].



Рис. 2. Структура потерь при первичной отработке месторождений дражным способом

Fig. 2. Structure of losses during the primary development of the deposit by dredging

В среднем при вторичной эксплуатации дражных полигонов извлекается порядка 30 % от первоначальной добычи [8], что говорит о достаточной эффективности их разработки. Однако необходимо отметить, что вторичная разработка полигонов с промывистыми отложениями, для которых не характерны значительные технологические потери, не всегда дает должный эффект. В связи с этим, если на таких россыпях отсутствуют существенные эксплуатационные потери (в первую очередь связанные со значительной глубиной), их эксплуатация будет малоэффективна (рис. 3).

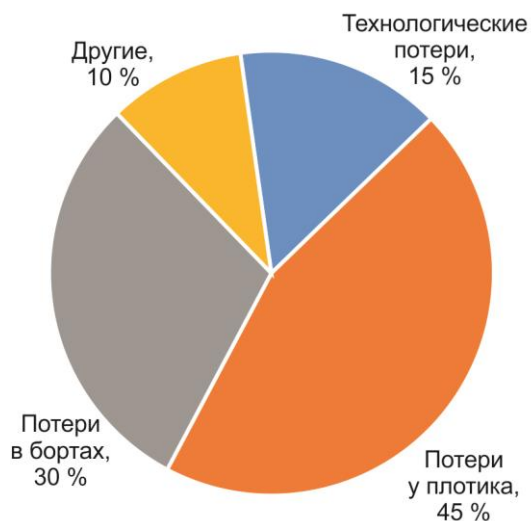


Рис. 3. Структура потерь на промывистых глубоких россыпях

Fig. 3. Structure of losses on washed deep placers

Имеется также негативный опыт вторичной эксплуатации перспективных дражных полигонов. В первую очередь это связано с низким качеством разведочных работ и, как следствие, неподтверждением запасов. Также сказываются особенности работы драги: при формировании откоса забоя на малоустойчивых ранее переработанных породах зачастую наблюдается процесс обрушения верхней его части, что приводит к неравномерному наполнению черпаков с недогрузкой и перегрузкой обогатительного оборудования и, как следствие, снижению извлечения ценного компонента.

Однако в целом дражные полигоны представляют значительный интерес для золотодобытчиков и в настоящее время активно эксплуатируются.

Следующий тип техногенных месторождений представлен отвалами и недоработками при первичной эксплуатации россыпей открытым раздельным способом (около 15–25 % от общего числа). Здесь выделяется несколько причин, обуславливающих эксплуатационные потери: потери при транспортировке на промывочную установку, а также неполная зачистка отработанных площадей. Последнее связано с тем, что зачастую некоторая часть площади месторождения не может быть должным образом зачищена из-за неровности плотика или же обводненности участка. Еще одной причиной формирования техногенного месторождения является неточность оконтуривания кровли пласта песков, это привело к тому, что на ряде месторождений была выявлена высокая золотоносность отвалов торфов.

Технологические потери при открытом раздельном способе разработки целиковой россыпи будут также связаны с потерями золота при промывке, которые в северных регионах страны при разработке мерзлых пород могут быть значительно выше в связи с обогащением неоттаянного грунта, что является следствием применения бульдозерно-рыхлительных агрегатов [8]. Поэтому наибольший промышленный интерес на этих россыпях представляет отвальный комплекс, включающий в себя как отвалы вскрыши, так и хвосты промывки песков (рис. 4).

В целом такие месторождения менее привлекательны с точки зрения вовлечения их в повторную эксплуатацию, однако более крупные из них успешно отрабатываются дражным способом, а мелкие – открытым раздельным способом.

К третьему типу техногенных месторождений относятся россыпи, первичная эксплуатация которых осуществлялась подземным способом. В образовании таких месторождений помимо потерь, присущих открытой разработке, будут участвовать потери, связанные с неполной отработкой пласта по мощности, в большей степени в кровле. Кроме того, разработка месторождения подземным способом связана с особыми требованиями по безопасности, что предопределяет наличие потерь в предохранительных целиках, которые остаются после отработки месторождения в связи с повышенной опасностью работ. Такие потери в зависимости от системы разработки оцениваются в 2–10 % и более [37, 38]. Общие эксплуатационные потери оцениваются специалистами в 12–25 % [39].

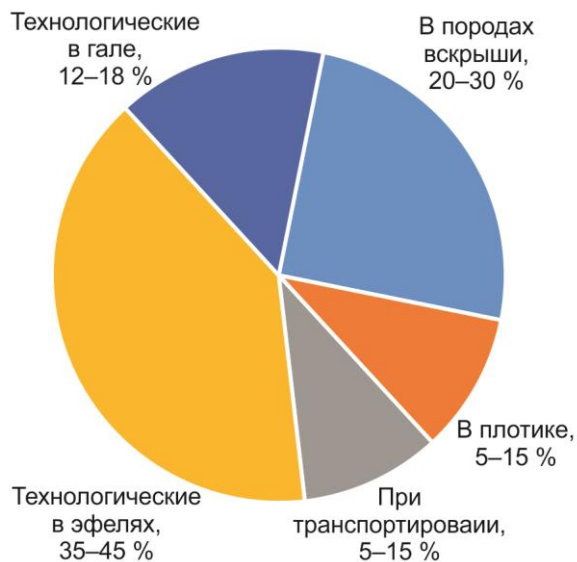


Рис. 4. Структура формирования техногенных запасов при первичной отработке россыпи открытым раздельным способом

Fig. 4. Structure of formation of technogenic reserves during primary development of placer in an open separate way

Такие месторождения активно эксплуатируются в настоящее время, причем их отработка в основном осуществляется дражным способом. Опыт отработки таких месторождений говорит о достаточно высокой эффективности их эксплуатации, несмотря на низкую производительность драг. Снижение производительности драг связано с загрязнением недр при подземных работах, в т. ч. в результате закладки выработок валунами, оставленных под землей деревянных крепей и металлолома. Драгирование запасов, ранее нарушенных подземными работами, сопровождается периодическим избыточным притоком воды из выработок или наоборот уходом воды из котлована, необходимостью удаления бревен и валунов с черпаковой цепи, сложностью драгирования валунистых участков. Эти причины существенно увеличивают себестоимость добычи, однако такие месторождения представляют значительный промышленный интерес, так как обладают сравнительно большими запасами ценных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролова Ю.К. Причины возникновения и перспективы использования техногенных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 7. – С. 24–32.
2. Бочков В.С., Бочкова К.В. Разработка техногенных месторождений для строительной отрасли // Строительные и дорожные машины. – 2021. – № 5. – С. 43–48.
3. Kostromin M.V., Panina Yu.T. Ways of solving the problems of rational nature management in the areas of alluvial deposits development // IOP conf. ser. Earth Environ. Sci. – 2022. – V. 962. – Iss. 1. – 012053. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012053
4. Quartz mining waste for concrete production: environment and public health / F.A. de Carvalho, J.N.P. Nobre, R.P. Cambraia et al. // Sustainability (Switzerland). – 2022. – V. 14. – Iss. 1. – 389. DOI: 10.3390/su14010389

Вне зависимости от способа разработки главной проблемой, замедляющей интенсификацию вовлечения техногенных россыпей в эксплуатацию, является необходимость утверждения запасов и проведения геологоразведочных работ, что осложняется рядом факторов:

- резкие формы рельефа на техногенных месторождениях затрудняют процесс бурения и отбора проб, возникает необходимость дополнительных работ по выполаживанию склонов; на некоторых участках, например, в дражных пазухах, илоотстойниках проведение разведочных работ трудноосуществимо;
- неравномерность распределения запасов полезного компонента в плане предопределяет необходимость уращения разведочной сети;
- сыпучесть отвального материала, оплывание скважин и приток воды в разведочные выработки усложняют отбор проб.

Упрощение состава и порядка оформления разрешительной документации по вводу в эксплуатацию техногенных месторождений позволило бы значительно интенсифицировать и расширить объемы добычи многих полезных ископаемых.

Выводы

1. Истощение минерально-сырьевой базы россыпного золота предопределяет необходимость вовлечения в разработку техногенных россыпей. В настоящее время почти все вовлекаемые в эксплуатацию россыпи являются техногенными.
2. Опыт эксплуатации техногенных россыпных месторождений показывает достаточно высокую эффективность их разработки, в т. ч. из-за снижения объемов гидротехнических и горноподготовительных работ.
3. Наиболее перспективными для вовлечения в эксплуатацию являются месторождения, первичная отработка которых осуществлялась дражным способом, в особенности глинистые и глубокие россыпи, а также, в меньшей степени, россыпи, первично отработанные подземным способом.
4. Эффективность повторной эксплуатации россыпи во многом зависит от условий первичной отработки, а также от качества проводимой разведки запасов.
5. Waste management in the mining industry of metals ores, coal, oil and natural gas – a review / S. Kasisz, K. Kibort, J. Mioduska et al. // Journal of Environmental Management. – 2022. – V. 304. – 114239. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.114239
6. Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's Far East // Journal of Mining Science. – 2020. – V. 56. – № 1. – P. 259–267. DOI: 10.1134/S1062739120026733
7. Talgamer B.L., Dudinskiy F.V., Murzin N.V. Assessment of conditions and experience of technogenic placer dredging // IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – V. 408. – 012065 DOI: 10.7088/1755-1315/4088/1/012065
8. Чемезов В.В., Тальгамер Б.Л. Техногенные россыпи (образование, оценка и эксплуатация): монография. – Иркутск: Изд-во ИргТУ, 2013. – 239 с.
9. Истратова К. Российские золотые запасы: мифы и реальность // Добывающая промышленность. – 2019. – № 4 (16). – С. 158–164.

10. Bannerman B.G., Bodensteiner R.M.S., Rawhouser A.K. The chemistry of Sub-Alpine streams in mined regions of the North Cascades Range // *Water, Air and Soil Pollution* – 2019. – V. 230. – 143. DOI: 10.1007/s11270-019-4195-9.
11. Comprehensive study on metal contents and their ecological risks in beach sediments of KwaZulu-Natal province, South Africa / E. Verimurugan, V.C. Shruti, M.P. Jonathan et al. // *Marine Pollution Bulletin*. – 2019. – V. 149. – 110555. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110555
12. Kostromin M.V., Yakimov A.A. Industrial technology facilitation for the dredging of highland placers // *IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci.* – 2021. – V. 666. – 022031. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022031
13. Peterev A.P. Transformation of permafrost ecosystems under diamond placer mining // *Gornyi Zhurnal*. – 2016. – V. 9. – P. 104–107. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.21
14. Zamana L.V., Vaknina I.L. The impact of the placer gold mining in Eastern Transbaikalia (Russia) on the environment components of river valleys in the Amur River basin // *IOP conf. ser. Earth Environ. Sci.* – 2022. – V. 962. – Iss. 1. – 012043. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012043
15. Research into the process of storage and recycling technogenic phosphogypsum placers / V. Moshunskyi, Z. Malanchuk, V. Tsybaliuk, L. Malanchuk, R. Zhomyruk, O. Vasylychuk // *Mining and mineral deposits*. – 2020. – V. 14 (2). – P. 95–102. DOI: 10.33271/mining14.02.095
16. Levchenko E.N., Grigoreva A.V. Typomorphic and process-related features of associated gold in complex placer deposits // *Obogashenie Rud.* – 2021. – Iss. 3. – P. 24–32. DOI: 10.17580/or.2021.03.05
17. Hrinchenko O., Yushin O. Potential of mining waste recycling in Ukraine // *Monitoring 2019 Conference – Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. – Kyiv, 2019. – 160684.
18. Remote sensing of the Earth as a part of research of assessing the volume of technogenic raw and the environmental situation during the exploitation of placers / V.S. Litvintsev, V.I. Usikov, Yu.A. Ozaryan, V.S. Alekseev // *Georesursy*. – 2021. – V. 23. – Iss. 4. – P. 116–123. DOI: 10.18599/GRS.2021.4.13
19. Organizational mechanisms and technology development of placer gold mining waste / S.I. Evdokimov, T.E. Gerasimenko, Y.V. Dmitrak, K.K. Baymatov // *Sustainable Development of Mountain Territories*. – 2020. – V. 12. – Iss. 1. – P. 116–127. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-1-116-127
20. Геологические критерии поисков россыпей / Л.З. Быховский, С.И. Гурвич, Н.Г. Патык-Кара, И.Б. Флеров. – М.: Недра, 1981. – 253 с.
21. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождения // *Горный журнал*. – 1989. – № 12. – С. 6–9.
22. Шило Н.А. Учение о россыпях. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 632 с.
23. Прудников С.Г., Хертек Ч.М. Оценка ресурсов техногенных образований отработанной россыпи золота Малый Алгяк (Тува) // *Успехи современного естествознания*. – 2018. – № 2. – С. 129–133.
24. LeBarge W.P., Welsh C.S. Yukon Placer Mining Industry 2003–2006: Placer Report paper. – Whitehorse: Yukon Geological Survey, 2007. – 246 p.
25. Литвинцев В.С. О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений // *ФТПРПИ*. – 2013. – № 1. – С. 118–126.
26. Мурзин Н.В., Тальгамер Б.Л. К систематизации техногенных россыпей // *Рациональное освоение недр*. – 2021. – № 2. – С. 18–23. DOI: 10.26121/RON.2021.29.40.002.
27. Семенов А.Н., Серый П.С. Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. – 2019. – № 8. – С. 88–96.
28. Матвеев А.И., Ширман Г.В. Исследование дезинтеграции высокоглинистых золотоносных песков в водо-воздушной среде после криогенной обработки // *Наука, техника и образование*. – 2020. – № 2 (66). – С. 63–66.
29. Рожков А.В. Внедрение эффективной технологии обогащения высокоглинистых золотоносных песков на карьере «Индыглы» // *Аллея науки*. – 2018. – Т. 2. – № 5 (21). – С. 952–956.
30. Макаров В.А., Самородский П.Н. Актуальные вопросы оценки и освоения техногенных месторождений золота // *Золото и технологии*. – 2018. – № 4. – С. 72–90.
31. Снетков В.И., Тальгамер Б.Л. Проблемы оценки и разработки техногенных запасов дражных полигонов // *ФТПРПИ*. – 2014. – № 1. – С. 111–118.
32. Rydnestad A.U.P. Alluvial gold mining in Antioquia, Colombia // *The mining Engineer*. – 1987. – № 2. – P. 549–555.
33. Jonson K., Mackenzie A. Gold dredging in the Klondike and number 4 Proceedings // *Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering*. – 2012. – № 1. – P. 211–220.
34. Меледин И.В. Практические результаты по промывке техногенных отвалов прошлых лет в долине реки Хомолхо // *Золотодобыча*. – 2010. – № 137. – С. 23–26.
35. Пятаков В.Г., Гурулев В.С. Техногенные россыпи – существенный резерв для золотодобычи // *Золотодобыча*. – 2009. – № 130. – С. 4–6.
36. Тальгамер Б.Л., Тютрин С.Г., Ершов В.А. Состояние и перспективы дражной золотодобычи в Иркутской области // *Золотодобыча*. – 2016. – № 12 (217). – С. 11–14.
37. Справочник по разработке россыпей / В.П. Березин, В.Г. Лешков, Л.П. Мацуев, С.В. Потемкин. – М.: Недра, 1973. – 592 с.
38. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии / В.А. Шерстов, В.Н. Скуба, К.И. Лубий, К.Н. Костромитинов. – Якутск: Кн. изд-во, 1981. – 186 с.
39. Власов А.С. К вопросу достоверности результатов буровой разведки // *Колыма*. – 1966. – № 2. – С. 31–35.

Поступила: 08.09.2022 г.

Дата рецензирования: 21.10.2022 г.

Информация об авторах

Мурзин Н.В., кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Иркутского национального исследовательского технического университета.

Тальгамер Б.Л., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Иркутского национального исследовательского технического университета.

UDC 622.271.5

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF TECHNOGENIC PLACERS AND EVALUATION OF THEIR DEVELOPMENT EXPERIENCE

Nikolay V. Murzin¹,
murzinnv@istu.edu

Boris L. Talgamer¹,
talgamer@istu.edu

¹ Irkutsk National Research State Technical University,
83, Lermontov street, Irkutsk, 664074, Russia.

The relevance. Exploitation of technogenic placer deposits has been carried out for more than a hundred years. At the same time, the experience of developing such deposits is very ambiguous: a significant number of deposits are successfully exploited with profitability at the level of mining a whole field, and some only bring losses. At the same time, a number of specific features were identified, primarily related to the heterogeneity of the developed face, inherent in technogenic placers. Due to the fact that currently there is a depletion of the mineral resource base of placer gold mining, and the main reserve for its replenishment are man-made deposits, work on generalizing the experience of their operation is very relevant.

The main aim: to analyze the structure and causes of the formation of technogenic placer deposits, as well as summarize the experience of their development.

Objects: technogenic placer deposits.

Methods: analysis of literary sources, data of technical projects, as well as experience of enterprises engaged in the re-development of placers.

Results. General assessment of the dynamics of the mineral resource base of placer deposits is given. The prospect of development of technogenic formations in placer deposits is substantiated and the factors contributing to this are indicated. According to the research of specialists and the experience of mining enterprises, an assessment of the losses of minerals and valuable components during the development of placers in various ways is given. The analysis of the structure of technogenic reserves is made taking into account the technology of primary placer development. The most promising technogenic formations for involvement in operation are given. Examples of positive and negative experience in the development of technogenic placers are presented. The reasons hindering the development of re-development of placer deposits are noted.

Ключевые слова:

placers, loss of valuable components, re-development, technogenic deposits, structure of technogenic placers.

REFERENCES

1. Frolova Yu.K. Prichiny vozniknoveniya i perspektivy ispolzovaniya tekhnogennykh mestorozhdeniy [Causes of occurrence and prospects for the use of technogenic deposits]. *Mining informational analytical bulletin*, 2007, no. 7, pp. 24–32.
2. Bochkov V.S., Bochkova K.V. Development of technogenic deposits for the construction industry. *Construction and road building machinery*, 2021, no. 5, pp. 43–48. In Rus.
3. Kostromin M.V., Panina Yu.T. Ways of solving the problems of rational nature management in the areas of alluvial deposits development. *IOP conf. ser. Earth Environ. Sci.*, 2022, vol. 962, Iss. 1, 012053. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012053
4. De Carvalho F.A., Nobre J.N.P., Cambraia R.P. Quartz mining waste for concrete production: environment and public health. *Sustainability (Switzerland)*, 2022, vol. 14, Iss. 1, 389. DOI: 10.3390/su14010389
5. Kasisz S., Kibort K., Mioduska J. Waste management in the mining industry of metals ores, coal, oil and natural gas – a review. *Journal of Environmental Management*, 2022, vol. 304, 114239. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.114239
6. Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G. Forward appraisal of potential gold content of dredge and sluice tailings dumps at placers in Russia's Far East. *Journal of Mining Science*, 2020, vol. 56, no. 1, pp. 259–267. DOI: 10.1134/S1062739120026733
7. Talgamer B.L., Dudinskiy F.V., Murzin N.V. Assessment of conditions and experience of technogenic placer dredging. *IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci.*, 2020, vol. 408, 012065. DOI: 10.7088/1755-1315/4088/1/012065
8. Chemezov V.V., Talgamer B.L. *Tekhnogennyye rossypi (obrazovanie, otsenka i ekspluatatsiya): monografiya* [Technogenic placers (formation, assessment and operation): monography]. Irkutsk, ISTU Publ., 2013. 239 p.
9. Istratova K. Rossiiskie zolotyie zapasy: mify i realnost [Russian gold reserves: myths and reality]. *Extractive industry*, 2019, no. 4 (16), pp. 158–164.
10. Bannerman B.G., Bodensteiner R.M.S., Rawhouser A.K. The Chemistry of Sub-Alpine Streams in Mined Regions of the North Cascades Range. *Water, Air and Soil Pollution*, 2019, vol. 230, 143. DOI: 10.1007/s11270-019-4195-9.
11. Verimurugan E., Shruti V.C., Jonathan M.P. Comprehensive study on metal contents and their ecological risks in beach sediments of KwaZulu-Natal province, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 2019, vol. 149, 110555. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110555
12. Kostromin M.V., Yakimov A.A. Industrial technology facilitation for the dredging of highland placers. *IOP conf. ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 666, 022031. DOI: 10.1088/1755-1315/666/2/022031
13. Peterev A.P. Transformation of permafrost ecosystems under diamond placer mining. *Gornyy Zhurnal*, 2016, vol. 9, pp. 104–107. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.21
14. Zamana L.V., Vaknina I.L. The impact of the placer gold mining in Eastern Transbaikalia (Russia) on the environment components of river valleys in the Amur River basin. *IOP conf. ser. Earth Environ. Sci.*, 2022, vol. 962, Iss. 1, 012043. DOI: 10.1088/1755-1315/962/1/012043
15. Moshunskiy V., Malanchuk Z., Tsymbaliuk V., Malanchuk L., Zhomyruk R., Vasylichuk O. Research into the process of storage and recycling technogenic phosphogypsum placers. *Mining and mineral deposits*, 2020, vol. 14 (2), pp. 95–102. DOI: 10.33271/mining14.02.095
16. Levchenko E.N., Grigoreva A.V. Typomorphic and process-related features of associated gold in complex placer deposits. *Obogashenie Rud*, 2021, Iss. 3, pp. 24–32. DOI: 10.17580/or.2021.03.05

17. Hrinchenko O., Yushin O. Potential of mining waste recycling in Ukraine. *Monitoring 2019 Conference – Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*. Kyiv, 2019. 160684.
18. Litvintsev V.S., Usikov V.I., Ozaryan Yu.A., Alekseev V.S. Remote sensing of the Earth as a part of research of assessing the volume of technogenic raw and the environmental situation during the exploitation of placers. *Georesursy*, 2021, vol. 23, Iss. 4, pp. 116–123. DOI: 10.18599/GRS.2021.4.13
19. Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E., Dmitrak Y.V., Baymatov K.K. Organizational mechanisms and technology development of placer gold mining waste. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020, vol. 12, Iss. 1, pp. 116–127. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-1-116-127
20. Bykhovskiy L.Z., Gurvich S.I., Patyk-Kara N.G., Flerov I.B. *Geologicheskie kriterii poiskov rossypey* [Geological criteria for placer searches]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 253 P.
21. Trubetskoi K.N., Umanets V.N., Nikitin M.B. Klassifikatsiya tekhnogennykh mestorozhdeniy [Classification of technogenic placers]. *Mining Journal*, 1989, no. 12, pp. 6–9.
22. Shilo N.A. *Uchenie o rossypyakh* [The doctrine of placers]. Moscow, Academy of mining science Publ., 2000. 632 p.
23. Prudnikov S.G., Khertek Ch.M. Otsenka resursov tekhnogennykh obrazovaniy otrabotannoy rossypi zolota Maly Algiyak (Tuva) [Assessment of the resources of technogenic formations of the spent placer of gold Maly Algiyak (Tuva)]. *Successes of modern natural science*, 2018, no. 2, pp. 129–133.
24. Le Barge W.P., Welsh C.S. *Yukon Placer Mining Industry 2003–2006: Placer Report paper*. Whitehorse, Yukon Geological Survey, 2007. 246 p.
25. Litvintsev V.S. O resursnom potentsiale tekhnogennykh rossipnykh mestorozhdeniy [About the resource potential of technogenic gold deposits]. *FTPRPI*, 2013, no. 1, pp. 118–126.
26. Murzin N.V., Talgamer B.L. To the systematization of technogenic placers. *Ratsionalnoe osvoenie nedr*, 2021, no. 2, pp. 18–23. DOI: 10.26121/RON.2021.29.40.002. In Rus.
27. Semenov A.N., Seryi R.S. Hard-to-wash sand disintegration investigation in gold placers. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh zavedenii. Gorniy Zhurnal*, 2019, no. 8, pp. 88–96. In Rus.
28. Matveev A.I., Shirman G.V. Research of disintegration of high clay sands in a water–air condition after cryogenic processing. *Nauka, tekhnika i obrazovanie*, 2020, no. 2 (66), pp. 63–66. In Rus.
29. Rojkov A.V. Introduction of an effective technology for the enrichment of high-clay gold-bearing sands at the Indygly quarry. *Alleya nauki*, 2018, Iss. 2, no. 5 (21), pp. 952–956. In Rus.
30. Makarov V.A., Samorodskiy P.N. Aktualnye voprosy otsenki i osvoeniya tekhnogennykh mestorozhdeniy zolota [Current issues of assessment and development of technogenic gold deposits]. *Zoloto i tekhnologii*, 2018, no. 4, pp. 72–90.
31. Snetkov V.I., Talgamer B.L. Problemy otsenki pri razrabotke tekhnogennykh zapasov dragnykh polygonov [Problems of assessment and development of technogenic reserves of dredging landfills]. *FTPRPI*, 2014, no. 1, pp. 111–118.
32. Rydnestod A.U.P. Alluvial gold mining in Antioquia, Colombia. *The mining Engineer*, 1987, no. 2 pp. 549–555.
33. Jonson K., Mackenzie A. Gold dredging in the Klondike and number 4 Proceedings. *Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering*, 2012, no. 1, pp. 211–220.
34. Meledin I.V. Prakticheskie rezultaty po promyvke tekhnogennykh otvalov proshlykh let v doline reki Khomolkho [Practical results on the washing of technogenic dumps of the past years in the valley of the Homolkho River]. *Zolotodobycha*, 2010, no. 137, pp. 23–26.
35. Pyatakov V.G., Gurulev V.S. Tekhnogennye rossipi – suschestvennyy rezerv dlya zolotodobychi [Technogenic placers are a significant reserve for gold mining]. *Zolotodobycha*, 2009, no. 130, pp. 4–6.
36. Talgamer B.L., Tyutrin S.G., Ershov V.A. Sostoyanie i perspektivy drazhnoy zolotodobychi v Irkutskoy oblasti [The state and prospects of precious gold mining in the Irkutsk region]. *Zolotodobycha*, 2016, no. 12 (217), pp. 11–14.
37. Berezin V.P., Leshkov V.G., Matsuev L.P., Potemkin S.V. *Spravochnik po razrabotke rossypey* [Guide to the development of placers]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 592 P.
38. Sherstov V.A., Skuba V.N., Lubyi K.I., Kostromitinov K.N. *Podzemnaya razrabotka rossypnykh mestorozhdeniy Yakutii* [Underground development of placer deposits of Yakutia]. Yakutsk, Knizhnoe izdatelstvo, 1981. 186 p.
39. Vlasov A.S. K voprosu dostovernosti rezultatov burovoy razvedki [On the issue of reliability of drilling exploration results]. *Kolyma*, 1966, no. 2, pp. 31–35.

Received: 8 September 2022.

Reviewed: 21 October 2022.

Information about the authors

Nikolay V. Murzin, Cand. Sc., associate professor, Irkutsk National Research Technical University.

Boris L. Talgamer, Dr. Sc., professor, Irkutsk National Research Technical University.