ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ
УДК 622.271

ORIGINAL PAPER
DOI: 10.56195/20793332_2022_5_41

ОБЗОР ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ДРАЖНОЙ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

В.Е. Кисляков, Д.А. Дорожкин, П.А. Зубов, В.И. Деннер
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

Аннотация: В статье приведены основные проблемы эффективности извлечения золотоносных песков при дражной отработке россыпных месторождений как в России, так и за её границей. Установлено, что в последние годы добыча полезных ископаемых дражным способом стала увеличиваться, а технология и техника осталась неизменной. Определено, что условия дражных разработок весьма разнообразны и не всегда учитывают многие особенности выемки, но при разработке практически в любых условиях отработки сохраняются эксплуатационные потери. Показано, что эффективности извлечения и промывки песков драгами будет сохраняться, а исследования будут продолжаться в направлении создания новых решений. Выявлены технологические, геологические и технические факторы которые напрямую или косвенно оказывают влияние на качество выемки. Результаты исследований могут быть полезными, при разработке россыпных месторождений золота.

Ключевые слова: месторождения золота, дражный способ разработки, драга, россыпные месторождения, разубоживание.

REVIEW ARTICLE OF OPERATIONAL LOSSES DURING THE DREDGING OF PLACER GOLD DEPOSITS

V.E. Kislyakov, D.A. Dorozhkin, P.A. Zubov, V.I. Denner
Siberian Federal University, School of Mining, Geology and Geotechnology, Krasnoyarsk, Russia

Abstract: The article presents the main problems of the efficiency of extraction of gold-bearing sands during the dredging of placer deposits both in Russia and abroad. It has been established that in recent years the extraction of minerals by the dredging method has begun to increase, and the technology and equipment have remained unchanged. It is determined that the conditions of dredging developments are very diverse and do not always take into account many features of the excavation, but during development, operational losses remain in almost any working conditions. It is shown that the efficiency of sand extraction and washing with dredges will be maintained, and research will continue in the direction of creating new solutions. Technological, geological and technical factors that directly or indirectly affect the quality of the excavation have been identified. The results of the research can be useful in the development of placer gold deposits.

Keywords: gold deposits, dredging method of development, dredge, placer deposits, dilution, losses.

С 1991 года добыча россыпного золота неуклонна снижалась вплоть до 2010 года, однако в настоящее время положение по добыче россыпного золота несколько выправляется и является значимой частью золотодобывающей отрасли в российской экономике. По разным оценкам россыпное золото занимает от 24 до 26 % всего объема добываемого золота. Преимущества россыпных месторождений является высокая степень извлечения, потери составляют от 6 до 7 процентов, но и эти потери через определённый период частично возвращаются в оборот [1].

В свою очередь доля россыпей, которые возможно разрабатывать дражным способом составляет в среднем 13-14 % от всех запасов золота, а в некоторых регионах достигает 35-40 %. Обеспеченность дражными запасами довольно высока и при современном уровне добычи соответствует не менее 15-20 годам [2-3].

Из выше сказанного можно сделать вывод: в ближайшие 15 лет актуальность проблемы повышения эффективности извлечения и промывки песков драгами будет сохраняться, а исследования будут продолжаться в направлении создания новых решений в части снижения потерь песков, разработки техногенных россыпей, конструктивных решений и экологии [4-6].

Материалы исследований

Особенностью дражной добычи является подводная выемка песков. Эта особенность обуславливает необходимость учитывать дополнительные факторы, влияющие на величину извлечения (качество выемки россыпи).

Результаты исследований и их обсуждение

Одним из технологических параметров, особенно сильно влияющим на качество выемки, является сооружение предохранительных берм (целиков), в которых образуются межходовые (межзабойные) потери. На размеры которых, в свою очередь, влияют ширина рабочего хода, глубина черпания, углы откоса бортов [7]. Оставление целиков позволяет избежать разубоживание, но потери относительно всей горной массы составляют около 5 %, а относительно песков это значение составляет более 10 %. Если отрабатывать целик, то разубоживание песков дражными отвалами возрастает более чем на 25 % [8].

Также, к технологии ведения работ можно отнести форму поперечного сечения забоя. Из-за разной формы поперечного сечения забоев, их ширина в боковой заходке по отношению к траншейной больше в нижней части уступа и при одинаковом соотношении пород по мощности пласта, их количество в боковой заходке увеличивается, растет угол поворота драги, следовательно, и время на драгирование.

При отработке драгой песков мощностью свыше 10 м зачастую происходит обрушение уступа и бортов в углах разреза. Это происходит из-за того, что ковши формируют откосы под углом до 90°. При увеличении высоты разрабатываемых дражных отвалов до 15-30 м угол драгируемой верхней части забоя увеличивается до 85-90°, а объемы обрушения могут достигать половины драгируемой горной массы [9]. Получаемые таким образом навалы в нижней части уступа позволяют осуществлять послойное драгирование, что увеличивает производительность драги в 1,7 раза. Данное обстоятельство позволяет увеличить коэффициент наполнения черпаков в среднем до 1,29, а также до 60 % снижается глубина опускания рамы.

При создании навала есть и недостатки: из-за увеличенной длины выемки нарастает нагрузка на привод ВЧБ и лебедок, ухудшается работа обогатительного оборудования, что влечет за собой снижение извлечения металла. Регулирование загрузки барабана путем подъема и опускания черпаковой рамы вызывают потери во времени и снижение производительности драги.

Одна из ключевых проблем, оказывающих влияние на работу драги – большая загрязненность технологической воды. Источниками загрязнения дражных вод являются вынос тонкодисперсных частиц за счет боковой эрозии бортов, вынос из дражных котлованов взвешенных частиц, подмыв и обрушение бортов реки в местах поворота русла, размыв водозапирающих перемычек водосбросных каналов [10]. На загрязненность воды влияют площадь дражного разреза, повышение водоподпитки, гидравлическая крупность грунтовых частиц. По разным оценкам концентрация взвесей может достигать более 15 г/л с большим содержанием тонкодисперсных частиц размером менее 0,001 мм, которые способны передвигаться в дражном разрезе на значительные расстояния, что существенно может оказывать влияние на величину разубоживания [11]. Также высокая концентрация оказывает достаточно сильное влияние на экологию, поэтому ее необходимо учитывать для достижения чистого производства [12-16].

Достаточное количество, поступающей в разрез воды позволяет драге работать производительно, а увеличение загрязненности воды сокращает извлечение метала. Если водная поверхность дражного разреза загрязнена крупными взвесями, торфом и щепой, то сетки насосов забиваются. Из-за этого загрязнения, драгу необходимо останавливать до 2-6 ч/сут. При содержании взвеси в воде свыше 150-200 г/л резко падает извлечение металла при обогащении. При работе драги с черпаками объемом 250 л выделяется большое количество взвеси (250 г/л), чтобы вынести такой объем взвеси из дражного разреза необходимо, чтобы поверхностный сток воды составлял 250 л/с [17].

Гранулометрический состав дражных отвалов, как правило, делят на 4 класса: гравий, песок, пыль и глина. Под водой возникают пологие, вытянутые в направлении движения драги куполообразные структуры с четко выраженной дифференциацией песков по крупности [18]. Из закона гравитации скорость осаждения каждого класса различна в зависимости от фракции, а каждый класс является доминирующим в отдельном слое отложений.

Влияние на технологические потери оказывает состав драгируемых пород, при увеличении прочности и глинистости отложений которых потери ценных компонентов возрастают. Процесс обогащения на драгах характеризуется низкой стабильностью, а нагрузка на шлюзы в течение смены способна увеличиваться в 3-5 раз. Уменьшить нагрузку, и как следствие, потери, возможно с помощью распределения песков по обогатительному оборудованию. Но в настоящее время эта проблема не решена. Сейчас данную проблему решают путём повышения качества подготовки песков к драгированию, повышая коэффициент заполнения черпаков в несколько раз, тем самым увеличивая ритмичность загрузки обогатительного оборудования и повышая коэффициент извлечения металла на 30 % [19].

При увеличении слоя отработки объём эфельных фракций в плотной массе возрастает, тем самым увеличивая процесс разубоживания. Также влияет и фракция эфельных отвалов, при крупнозернистых песках и слое отработки до 15 м разубоживание может достигать 2,79 %, а при мелкозернистых песках и аналогичном способе отработки, разубоживание достигает 13,41 % [20].

Из геологических параметров немаловажным фактором является валунистость россыпи, которая значительно затрудняет зачистку плотика, по окончании отработки забоя, что ведет к снижению производительности, а иногда высокая степень валунистости и вовсе приводит к невозможности выемочных работ. Валуны, попадающие в черпак способны повредить бочку и транспортер. Такие же проблемы могут доставить лед и щепа.

Еще одним геологическим параметром, влияющим на процесс выемки, является высокое содержание глинистых отложений. При разработке глин, предприятие сталкивается с большими потерями, достигающих 20-40 %. Это происходит из-за низкой степени дезинтеграции. Большая часть непродезинтегрированных песков, в виде окатышей уходит в галечные отвалы. Также на выход окатышей оказывает влияние глубокая сезонная мерзлота.

К другим геологическим факторам следует отнести узкие долины и большую протяженность россыпей, значительные водные источники, протекающие по месторождению, крутые террасы и увалы, затрудняющие размещение отвалов вскрыши, большую водопроницаемость песков, торфов, дамб и плотин.

Из технических параметров на эффективность разработки оказывает влияние длина черпаковой цепи, из-за возможного провисание холостого участка черпаковой цепи достигается плотик россыпи, тем самым увеличивая разубоживание.

Выводы

Таким образом, качество выемки россыпи дражным оборудованием зависит от совокупного влияния множества факторов. Основные из них это: технологические – последовательность и темпы выемки; геологические – особенности строения россыпи и пород, ее слагающих; технические – конструктивные возможности дражного оборудования. Для повышения эффективности добычи в разной мере нужно учитывать их все. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотодобыча [Электронный ресурс]. URL: https://zolotodb.ru/article/12605 (дата обращения 27.10.2021).
2. Золотодобыча [Электронный ресурс]. URL: https://zolotodb.ru/article/11656 (дата обращения 27.10.2021).
3. Вареничев А.А., Комогорцев Б.В., Гудзенко В.Т. Основные направления золотодобычи в России // Горный информационноаналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 1, 2017, С. 231-237.
4. 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.
5. Liu Yanga, Sun Jiuyuna. Study of the Integrated Enviromental Monitoring in Mining Area Based on Image Analysis. Procedia Engineering. 2011; No 21. pp. 267-272. DOI: 10.1016/j.proeng. 2011.11.2014.
6. Ершов В.А. Целенаправленное преобразование россыпных месторождений при дражной разработке // Горная промышленность, № 5, 2010, С. 70-72.
7. Костромин М.В., Грешилов Д.М. Эксплуатационные потери песков в межшаговых и межходовых целиках при дражной разработке россыпей и способы их снижения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 8, 2012. С. 80-87.
8. Костромин М.В., Грешилов Д.М. Методика, техника и технология определения, снижения и ликвидации эксплуатационных потерь в межшаговых и межходовых целиках при дражной разработке россыпей // Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)«, № 12, 2014. С. 68-75.
9. Мурзин Н.В., Тальгамер Б.Л. Совершенствование методов расчета параметров выемки и отвалообразования при драгировании техногенных запасов // «Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук«, № 1, 2020. № 1. С 110-116.
10. Зелинская Е.В, Тальгамер Б.А., Киселева М.А., Махнев А.Н., Черкасов Р.Г. Разработка рекомендаций по природоохранным мероприятиям при дражном способе переработки песков месторождения р. Ирелях // «Горный информационно-аналитический бюллетень«, № S15, 2009г. С. 247-256.
11. Блинов С. М., Караваева Т.И., Боков Д.А. Способ очистки воды от взвешенных веществ с использованием дражных отвалов // Вестник Пермского Университета, № 2(15), 2012. С. 86-91.
12. Turbidity due to dredging and dumping of sediments [Электронный ресурс] URL: https://www.leovanrijn-sediment.com (дата обращения 27.10.2021).
13. Mei Anxin, Peng Wanglu, Qin Qimin, Liu Huiping. Introduction to Remote Sensing. Higher Education Press, Beijing, P. R. China. 2001. pp. 190-192.
14. Zhang Zhenlong, Zeng Zhiyuan, Li Shuo. A Summary of Change Detection Methods of Remote Sensing Image. Remote Sensing Information. 2005. no. 5. pp. 64-66.
15. Byambaa B, Todo Y. Technological Impact of Placer Gold Mine on Water Quality: Case of Tuul River Valley in the Zaamar Goldfield, Mongolia. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2011. pp. 51. DOI: 10.2495/WRM110261.
16. Smith S, Friedrichs C. Size and settling velocities of cohesive flocs and suspended sediment aggregates in a trailing suction hopper dredge plume. Continental Shelf Research. 2011. no. 31. DOI: 10.1016/j.csr.2010.04.002
17. Костромин М.В., Достовалов В.В. Рациональная технология водоснабжения и очистки сточных вод при дражной разработке россыпей. Журнал «Горный информационно-аналитический бюллетень«, № 1, 2015. С.22-26.
18. Тихонов В.П., Караваева Т.И. Особенности фильтрационных свойств техногенных образований // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского Государственного Аграрного Университета, № 74, 2011. С. 851-860.
19. Тальгамер Б.Л. Пути сокращения технологических потерь при дражной разработке россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 1, 1996. С. 93-96.
20. Кисляков В.Е., Цимбалюк Н.А., Деннер В.И. Разубоживание песков в забое эфельными отвалами при дражной разработке россыпных месторождений // «Известия тульского государственного университета. Науки о земле«, № 1, 2021. С. 147-160.

REFERENCES

1. Placer gold mining in Russia: state, problems and solutions. Gold mining. URL: https://zolotodb.ru/article/12605 (date of treatment 10/27/2021).
2. State and prospects of dredging gold mining in the Irkutsk region. Gold mining. URL: https://zolotodb.ru/article/11656 (date of treatment 10/27/2021).
3. Varenichev A. A., Komogortsev B. V., Gudzenko V. T. Osnovnye napravleniya zolotodobychi v Rossii [Main directions of gold mining in Russia]. 2017. No. 1. P. 231-237.
4. Jonson K., MacKenzie A. (2012). Gold dredging in the Klondike and number 4 Proceedings. Annual Conference. Canadian Society for Civil Engineering, 1, pp. 211-220.
5. Liu Yanga, Sun Jiuyuna. (2011) Study of the Integrated Enviromental Monitoring in Mining Area Based on Image Analysis. Procedia Engineering; 21, pp. 267-272. https://doi.org/ 10.1016/j.proeng.2011.11.2014
6. Ershov V.A. Purposeful transformation of alluvial deposits in dredge design // Mining industry Journal. 2010. №. 5. P. 70-72.
7. Kostromin M.V., Greshilov D.M. (2012). Operational losses of sands in inter-step and inter-pass pillars during dredging of placers and ways to reduce them. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 8, p. 80-87.
8. Kostromin M.V., Greshilov D.M. (2014). Methodology, technique and technology for determining, reducing and eliminating operational losses in inter-step and inter-pass pillars during dredging of placers. Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal), 12, p. 68-75.
9. Murzin N.V., Talgamer B.L. (2020). Improvement of methods for calculating the parameters of excavation and dumping when dredging technogenic reserves. Fundamental and applied questions of mining sciences, 1, p. 110-116.
10. Zelinskaya E.V., Talgamer B.A., Kiseleva M.A., Makhnev A.N., Cherkasov R.G. (2009). Development of recommendations for environmental protection measures for the dredging method of processing the sands of the river. Irelyakh. Mining information and analytical bulletin, S15, p. 247-256.

11. Blinov S.M., Karavaeva T.I., Bokov D.A. (2012). Method of water purification from suspended solids using dredging dumps. Perm University Bulletin, 2 (15), p. 86-91.
12. Turbidity due to dredging and dumping of sediments. URL: https://www.leovanrijn-sediment.com (date of treatment 10/27/2021).
13. Mei Anxin, Peng Wanglu, Qin Qimin, Liu Huiping. (2001). Introduction to Remote Sensing. Higher Education Press, Beijing, P. R. China, pp.190-192
14. Zhang Zhenlong, Zeng Zhiyuan, Li Shuo. A. (2005). Summary of Change Detection Methods of Remote Sensing Image. Remote Sensing Information, 5, pp. 64-66.
15. Byambaa B, Todo Y. (2011). Technological Impact of Placer Gold Mine on Water Quality: Case of Tuul River Valley in the Zaamar Goldfield. Mongolia. World Academy of Science, Engineering and Technology, pp. 51. https://doi.org/ 10.2495/WRM110261
16. Smith S, Friedrichs C. (2011). Size and settling velocities of cohesive flocs and suspended sediment aggregates in a trailing suction hopper dredge plume. Continental Shelf Research, 31. https://doi.org/ 10.1016/j.csr.2010.04.002
17. Kostromin M.V., Dostovalov V.V. (2015). Rational technology of water supply and wastewater treatment during dredging of placers. Mining information and analytical bulletin, 1, p. 22-26.
18. Tikhonov V.P., Karavaeva T.I. (2011). Features of filtration properties of technogenic formations. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University, 74, p. 851-860.
19. Talgamer B.L. (1996). Ways to reduce technological losses during dredging mining of placers. Mining information and analytical bulletin, 1, p. 93-96.
20. Kislyakov V.E., Tsimbalyuk N.A., Denner V.I. (2021). Dilution of sands in the bottomhole with efel dumps during dredging of alluvial deposits. Bulletin of the Tula State University. Geosciences, 1, p. 147-160.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кисляков Виктор Евгеньевич:
доктор технических наук,
профессор кафедры Открытых горных работ,
член-корреспондент РАЕ,
Сибирский Федеральный Университет,
Институт Горного Дела, Геологии и Геотехнологий,
г. Красноярск, Россия

Kislyakov Viktor Evgenievich:
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Opencast Mining,
Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences,
Siberian Federal University,
School of Mining, Geology and Geotechnology,
Krasnoyarsk, Russia

Дорожкин Денис Александрович:
лаборант,
Сибирский Федеральный Университет,
Институт Горного Дела, Геологии и Геотехнологий,
г. Красноярск, Россия,
e-mail: drozhkin99@mail.ru

Dorozhkin Denis Aleksandrovich:
laboratory assistant,
Siberian Federal University,
School of Mining, Geology and Geotechnology,
Krasnoyarsk, Russia,
e-mail: drozhkin99@mail.ru

Зубов Павел Андреевич:
лаборант,
Сибирский Федеральный Университет,
Институт Горного Дела, Геологии и Геотехнологий,
г. Красноярск, Россия,
e-mail: pasha07101999@gmail.com

Zubov Pavel Andreevich:
laboratory assistant,
Siberian Federal University,
School of Mining, Geology and Geotechnology,
Krasnoyarsk, Russia,
e-mail: pasha07101999@gmail.com

Деннер Виктор Иванович:
аспирант,
Сибирский Федеральный Университет,
Институт Горного Дела, Геологии и Геотехнологий,
г. Красноярск, Россия

Denner Viktor Ivanovich:
graduate student,
Siberian Federal University,
School of Mining, Geology and Geotechnology,
Krasnoyarsk, Russia

ДОЛЯ УЧАСТИЯ АВТОРОВ / SHARE OF PARTICIPATION OF THE AUTHORS

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей. / The authors participated equally in the writing and collection of the material, as well as its processing.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTEREST

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.