

УДК 622.271.1:622.342.1

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.023

Таганов Виталий Вадимович
младший научный сотрудник,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр
Дальневосточного отделения РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: taganov11@gmail.com

Taganov Vitaliy V.
Junior Researcher,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far-East Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenev Str.
e-mail: taganov11@gmail.com

Алексеев Владимир Сергеевич
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр
Дальневосточного отделения РАН

Alekseev Vladimir S.
Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far-East Branch of RAS

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ ЗОН ТЕХНОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR THE FORMATION OF ENRICHED ZONES OF TECHNOGENIC COMPLEXES OF PLACER DEPOSITS

Аннотация:

Выполнены лабораторные экспериментальные исследования изучения миграции частиц золота в техногенной горной массе под воздействием циклического фильтрационного потока. В ходе анализа результатов эксперимента установлена зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине от медианного размера частицы вмещающей горной массы, определяющая условие применения технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав».

Ключевые слова: технология, техногенное россыпное месторождение, миграция золота, фильтрационный поток, формирование обогащенной зоны, циклическое затопление – осушение, гранулометрический состав.

Abstract:

The paper presents laboratory experimental studies carried out to research the migration of gold particles in technogenic rock mass under the influence of a cyclic filtration flow. In the course of the analysis of the experiment results, we established the dependence of the intensity of change in the gold content with depth on the median particle size of the enclosing rock mass, which determines the condition for the application of the technology for the formation of an enriched zone in terms of the "granulometric composition" factor.

Key words: technology, technogenic placer deposit, gold migration, filtration flow, enrichment zone formation, cyclic flooding-dewatering, granulometric composition.

Введение

Анализ состояния сырьевой базы россыпной золотоносности Дальнего Востока показывает, что существуют серьезные проблемы эффективной добычи золота из россыпей. Необходимы комплексные геологические, горно-технологические, конструкторские и экономические исследования, направленные на выделение групп наиболее перспективных природных и техногенных россыпей, с одной стороны, и разработку способов, методов и оборудования, повышающих эффективность добычи и переработки золотоносных отложений, – с другой [1].

Техногенные россыпи, в том числе малообъемные, на современном этапе остаются существенным ресурсом минерально-сырьевой базы россыпного золота, темпы их освоения недостаточны из-за отсутствия научно обоснованных технологий и недостаточной технологической подготовленности недропользователей. В связи с этим в настоящее время техногенные россыпные месторождения обрабатываются по традиционной технологии, которая не отличается от технологии отработки первичных россыпей [2].

Россыпные месторождения золота Дальнего Востока характеризуются разнообразием условий их образования и воздействия на них региональных климатических усло-

вий. Наиболее богатые россыпи, расположенные вблизи районов с развитой инфраструктурой, уже, как правило, оработаны, поэтому во многих странах, в том числе и в России, вовлекаются в эксплуатацию новые типы россыпей, ранее не относившихся к промышленным объектам, – литоральные, элювиальные, техногенные и др., а также аллювиальные россыпи более сложного строения, менее богатые, содержащие значительную долю золота мелких фракций. Это обстоятельство является главной причиной, значительно усложняющей процесс разработки таких месторождений, требующей поиска новых эффективных технологических решений как на этапе выемки продуктивных горных масс, так и при подготовке их к обогащению.

Несмотря на то что техногенные россыпные месторождения являются весьма значительным резервом минерально-сырьевой базы благородных металлов, их освоение осложняется тем, что ценные компоненты в массиве находятся в хаотическом, рассеянном состоянии. При этом их добыча связана со сплошной переработкой всего объема техногенных образований, что зачастую является нерентабельным в связи со значительными материальными и финансовыми затратами [3 – 6]. Поэтому проблема создания эффективного способа освоения техногенных россыпей является весьма актуальной и имеет большое финансовое и социальное значение.

В лаборатории разработки россыпных месторождений создана новая технология разработки техногенных россыпных месторождений, предполагающая создание в приплотиковой части россыпи обогащенного слоя песков, формируемого за счет миграции золота, т.е. перемещения частиц золота преимущественно в вертикальном направлении.

На основании изучения техногенных россыпных образований сотрудниками Института горного дела ДВО РАН установлено явление внутриотвального обогащения, при котором под воздействием преимущественно природных факторов происходит миграция и концентрация частиц благородных металлов в нижние горизонты массива. К этим факторам отнесены следующие процессы: гидродинамические, включая фильтрационные и суффозионные; криогенные (циклическое промерзание и оттаивание дисперсных горных пород); микросейсмические (сейсмическая активность различных регионов). Влияние их на эффективность, интенсивность и в целом на формирование техногенных россыпей нового типа различны, поэтому авторами проведены широкомасштабные теоретические и экспериментальные исследования по изучению характера и степени влияния этих факторов на процессы миграции и концентрации частиц металлов с высокой объемной массой в техногенном массиве горных пород [7 – 8].

Разработанная технология предполагает постоянное воздействие фильтрационного потока на пески подготавливаемого блока. Для снижения расхода технологической воды применяется циклическое затопление-осушение подготавливаемого блока.

В данных экспериментальных работах исследуется влияние гранулометрического состава горной массы на эффективность миграции частиц золота в техногенной горной массе под воздействием циклического фильтрационного потока, определяются регрессионные уравнения зависимости величины миграции частиц золота от параметров горной массы.

Исследование влияния гранулометрического состава горной массы на эффективность миграции частиц золота

В результате двух серий экспериментальных исследований по изучению влияния гранулометрического состава горной массы на миграцию частиц золота, проведенных в 2021 – 2022 гг., было рассмотрено 8 вариантов песков различного гранулометрического состава (табл. 1). В предыдущих экспериментальных исследованиях было доказано, что при увеличении крупности частиц вмещающих пород миграция частиц золота происходит наиболее эффективно, однако требовалось изучить процесс миграции золота в песках, содержащих значительное количество илово-глинистой фракции и тяжелых минералов [9].

Целью настоящих исследований является определение границы применимости технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав». Исследования проводятся на экспериментальной установке, показанной на рис. 1, при воздействии фильтрационного потока, параметры которого определены в предыдущих экспериментальных исследованиях [9]. Принимаются параметры циклического 3-О, установленные в предыдущих экспериментальных исследованиях, когда половину времени цикла блок песков затапливается, половину – осушается, т.е. $k_{\text{ц}}=0,5$.

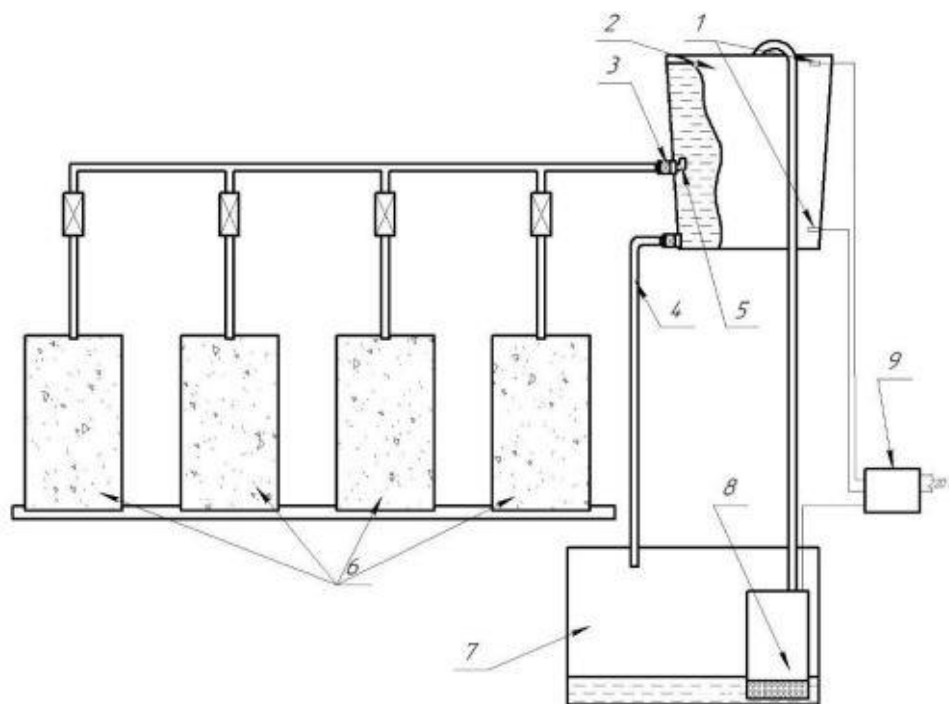


Рис. 1. Экспериментальная установка:

- 1 – датчики верхнего и нижнего уровня воды; 2 – распределительная емкость;
- 3 – вентильный кран; 4 – сбросной шланг; 5 – поворотные уголки; 6 – горная масса;
- 7 – приемная емкость; 8 – насос; 9 – устройство управления

Рассматривается 8 вариантов песков различного гранулометрического состава, отличающихся количеством мелкой, пылевидной и илово-глинистой фракции (см. табл.1).

Таблица 1

Гранулометрический состав горной массы

Класс крупности, мм	Выход класса, %				Выход класса, %			
	1 Серия (2021)				2 Серия (2022)			
	Номер емкости				Номер емкости			
	1	2	3	4	1	2	3	4
-0,1	8,0	20,0	20,0	20,0	20,0	15,0	10,0	10,0
-0,2+0,1	12,0	30,0	30,0	30,0	30,0	25,0	25,0	13,0
-0,5+0,2	32,0	20,0	20,0	20,0	20,0	30,0	25,0	32,0
-1,0+0,5	12,0	15,0	15,0	15,0	15,0	10,0	20,0	22,0
-2,0+1,0	36,0	15,0	15,0	15,0	15,0	20,0	20,0	23,0
Итого	100	100	100	100	100	100	100	100

Для оценки влияния гранулометрического состава горной массы на величину миграции в первой серии экспериментальных исследований необходимо определить количественную характеристику крупности горной массы. В данном исследовании авторами предлагается использовать медианный размер частицы горной массы d_{50} – это диаметр частиц, меньше которых в грунте (или в горных породах) содержится 50 %. Тогда для горной массы в емкости 1 $d_{50}=0,48$ мм, емкости 2 – $d_{50}=0,75$ мм, емкости 3 $d_{50}=0,56$ мм, емкости 4 – $d_{50}=1,08$ мм.

Результаты обогащения проб показаны на рис. 2.

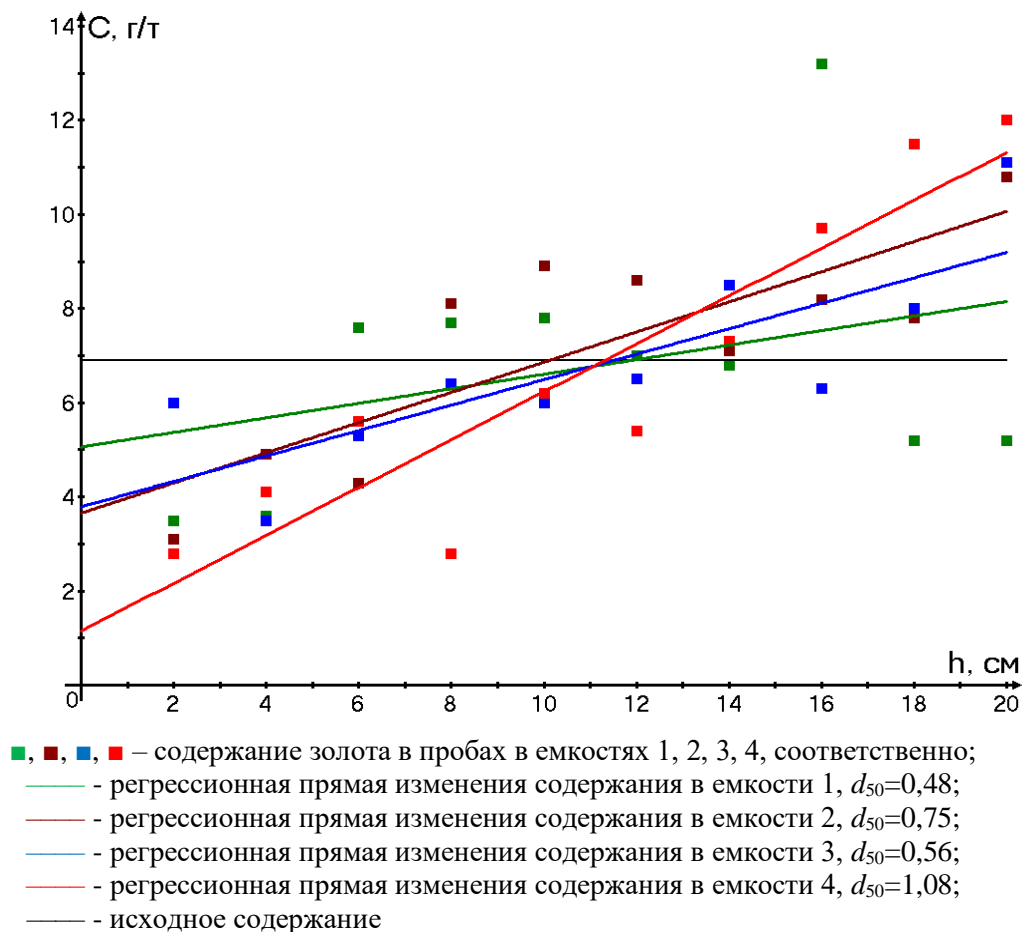


Рис. 2. Содержание золота в пробах

В ходе анализа результатов эксперимента установлены частные закономерности зависимости содержания золота от глубины горной массы при различном гранулометрическом составе:

- емкость 1 - $C = 0,16 \cdot h + 5,1$ при $d_{50}=0,48$;
- емкость 2 - $C = 0,32 \cdot h + 3,7$ при $d_{50}=0,75$;
- емкость 3 - $C = 0,27 \cdot h + 3,7$ при $d_{50}=0,56$;
- емкость 4 - $C = 0,51 \cdot h + 1,15$ при $d_{50}=1,08$.

Для оценки влияния гранулометрического состава горной массы на величину миграции во второй серии экспериментальных исследований определена количественная характеристика крупности горной массы – медианный размер частицы горной массы d_{50} . Так как исследования проводятся на горной массе крупностью $-2,0+0,0$ мм, то d_{50} – это диаметр частиц, меньше которого во фракции $-2,0+0,0$ мм песков содержится 50 %.

Для горной массы в емкости 1 – $d_{50}=0,2$ мм, емкости 2 – $d_{50}=0,3$ мм, емкости 3 – $d_{50}=0,38$ мм, емкости 4 – $d_{50}=0,45$ мм.

Результаты обогащения проб показаны на рис. 3.

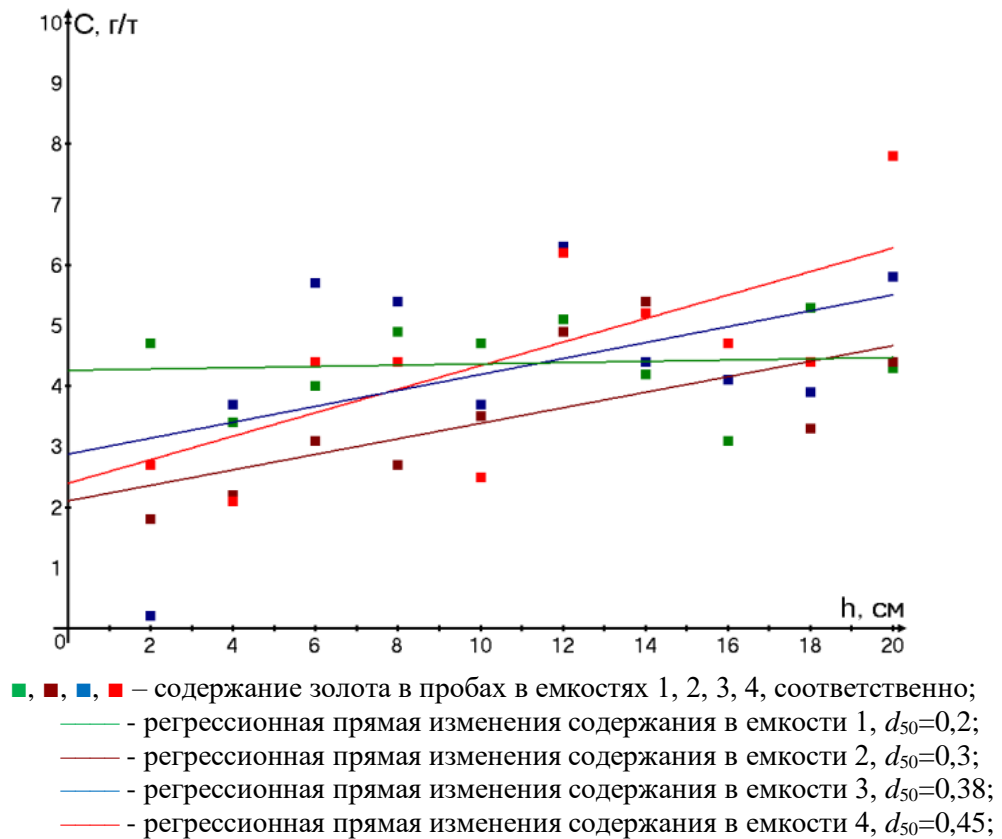


Рис. 3. Содержание золота в пробах

В емкости 1 ($d_{50}=0,2$) миграция частиц золота незначительна. Содержание золота в каждом отобранном слое незначительно отличается от среднего содержания в емкости. Среднее содержание в 5-ти верхних и 5-ти нижних слоях равное.

В емкости 2 ($d_{50}=0,3$) содержание золота в верхней половине уменьшилось, а в нижней увеличилось на 24 %.

В емкости 3 ($d_{50}=0,38$) в нижнюю половину мигрировало 8 % золота, содержание золота в нижнем слое увеличилось на 54 % относительно исходного, причем в большей степени за счет фр. $-0,2+0,1$ мм (рис. 4).

В емкости 4 ($d_{50}=0,45$) в нижнюю половину мигрировало 11 % золота, причем содержание золота фр. $-0,2+0,1$ мм в двух нижних слоях увеличилось в 2,2 раза (рис.5).

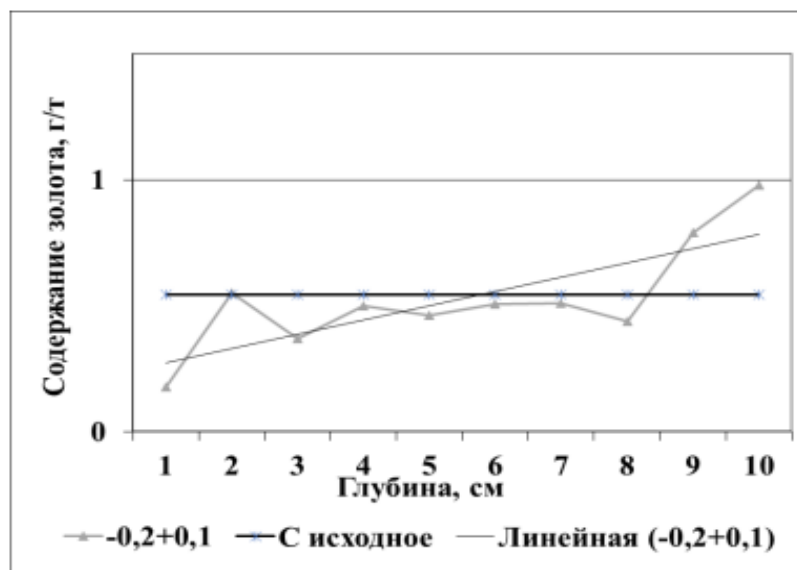


Рис. 4. Содержание золота фр. $-0,2+0,1$ мм в емкости 3

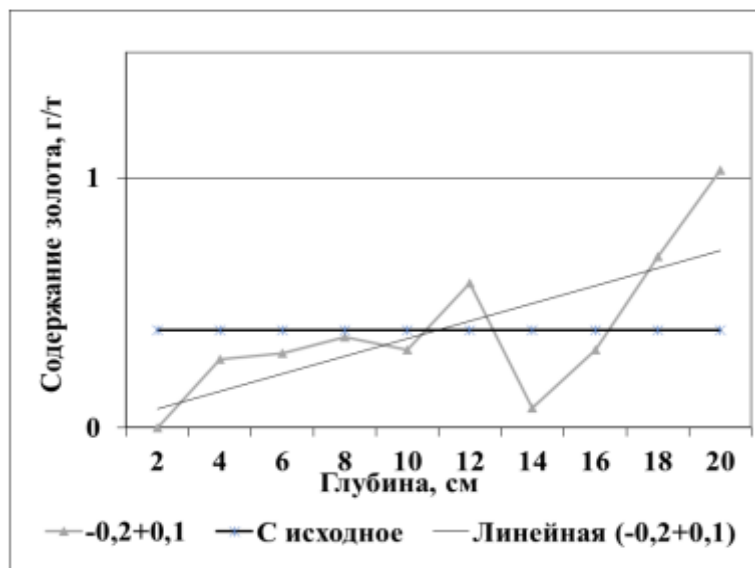


Рис. 5. Содержание золота фр. -0,2+0,1 мм в емкости 4

В ходе анализа результатов эксперимента установлены частные закономерности зависимости содержания золота от глубины горной массы при различном гранулометрическом составе (см. рис. 3):

- емкость 1 - $C = 0,01 \cdot h + 4,3$ при $d_{50}=0,2$;
- емкость 2 - $C = 0,12 \cdot h + 2,1$ при $d_{50}=0,3$;
- емкость 3 - $C = 0,13 \cdot h + 2,9$ при $d_{50}=0,38$;
- емкость 4 - $C = 0,19 \cdot h + 2,4$ при $d_{50}=0,45$.

Полученные данные полностью подтверждают определенную в ходе предыдущих исследований зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине I_M от медианного размера частицы вмещающей горной массы ($k_{кор} = 0,97$) (рис. 6):

$$I_M = 0,54 \cdot d_{50} - 0,07. \quad (1)$$

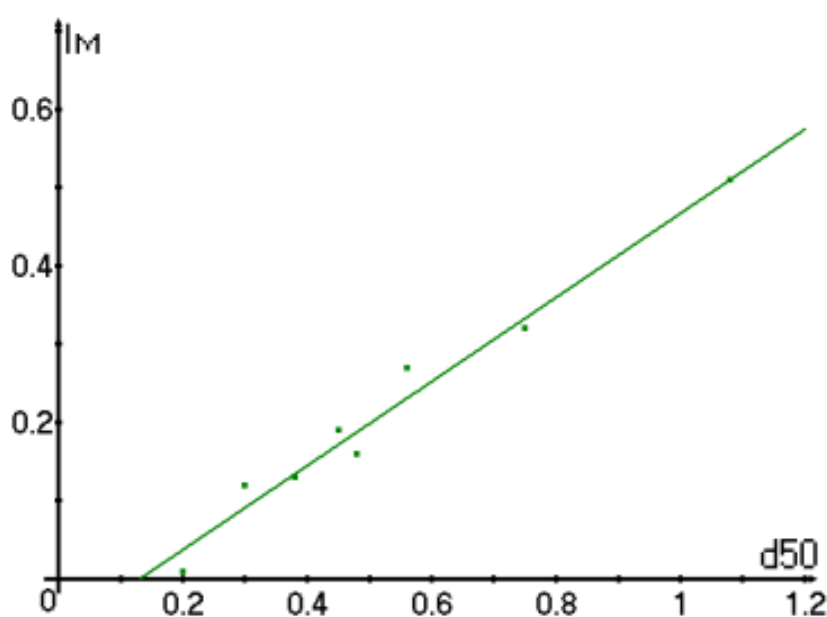


Рис. 6. Зависимость интенсивности изменения содержания золота по глубине от медианного размера частиц вмещающей горной массы

Выводы по экспериментальным исследованиям

Таким образом, в результате проведения 2-х серий экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- экспериментально доказано, что при увеличении крупности частиц вмещающих пород миграция частиц золота происходит наиболее эффективно;
- миграция частиц золота в песках с медианным размером $d_{50} = 0,2$ мм отсутствует;
- миграция частиц золота в песках с медианным размером $d_{50} < 0,3$ незначительна;
- значение медианного диаметра $d_{50} = 0,3$ мм является граничным условием применения технологии формирования обогащенной зоны по фактору «гранулометрический состав».

Обоснование параметров технологии

Проведенные исследования позволяют обосновать технологию отработки техногенных россыпных месторождений с формированием обогащенных зон, заключающуюся в следующем [10]: в верхней и нижней частях спланированного равномерно по мощности блока техногенных песков проходят, соответственно, водозаводную и аккумулирующую каналы, после чего в водозаводную канаву подается определенное количество технологической воды, достаточной для формирования в техногенном блоке фильтрационного потока, способного сдвигать в толще песков мелкие частицы вмещающих пород и выносить их в другие области. Расход воды рассчитывается по разработанной методике в зависимости от фильтрационных свойств песков и ситовой характеристики золота [8]. Образующиеся в результате дополнительные объемы порового пространства обеспечивают возможность перемещения частиц высокой плотности преимущественно в вертикальном направлении – миграции. При длительном воздействии такого потока в приплотиковой части блока формируется обогащенный слой песков, который характеризуется однородной структурой, относительно небольшим объемом продуктивной горной массы. Это позволяет отделить пески с низким содержанием золота, значительно сократить объем промывки и с большей рентабельностью осуществить освоение техногенной россыпи.

Геометрические параметры подготавливаемого блока песков определяются для конкретных горно-геологических условий, и на них влияют следующие факторы [10]:

- рельеф местности и уклон долины. Подготавливаемый блок песков необходимо располагать так, чтобы направление фильтрационного потока совпадало с уклоном долины, т.е. между водозаводной и аккумулирующей канавами был напор, минимальная величина которого должна обеспечивать формирование устойчивого фильтрационного потока;

- гранулометрический состав горной массы. Одним из ограничивающих применение технологии факторов является высокое содержание илово-глинистых фракций, забивающих поровые трубки и препятствующих перемещению частиц. Проведенными ранее исследованиями установлено:

- практически все пески техногенных россыпных месторождений суффозионны, что является важным положительным фактором в технологии формирования обогащенных зон техногенных россыпей;

- горно-геологические условия природной россыпи;

- удаленность источника технологической воды и его дебет и др.

Описываемая технология предусматривает в первый год удаление галечного отвала на всей площади обрабатываемого участка, проходку водозаводных, аккумулирующих и промежуточных каналов, подачу воды в каналы, создание устойчивого фильтрационного потока, расход которого рассчитывается по разработанной методике, и начало этапа формирования обогащенного слоя. Обогащенный слой считается сформированным, когда содержание золота в нем достигнет требуемого значения, соответствующего

современным экономическим требованиям, определяющегося по результатам обогащения отобранных послойно проб. На следующем этапе производится уборка или складирование песков с низким (непромышленным) содержанием золота, а сформированный обогащенный слой промывается на промывочном приборе с развитой схемой обогащения, обеспечивающей высокое извлечение мелкого и тонкого золота.

Заключение

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что техногенные россыпные месторождения зачастую не вовлекаются в отработку по причине низкого содержания металла, а также наличия большого количества мелкого и тонкого золота. Для рентабельной отработки таких месторождений разработана и экспериментально и теоретически обоснована технология, основанная на использовании способности частиц золота мигрировать в приплотиковую часть россыпи под воздействием природных процессов, что позволит сформировать обогащенный слой песков с содержанием, равным или превышающим промышленное. Предлагаемая технология позволит эффективно обрабатывать техногенные россыпные месторождения благородных металлов, а также вовлекать в отработку россыпи, эксплуатация которых ранее считалась экономически нецелесообразной.

Экспериментальные исследования были выполнены на базе ЦКП "ЦИМС" ХФИЦ ДВО РАН.

Список литературы

1. Алексеев В.С., Сас П.П., Серый Р.С., 2017. Экспериментальные исследования формирования продуктивных зон в техногенных россыпных месторождениях золота. *ФТПРПИ*, № 6, С. 191 – 197. DOI: 10.15372/FTPRPI20170620.
2. Литвинцев В.С., 2019. Состояние и проблемы освоения россыпных месторождений благородных металлов. *Маркшейдерия и недропользование*, № 5 (103), С. 10 – 13.
3. Литвинцев В.С., Серый Р.С., Банщикова Т.С., Сас П.П., 2016. Проблемы оценки и освоения техногенных образований золотосодержащих россыпей Приамурья. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 2, С. 72 – 79.
4. Litvintsev V.S., 2013. Resource potential of placer mining waste. *Journal of Mining Science*, no 49, С. 99 – 105. DOI: 10.1134/S1062739149010127
5. Мирзеханов Г.С., Литвинцев В.С., 2018. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в дальневосточном регионе. *Горный журнал*, № 10, С. 25 – 30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04
6. Мирзеханов Г.С., Мирзеханова З.Г., 2013. *Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота*. Москва: МАКС Пресс, 288 с.
7. Таганов В.В., Семенов А.Н., 2019. Исследование закономерностей распределения полезных компонентов на шлюзовых приборах при отработке россыпных месторождений. *Проблемы недропользования*, № 2 (21), С. 138 – 142. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.138
8. Алексеев В.С., Серый Р.С., 2016. Экспериментальные исследования технологии формирования продуктивных зон при отработке техногенных россыпных месторождений золота. *ФТПРПИ*, № 3, С. 110 – 115.
9. Алексеев В.С., Таганов В.В., Васюта А.Д., 2022. Исследование миграции частиц золота в техногенных песках россыпных месторождений. *Обогащение руд*, № 5, С. 34 – 39. DOI: 10.17580/or.2022.05.06.
10. Алексеев В.С., 2012. *Обоснование рациональной технологии формирования продуктивной зоны при открытой разработке техногенных россыпей Приамурья: автореф. дис. ... канд. техн. наук*. Хабаровск, 22 с.

References

1. Alekseev V.S., Sas P.P., Seryi R.S., 2017. Eksperimental'nye issledovaniya formirovaniya produktivnykh zon v tekhnogennykh rossypnykh mestorozhdeniyakh zolota [Experimental studies of the formation of productive zones on technogenic placer gold deposits]. FTPI, № 6, P. 191 – 197. DOI: 10.15372/FTPI20170620.
2. Litvintsev V.S., 2019. Sostoyanie i problemy osvoeniya rossypnykh mestorozhdenii blagorodnykh metallov [Status and problems of the development of placer deposits of precious metals]. Marksheideriya i nedropol'zovanie, № 5 (103), P. 10 – 13.
3. Litvintsev V.S., Seryi R.S., Banshchikova T.S., Sas P.P., 2016. Problemy otsenki i osvoeniya tekhnogennykh obrazovaniy zolotosoderzhashchikh rossypei Priamur'ya [Problems of assessment and development of technogenic formations of gold-bearing placers of the Amur region]. Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh, № 2, P. 72 – 79.
4. Litvintsev V.S., 2013. Resource potential of placer mining waste. *Journal of Mining Science*, no 49, C. 99 – 105. DOI: 10.1134/S1062739149010127
5. Mirzekhanov G.S., Litvintsev V.S., 2018. Sostoyanie i problemy osvoeniya tekhnogennykh rossypnykh mestorozhdenii blagorodnykh metallov v dal'nevostochnom regione [State and problems of developing the technogenic placer deposits of precious metals in the Far Eastern region]. Gornyi zhurnal, № 10, P. 25 – 30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04
6. Mirzekhanov G.S., Mirzekhanova Z.G., 2013. Resursnyi potentsial tekhnogennykh obrazovaniy rossypnykh mestorozhdenii zolota [Resource potential of technogenic formations of placer gold deposits]. Moscow: MAKS Press, 288 p.
7. Taganov V.V., Semenov A.N., 2019. Issledovanie zakonomernostei raspredeleniya poleznykh komponentov na shlyuzovykh priborakh pri otrabotke rossypnykh mestorozhdenii [Study of distribution patterns of useful components on sluice devices during development of placer deposits]. Problemy nedropol'zovaniya, № 2 (21), P. 138 – 142. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.138
8. Alekseev V.S., Seryi R.S., 2016. Eksperimental'nye issledovaniya tekhnologii formirovaniya produktivnykh zon pri otrabotke tekhnogennykh rossypnykh mestorozhdenii zolota [Experimental studies of the technology of formation of productive zones during development of technogenic placer gold deposits]. FTPI, № 3, P. 110 – 115.
9. Alekseev V.S., Taganov V.V., Vasyuta A.D., 2022. Issledovanie migratsii chastits zolota v tekhnogennykh peskakh rossypnykh mestorozhdenii [Investigation of concentration of gold particles in technogenic sands on placer deposits]. Obogashchenie rud, № 5, P. 34 – 39. DOI: 10.17580/or.2022.05.06.
10. Alekseev V.S., 2012. Obosnovanie ratsional'noi tekhnologii formirovaniya produktivnoi zony pri otkrytoi razrabotke tekhnogennykh rossypei Priamur'ya: av-toref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of rational technology for the formation of a productive zone during open development of technogenic placers of the Amur region: abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences]. Khabarovsk, 22 p.