

УДК 622.75, 622.342.1

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ
ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ ЗОН ПРИ ОТРАБОТКЕ
ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА**

В. С. Алексеев, Р. С. Серый

*Институт горного дела ДВО РАН, E-mail: adm@igd.khv.ru,
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

Выполнены экспериментальные исследования и определены рациональные параметры технологии формирования продуктивных зон техногенных россыпных объектов. Технология позволяет вовлекать в эксплуатацию техногенные россыпные месторождения, отработка которых ранее считалась нерентабельной.

Техногенные россыпные месторождения, фильтрационные потоки, миграция частиц золота, формирование продуктивных зон

За последние десятилетия в России существенно сократился объем золота, добываемого из россыпей, что отрицательно сказалось на финансовом и социальном положении регионов традиционной золотодобычи Дальневосточного федерального округа.

Проблемы россыпной золотодобычи непосредственно связаны с ухудшением минерально-сырьевой базы ввиду снижения среднего содержания золота в песках, усложнением условий эксплуатации россыпных месторождений, вовлечением в отработку трудоемких россыпей глубокого залегания и сложного строения, слабым освоением техногенных россыпных образований и т. п.

Неизбежен поиск альтернативных объектов золотодобычи. Ими, в первую очередь, являются рудные месторождения золота и накопленные за многолетний период эксплуатации техногенные россыпные образования. По оценкам специалистов [1–4], потенциал ресурсов техногенных россыпей достаточно велик. В золотодобывающих районах скопились значительные объемы золотосодержащих отвальных комплексов — миллиарды кубических метров галечных, эфельных отвалов, торфов и т. п.

Несмотря на тот факт, 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, и их добыча связана со сплошной переработкой всего объема техногенных образований, что зачастую является нерентабельным в связи со значительными материальными и финансовыми затратами. Поэтому проблема создания эффективного способа освоения техногенных россыпей является весьма актуальной и имеет большое финансовое и социальное значение.

В Институте горного дела ДВО РАН разработана новая технология разработки техногенных россыпных месторождений, которая предполагает создание в приплотиковой части россыпи обогащенного слоя песков, формируемого за счет миграции золота, т. е. перемещения частиц золота преимущественно в вертикальном направлении.

Технология основана на комплексном использовании воздействия природных и технологических процессов на массивы техногенных аллювиальных пород, включающих криогенные, микросейсмические, суффозионные и фильтрационные процессы. Проведенные ранее лабораторные и натурные экспериментальные исследования [5, 6] позволили как качественно, так и количественно оценить влияние указанных процессов на миграцию золота в техногенных россыпях.

Технология отработки техногенных россыпей с формированием продуктивных зон предусматривает подготовку блока техногенных песков определенного объема, заключающуюся в создании в нем фильтрационного потока, способствующего возникновению необходимых условий для миграции частиц золота. При создании в блоке техногенных песков фильтрационного потока возникают несколько видов трансформации структуры горных пород, способствующих процессам миграции ценных компонентов в приплотиковую часть пласта.

К таким деформациям относятся [7]:

- суффозия, т. е. вынос или перемещение фильтрационным потоком наиболее мелких частиц горной массы. При наличии в грунтах растворимых солей возможна химическая суффозия;
- контактный размыв, т. е. разрушение связных пород на контакте с более крупным материалом, обусловленное действием фильтрационного потока вдоль контактной поверхности;
- отслаивание, т. е. отрыв фильтрационным потоком частиц и агрегатов глинистых пород над порами горной массы.

В результате суффозии происходит увеличение пористости горной породы, что создает предпосылки к миграционным процессам ценных компонентов, имеющих более высокую плотность. При контактном размыве и отслаивании ослабевают связи между верхним и нижним слоями горной массы, что облегчает принудительное смещение верхних слоев пород к нижним.

Фильтрационный поток создается путем устройства в верхней части подготовленного блока техногенных песков водозаводной канавы, а в нижней части — аккумуляющей. В водозаводную канаву вода подается самотеком.

Геометрические параметры блока определяются на местности и зависят от ряда факторов:

- от рельефа местности. Оработка природных россыпей открытым отдельным способом предусматривает ведение горных работ вверх или вниз по уклону; эфельные отвалы можно планировать в выработанном пространстве по всей ширине первичной россыпи. Для россыпей, первично отработанных подводным дражным способом, уклон долины и направление ведения горных работ зачастую не совпадают, поэтому подготавливаемый блок песков следует располагать так, чтобы направление фильтрационного потока совпадало с уклоном долины;
- от гранулометрического состава эфелей. На интенсивность миграции частиц золота особое влияние оказывает содержание глинисто-илистых фракций: чем выше их содержание, тем меньше интенсивность миграции;
- от горно-геологических условий природной россыпи;
- от уклона долины. Величина уклона определяет напор фильтрационного потока;
- от удаленности источника воды и его дебета и др.

При средней ширине россыпи 80–100 м, первично отработанной открытым отдельным способом, и мощности спланированного эфельного отвала до 2 м длина подготавливаемого блока может достигать 600–750 м. Согласно [5], длину подготавливаемого блока рекомендуется принимать не более 150 м. При большей длине наблюдаются большие гидравлические сопротивления, при которых скорость фильтрации и расход фильтрационного потока уменьшаются даже с увеличением напора.

Для подготовки блока песков длиной более 150 м необходимо по его длине на всю ширину пройти несколько промежуточных канав, т. е. разбить блок на несколько подблоков (рис. 1).

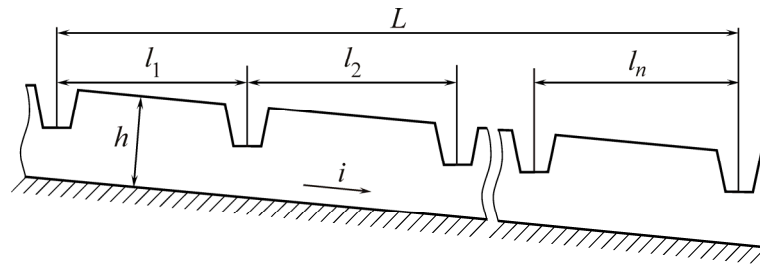


Рис. 1. Подблоки техногенной россыпи

Напор фильтрационного потока определяется не только уклоном долины, но и разностью отметок уровня воды в канавах одного блока, т. е. для увеличения напора необходимо обеспечить максимальный уровень воды в водозаводной и минимальный — в аккумуляющей канаве. При делении блока на подблоки водозаводная канава нижнего подблока является аккумуляющей для соседнего верхнего, и выполнение этого условия не представляется возможным. Рекомендуется наполнять все каналы до максимального уровня; напор при этом определяется уклоном долины и при длине блока до 150 м будет достаточным для формирования необходимого фильтрационного потока.

Расстояние между соседними канавами l_n следует принимать таким, чтобы оно было меньше расстояния от водозаводной канавы подблока до любой другой, кроме аккумуляющей канавы, свободной поверхности. При соблюдении этого условия фильтрационный поток будет направлен в сторону аккумуляющей канавы.

Для более быстрой подачи воды во все каналы и сокращения времени водонасыщения подблоков рекомендуется подавать в водозаводную канава блока столько технологической воды, чтобы сформировался поверхностный поток. Основная цель поверхностного потока — подача воды в нижележащие каналы, поэтому его влиянием на миграцию частиц золота можно пренебречь. В этом случае формирование фильтрационных потоков в подблоках начнется практически одновременно.

Для эффективной миграции частиц золота необходимо создать фильтрационный поток, удельный расход которого [5] равен

$$q = kih_0,$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут; i — уклон долины; h_0 — нормальная глубина (глубина равномерного движения фильтрационного потока), м.

Поскольку предусматривается полное наполнение всех канав, то кривая депрессии совпадает с дневной поверхностью спланированного блока, т. е. $h_0 = h$. Тогда $q = kih$.

Скорость фильтрационного потока U в случае установившегося движения при ламинарном режиме находится по формуле Дарси [8], пьезометрический уклон в которой совпадает с уклоном долины: $U = ki$.

Скорость фильтрационного потока определяет время водонасыщения блока t_n , которое показывает, как долго блок длиной l_n полностью заполнится водой и в его объеме сформируется устойчивый фильтрационный поток [5]:

$$t_n = \frac{l_n}{U}.$$

Расход фильтрационного потока

$$Q_{\phi} = U\omega_{\text{бл}}k_{\text{п}},$$

где $\omega_{\text{бл}}$ — площадь поверхности, через которую происходит питание блока водой, т. е. сумма площадей боковой поверхности и дна водозаводной канавы, м^2 ; $k_{\text{п}}$ — коэффициент потерь.

Коэффициент $k_{\text{п}}$ учитывает потери воды при фильтрации через плотик Q_1 , испарении с поверхности канав и котлована Q_2 , фильтрации через борта блока Q_3 [5]:

$$k_{\text{п}} = 1 + \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{Q_{\phi}}.$$

Расход фильтрационного потока через плотик Q_1 зависит от площади плотика в плане и поверхностной пористости плотика. В практике для расчета количества испарившейся воды Q_2 используют карту изолиний среднемноголетнего испарения с водной поверхности и схему районирования территории страны на зоны внутригодового хода испарения, составленную Государственным гидрологическим институтом. Потери воды, связанные с фильтрацией через борта блока Q_3 , очень сложно учесть и рассчитать на данном этапе исследований. По нашему мнению, все указанные потери воды находятся в пределах 10–15 % от фильтрационного потока, т. е. $k_{\text{п}} = 1.1–1.15$.

Для определения расхода воды Q_{ϕ} для блока, показанного на рис. 1, необходимо вычислить расход для каждого подблока с учетом потерь, тогда

$$Q_{\phi} = \sum_{i=1}^n Q_{\phi i},$$

где n — количество подблоков.

Промышленные испытания технологии начаты в 2012 г. на месторождении руч. Болотистый (Хабаровский край) и продолжаются в настоящее время. В средней части россыпи, отработанной в 2006–2007 гг. гидромеханизированным способом с переработкой и обогащением песков на промприборе ПГС-II-50, в непосредственной близости от илоотстойника, служащего источником технологической воды, подготовлен экспериментальный блок техногенных песков размером 8×15 м и мощностью до 1 м. Материал блока — отработанные пески россыпи — эфель, находящийся в непосредственной близости. В результате предварительных расчетов определен минимальный необходимый расход технологической воды, который составил 104 л/ч.

На следующем этапе эксперимента (зимний период) блок промораживается, в результате чего массив песков принимает состояние, при котором параметры блока (плотность, коэффициент фильтрации и т. п.) имеют значения, близкие к параметрам блока песков естественного залегания.

В середине июня 2013 г. проведен монтаж труб и запущен основной этап экспериментальных работ, предусматривающий воздействие на блок песков потока воды, оказывающего преимущественное влияние на миграцию частиц золота. По окончании промывочного сезона (10 октября) методом шурфования послойно отобраны пробы песков. Мощность отбираемого слоя 10 см, средняя масса пробы 20.8 кг. Продолжительность проведения этапа 115 сут, эксперимента — 1 год.

В результате обогащения отобранных проб получены промежуточные результаты формирования продуктивной зоны (рис. 2).

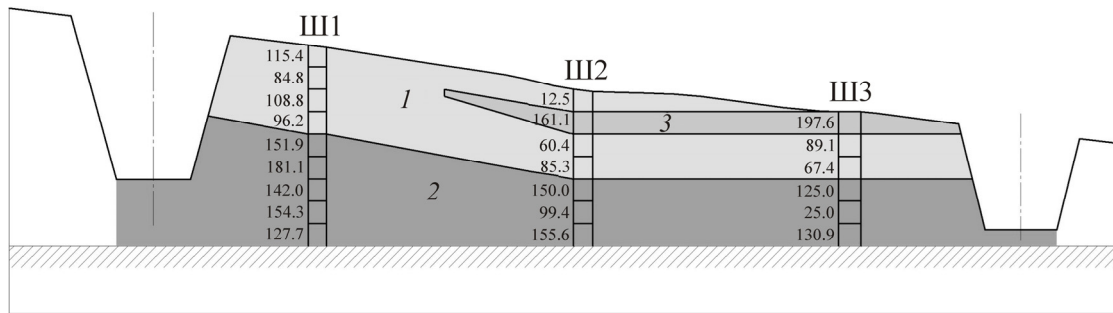


Рис. 2. Поперечный разрез блока песков (2013 г.): 1 — вскрыша; 2 — продуктивный пласт; 3 — непроработанная зона; Ш1, Ш2, Ш3 — шурфы

Среднее содержание золота в четырех верхних пробах снизилось относительно среднего по шурфу 1 на 21.6 %, в шурфе 2 среднее содержание в четырех верхних пробах снизилось на 22.9 %, в шурфе 3 миграция менее заметна ввиду явно выраженной непроработанной зоны.

Анализ отобранных в октябре 2013 г. проб позволяет отделить пески с высоким и низким содержанием золота. Так, если условно принять границу содержания равной 125 мг/т, то получим разрез (см. рис. 2), на котором зона 1 — часть блока, в которой существенно уменьшилось содержание золота (условно – вскрышные породы), зона 2 — продуктивный пласт, мощность которого равна половине мощности блока песков.

Образование зоны 3, представляющей собой пласт песков с высоким (более 125 мг/т) содержанием золота, объясняется положением этой зоны выше кривой депрессии, вследствие чего данный участок блока не подвергается воздействию потока воды, а миграция проходит за счет фильтрации с поверхности атмосферных осадков и проморозки-протайки горной массы. Мощность зоны 10–20 см. Для того чтобы зона 3 имела минимальные размеры, необходимо в аккумулирующей канаве поддерживать максимальный уровень воды или фильтрационный поток дополнить поверхностным, равномерно распределенным по всей площади блока.

В 2014 г. исследования продолжены в той же технологической последовательности. В октябре 2014 г. (продолжительность эксперимента 2 года) с экспериментального участка отобраны пробы, результат обогащения которых показан на рис. 3. Среднее содержание золота в пяти верхних пробах снизилось относительно среднего по шурфу 1 на 21.2 %, в шурфе 2 снижение среднего содержания составило 8.7 %, в шурфе 3 — 24.4 %.

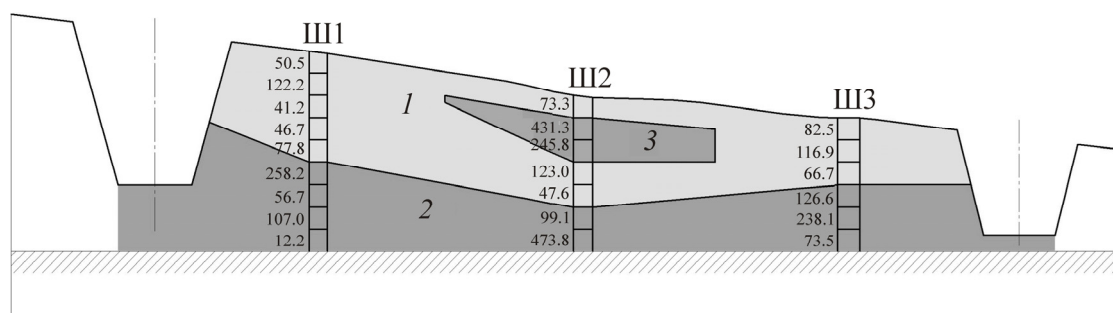


Рис. 3. Поперечный разрез блока песков (2014 г.): 1 — вскрыша; 2 — продуктивный пласт; 3 — непроработанная зона

Таким образом, за два промывочных сезона удалось сформировать обогащенный пласт (с содержанием выше 125 мг/т), объем которого составил 44 % от общего объема песков в экспериментальном блоке.

Поскольку принятое граничное содержание в современных условиях является достаточно высоким, воздействие природных факторов на блок песков необходимо продолжить.

ВЫВОДЫ

Выполнен анализ природно-технологических факторов, влияющих на процесс миграции частиц золота в массиве пород техногенных россыпных образований. Проведены опытно-промышленные экспериментальные исследования технологии формирования продуктивной зоны техногенной россыпи, позволяющей вовлекать в эксплуатацию объекты, ранее считавшиеся нерентабельными.

Технология позволяет уменьшить в среднем в 2 раза объемы переработки техногенной горной массы при существенно более высоком содержании полезного компонента в сформированном блоке.

Эксперимент показал, что за два промысловых сезона возможно сформировать продуктивный пласт техногенных песков россыпного месторождения с кондиционным содержанием металла. Установлены геометрические размеры блока и подблоков техногенных песков, а также параметры фильтрационного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ван-Ван-Е А. П.** Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. — М.: Горная книга, 2010. — 268 с.
2. **Расказов И. Ю., Литвинцев В. С., Мамаев Ю. А.** Ресурсная база техногенных россыпных месторождений и основные направления их освоения // Золотодобывающая пром-сть. — 2011. — № 1. — С. 14–20.
3. **Литвинцев В. С.** О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 118–126.
4. **Мирзеханов Г. С., Мирзеханова З. Г.** Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота. — М.: МАКС Пресс, 2013. — 288 с.
5. **Алексеев В. С.** Обоснование рациональной технологии формирования продуктивной зоны при открытой разработке техногенных россыпей Приамурья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Хабаровск, 2012. — 22 с.
6. **Мамаев Ю. А., Литвинцев В. С., Алексеев В. С.** Процессы формирования продуктивного пласта техногенных россыпей благородных металлов // Тихоокеан. геология. — 2012. — Т. 31. — № 4. — С. 106–112.
7. **Литвинцев В. С., Алексеев В. С., Пуляевский А. М.** Суффозионные процессы в технологии формирования обогащенных зон техногенных золотороссыпных месторождений // ФТПРПИ. — 2012. — № 5. — С. 157–163.
8. **Тернов А. Ф.** Гидравлика грунтовых вод: учеб. пособие. — Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. — 63 с.

Поступила в редакцию 10/VII 2015