

УДК 622.271.1:622.342.1

Таганов Виталий Вадимович

аспирант, инженер,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: street-dv@mail.ru

Алексеев Владимир Сергеевич

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Хабаровский федеральный
исследовательский центр ДВО РАН

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА С ФОРМИРОВАНИЕМ ПРОДУКТИВНОЙ ЗОНЫ

Аннотация:

Проблема добычи золота из россыпных месторождений в Российской Федерации и за ее пределами непосредственно связана с ухудшением минерально-сырьевой базы и горно-геологических условий: снижением среднего содержания золота в песках, усложнением условий эксплуатации россыпных месторождений, вовлечением в отработку трудоемких россыпей глубокого залегания и сложного строения, освоением техногенных россыпных образований, что обуславливает неудовлетворительные технико-экономические показатели добычи. По оценкам специалистов, потенциал ресурсов техногенных россыпей достаточно велик. В золотодобывающих районах скопились значительные объемы золотосодержащего материала отвалного комплекса – миллиарды кубических метров галечных, эфельных отвалов, торфов и перебуторов. Средние содержания золота в отвальном комплексе являются в основном кондиционными по современным экономическим требованиям и даже могут быть сопоставимы с содержанием в целиковых россыпях, поэтому они могут быть использованы для повторной отработки. Техногенные россыпи характеризуются хаотичным распределением в их толще золота и других ценных компонентов, что при низких содержаниях затрудняет их широкое использование в качестве объектов промышленной золотодобычи. Вовлечение их в отработку требует определенной подготовки как на стадии установления их запасов, так и при их освоении. Эффективная разработка техногенных россыпей возможна при условии применения новых технологических решений, возможности выбора оптимальных конструктивных и технологических показателей горно-обоганительной техники в зависимости от совокупности влияющих природных, конструктивных и технологических факторов.

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.02.073

Taganov Vitaliy V.,

Graduate Student, Engineer,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far-East Branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgeneva Str.
street-dv@mail.ru

Alekseev Vladimir S.

Candidate of technical sciences,
leading researcher,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far-East Branch of RAS

JUSTIFICATION OF EXPLOITATION TECHNOLOGY OF TECHNOGENIC ALLUVIAL GOLD DEPOSITS WITH FORMATION OF PRODUCTIVE ZONE

Abstract:

The problem of gold mining from alluvial deposits in the Russian Federation and beyond is directly related to the deterioration of the mineral resource base and of the geological conditions - decrease in the average gold content in the sands, complication of the exploitation conditions of alluvial deposits, involvement of deep deposits and complex structures in the mining of labor-intensive placers, development of man-made alluvial formations, which leads to unsatisfactory technical and economic indicators of production. According to expert meanings, the potential resources of man-made placers are quite large. Significant volumes of gold-containing material from the dump complex are accumulated in gold mining regions - billions of cubic meters of pebble dumps and dredging tailings, top soils and re-sorters. The average gold grades in the dumping complex are mostly conditional according to modern economic requirements and can even be comparable with the content in whole placers, so they can be used for re-mining. Man-made placers are characterized by a random distribution of gold and other valuable components in their thickness, which makes it difficult to widely use them in case of low contents as objects of industrial gold mining. Involving them in mining requires some preparation, both at the stage of establishing their reserves and during their development. Effective development of man-made placers is possible when new technological solutions are applied, the possibility of choosing the optimal structural and technological indicators of mining and processing equipment, depending on the totality of influencing natural, structural, and technological factors. The most important area of research is the creation of new innovative technologies. To solve these problems, a direction of research on the development and theoretical justification of geotechnology for the development of man-made alluvial deposits based on an intra-dump concentra-

Наиболее важным направлением исследований является создание новых инновационных технологий. Для решения этих проблем было определено и развивается направление исследований по разработке и теоретическому обоснованию геотехнологии освоения техногенных россыпных месторождений на основе внутриотвальной концентрации ценных компонентов, обеспечивающей формирование обогащенной зоны в приплотиковой части. С целью разработки технологии авторами проведены широкомасштабные теоретические и экспериментальные исследования по изучению характера и степени влияния факторов, составляющих основу технологии, на процессы миграции и концентрации частиц золота в техногенном массиве горных пород.

Ключевые слова: технология, техногенное россыпное месторождение, миграция золота, фильтрационный поток, формирование обогащенной зоны

tion of valuable components, ensuring the formation of an enriched zone in the near-flood part, was determined and is being developed. In order to develop the technology, the authors conducted large-scale theoretical and experimental studies to learn the nature and degree of influence of the factors that form the basis of the technology on the processes of migration and concentration of gold particles in the technogenic rock mass.

Keywords: technology, technogenic placer deposit, gold migration, filtration flow, enrichment zone formation.

Введение

В настоящее время разведанные запасы россыпной золотодобычи неуклонно снижаются. Это связано со значительным сокращением геологоразведочных работ, обеспечивающих ранее постоянный прирост запасов на эксплуатируемых объектах и вовлечение новых. В связи с этим повышается роль техногенных россыпных месторождений, так как вовлечение их в эксплуатацию не требует больших капитальных затрат. Однако освоение таких месторождений зачастую нерентабельно ввиду низкого содержания золота, а также повышенного содержания мелкого и тонкого золота, для извлечения которого необходимы специальные методы обогащения.

Поэтому важной научной и технологической задачей является обоснование эффективной технологии освоения техногенных россыпей как резерва сырьевой базы россыпной золотодобычи.

Запасы горной массы техногенных россыпных месторождений золота в Российской Федерации составляют несколько миллиардов кубических метров, а прогнозные ресурсы золота превышают 5000 т [1, 2]. Но их освоение требует не только дальнейшего развития научно-исследовательских работ по созданию инновационных технологий, но и создания необходимых условий для повышения заинтересованности недропользователей в их разработке.

Совершенно очевидно, что решение проблемы повторной отработки техногенных месторождений золота не сводится лишь к оценке их ресурсов. Оно намного обширнее, включает и технологические, и экономические, и экологические, и социальные аспекты [3 – 8].

Известно, что каждая россыпь уникальна по целому ряду факторов (масштабы объемов вскрыши и пласта полезного ископаемого, различный гранулометрический состав горной массы и ситовой состав золота, многообразие ценных попутных компонентов и др.). Поэтому техногенные комплексы россыпных месторождений имеют существенные особенности, которые необходимо учитывать при планировании их разработки. Особенности техногенных объектов россыпей следующие: низкие содержания золота и его гранулометрические особенности, выраженные в преобладании мелких фракций; существенный разброс объемов горных масс в зависимости от способов отработки первичной россыпи; пространственная разобщенность перспективных для отработки техногенных объектов; хорошая, как правило, промывистость техногенных обра-

зований, определяемая гранулометрической однородностью материала отвалов; различная степень сохранности в современном рельефе и др. [9 - 13]. Из-за перечисленных характеристик предъявляются особые требования к решению проблемы рационального освоения природных, природно-техногенных и техногенных россыпных месторождений, особенно в плане научного обоснования и создания новых технологий их освоения и выявления закономерностей оценки взаимовлияющих природных и технологических факторов на экономическую и технологическую эффективность их разработки.

Безусловно, эффективная разработка техногенных объектов возможна только при условии создания и применения новых технологических решений, возможности выбора оптимальных конструктивных и технологических показателей горно-обогатительной техники в зависимости от совокупности влияющих природных, конструктивных и технологических факторов. Наиболее важным направлением исследований является создание новых инновационных технологий.

На основании изучения техногенных россыпных образований сотрудниками Института горного дела ДВО РАН установлено явление внутриотвального обогащения, при котором под воздействием преимущественно природных факторов происходит перемещение частиц высокой плотности в вертикальном направлении (миграция) и их концентрация в нижних горизонтах массива. К этим факторам отнесены следующие процессы: гидродинамические, включающие фильтрационные и суффозионные; криогенные; микросейсмические. Влияние их на эффективность, интенсивность и в целом на формирование техногенных россыпей нового типа различно, 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 [14 – 16].

Экспериментальные исследования

Циклическое промерзание и оттаивание горных пород сопровождается многообразными и сложными теплофизическими, физико-химическими и физико-механическими процессами, которые приводят к существенным преобразованиям их вещественного состава, структуры, текстуры и свойств [17]. Влияние циклического промерзания – оттаивания на характер поведения дисперсного материала исследовалось многими советскими и зарубежными учеными, но большинство этих исследований направлено на изучение изменения свойств горных пород и дальнейшего использования этих изменений. При циклическом промерзании и оттаивании дисперсных горных пород происходит перераспределение частиц, при котором наиболее плотные частицы смещаются вниз – мигрируют. Факт миграции золотин подтверждается экспериментами, выполненными в лаборатории ИГД ДВО РАН [16 – 19], в результате которых установлено:

- лучше всего мигрирует золото мелких классов крупности (-0,25 мм);
- глубина миграции золота увеличивается при увеличении количества циклов промерзания и оттаивания;
- криогенные процессы как самостоятельный фактор оказывают незначительное воздействие на миграцию частиц золота, а основной влияющий фактор – наличие фильтрационного потока.

Лабораторные экспериментальные исследования показали, что при комплексном воздействии внешних факторов на горную массу распределение золота по мощности образца породы протекало наиболее эффективно, миграция золота в нижележащие слои возросла с 20 % при воздействии только фильтрационного потока до 64,3 % при дополнительных двух циклах промерзания и оттаивания; нижнего слоя достигла фракция – 0,1 мм, причем при комплексном воздействии на 19 % больше [14].

В результате промышленных экспериментальных исследований, проведенных на россыпном месторождении руч. Болотистый (Хабаровский край) в течение двух лет, удалось сформировать обогащенный пласт (с содержанием выше 125 мг/т), объем которого составляет 44 % от общего объема песков в экспериментальном блоке (рис. 1) [15].

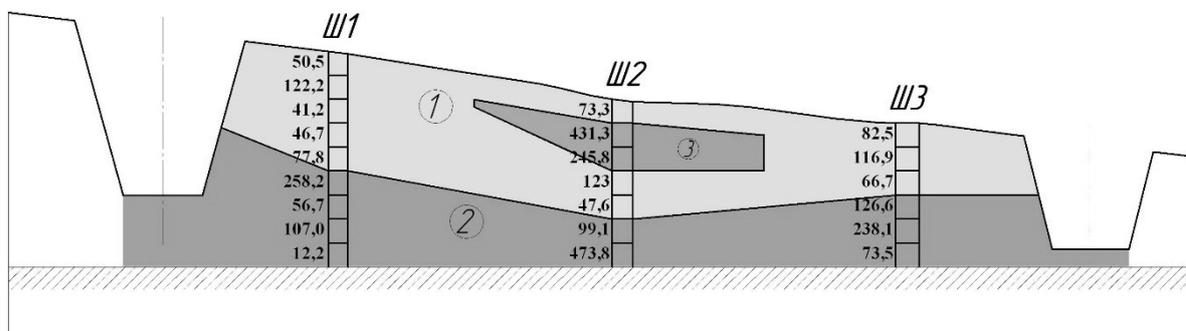


Рис. 1 – Поперечный разрез блока песков (2014 г.):
1 – вскрыша; 2 – продуктивный пласт; 3 – непроработанная зона

Дальнейшими экспериментальными исследованиями установлено, что процесс миграции частиц золота происходит более эффективно при циклическом воздействии фильтрационного потока, когда техногенный блок песков затопливается и осушается по определенной временной зависимости. Авторами исследовано влияние на величину миграции золота нескольких циклов затопления и осушения горной массы [18]:

- 1) 5 дней постоянной подачи воды, 2 дня осушения;
- 2) 2 дня подачи воды, 1 день осушения;
- 3) 1 день подачи воды, 1 день осушения;
- 4) затопление с неполным осушением (подача воды возобновлялась до полного осушения);
- 5) 2 минуты подачи воды, 8 минут осушения;
- 6) 5 минут затопления, 5 минут осушения;
- 7) 8 минут затопления, 2 минуты осушения.

Наиболее эффективно золото мигрировало при цикле 4 (содержание золота в нижних слоях увеличилось на 23,2 % относительно исходного) и при цикле 6 (содержание золота в придонном слое фракции -0,5+0,2 мм увеличилось на 28 % относительно исходного, фракции -0,2+0,1 мм – на 87 %).

В результате проведенных лабораторных исследований для частного случая установлена зависимость интенсивности изменения содержания золота по мощности экспериментального блока песков от показателя цикла затопления и осушения горной массы:

$$I = -2,29 \cdot k^2 + 2,52 \cdot k - 0,38,$$

где I – интенсивность изменения содержания, численно равная тангенсу угла наклона регрессионной прямой зависимости содержания золота от глубины горной массы при различных циклах затопления и осушения [18]; k – показатель цикла, численно равный отношению времени затопления блока к полному времени цикла.

Максимальная интенсивность изменения содержания золота по глубине $I=0,313$ наблюдалась при исследовании цикла 6, тогда, согласно полученному уравнению, $k=0,55$, т.е. время затопления должно составлять 55 % от полного времени цикла. Для подтверждения полученных данных необходимо провести дополнительные экспериментальные исследования.

Обоснование параметров технологии

Проведенные исследования позволяют обосновать технологию отработки техногенных россыпных месторождений с формированием обогащенных зон, которая заключается в следующем [16]: в верхней и нижней частях спланированного равномерно по мощности блока техногенных песков проходят, соответственно, водозаводную и аккумулирующую канавы (рис. 2), 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 [14]. 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 зависят от следующих факторов [16]:

- рельефа местности и уклона 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;

- гранулометрического состава 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, что практически все пески техногенных россыпных месторождений суффозионны, что является важным положительным фактором в технологии формирования обогащенных зон техногенных россыпей [19];

- горно-геологических условий природной россыпи;

- удаленности источника технологической воды, его дебета и др.

При средней ширине россыпи до 80 – 100 м и мощности спланированного эфельного отвала до 2 м длина подготавливаемого блока должна быть не менее 750 м (при условии подготовки блока песков объемом 150 тыс. м³). При такой длине блока наблюдаются большие гидравлические сопротивления, при наличии которых скорость фильтрации и расход фильтрационного потока уменьшаются при увеличении длины блока даже с увеличением напора [16]. Для подготовки блока такой длины необходимо через 100 – 150 м (зависит от коэффициента фильтрации песков) на всю ширину пройти несколько промежуточных канав, разбив блок на несколько подблоков (см. рис. 2). В этом случае аккумулирующая канавы верхнего подблока будет являться водозаводной канавой для нижележащего.

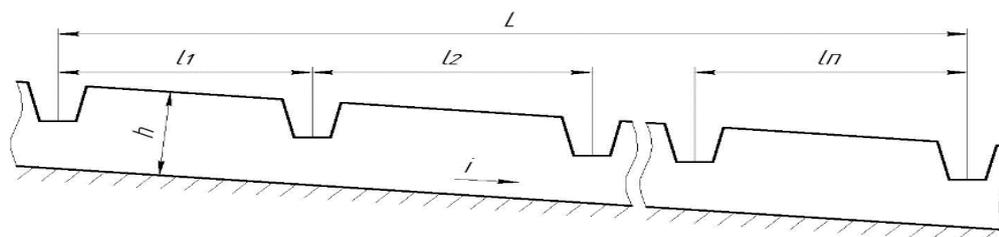


Рис. 2 – Подблоки техногенной россыпи

Строение техногенной россыпи находится в зависимости от ряда факторов: способ первичной разработки месторождения, кратности отработки, природных горно-геологических условий и технико-экономических факторов. От способа первичной разработки зависит состав горно-подготовительных работ разрабатываемой технологии, который включает проведение следующих технологических операций: очистку площади от леса (при наличии), удаление галечного отвала за пределы подготавливаемого блока (за исключением межходовых пазух при первичной дражной отработке россыпи), планирование эфельного отвала равномерно по мощности в пределах первичной выработки, проходка канав, подвод воды, формирование фильтрационного потока.

Описываемая технология предусматривает в первый год удаление галечного отвала на всей площади обрабатываемого участка, проходку водозаводных, аккумулирующих и промежуточных канав, подачу воды в канавы, 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. Проведенные промышленные экспериментальные исследования показывают, что за 2 – 3 промывочных сезона возможно сформировать обогащенный слой песков объемом в 2 и более раз меньше первоначального.

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.

Выводы

Проведенный анализ показал, 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.

Литература

1. Литвинцев В.С. О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений / В.С. Литвинцев // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 118 – 126.
2. Литвинцев В.С. Проблемы рационального освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в восточных районах России / В.С. Литвинцев // ФТПРПИ. — 2015. — № 1. — С. 97 – 104.
3. Литвинцев В.С. Рациональные методы извлечения золота из техногенного минерального сырья россыпных месторождений / В.С. Литвинцев, Т.С. Банщикова, Н.А. Леоненко // ФТПРПИ. — 2012. — № 1. — С. 190 – 194.
4. Проблемы оценки и освоения техногенных образований золотосодержащих россыпей Приамурья / В.С. Литвинцев, Р.С. Серый, Т.С. Банщикова, П.П. Сас // ФТПРПИ. — 2016. — № 2. — С. 72 – 79.
5. Geophysical Survey Of Deep Alluvial Gold In Terms Of Bolotisty Deposit / Raszkazov I.Y., Shkabarnya N.G., Litvintsev V.S., Shkabarnya G.N. // Eurasian Mining, 2017, no. 2. — P. 3 – 7. DOI: 10.17580/em.2017.02.01

6. Прохоров К.В. Исследование возможности извлечения ценных компонентов из техногенного материала Солнечного ГОКа / К.В. Прохоров, Ю.А. Озарян, Р.В. Богомяков // Проблемы комплексного освоения георесурсов: Материалы VI Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых. – Хабаровск: Институт горного дела ДВО РАН, 2017. – С. 144 - 147.
7. Кирильчук М.С. Доизвлечение трудноизвлекаемого золота из техногенно-трансформированного минерального сырья с использованием активационного кучного выщелачивания / М.С. Кирильчук, А.В. Рассказова // Проблемы недропользования. – 2019. – № 2. – С. 101 - 106. DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.101.
8. Перспективные технологии разработки золотороссыпных месторождений Забайкальского края / В.Н. Опарин, А.Г. Секисов, А.И. Трубачев, Б.Н. Смоляницкий // ФТПРПИ. – 2017. – № 3. – С. 70 - 78.
9. Мирзеханов Г.С. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе / Г.С. Мирзеханов, В.С. Литвинцев // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 25 – 30. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.04
10. Мирзеханов Г.С. Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота: Монография / Г.С. Мирзеханов, З.Г. Мирзеханова. - М.: МАКС Пресс, 2013. — 288 с.
11. Внуков Д.А. Перспективы разработки техногенных россыпей в современных условиях недропользования / Д.А. Внуков, Ф.С. Котов // Золото и технологии. — 2011. — № 3. — С. 52 – 54.
12. Серый Р.С. Снижение потерь золота на шлюзовых промывочных приборах при отработке труднообогатимых россыпей / Р.С. Серый // Маркшейдерия и недропользование. — 2014. — № 6. — С. 20 – 22.
13. Серый Р.С. Снижение потерь драгоценных металлов на промывочных приборах за счет оптимизации работы шлюзов мелкого наполнения / Р.С. Серый, В.В. Таганов, К.В. Гевало // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 49 – 52. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.09.
14. Алексеев В.С. Экспериментальные исследования технологии формирования продуктивных зон при отработке техногенных россыпных месторождений золота / В.С. Алексеев, Р.С. Серый // ФТПРПИ. — 2016. — № 3. — С. 110 – 115.
15. Алексеев В.С. Экспериментальные исследования формирования продуктивных зон в техногенных россыпных месторождениях золота / В.С. Алексеев, П.П. Сас, Р.С. Серый // ФТПРПИ. — 2017. — № 6. — С. 191 – 197. DOI: 10.15372/FTPRPI20170620
16. Алексеев В.С. Обоснование рациональной технологии формирования продуктивной зоны при открытой разработке техногенных россыпей Приамурья: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Хабаровск, 2012. — 22 с.
17. Курилко А.С. Экспериментальные исследования влияния циклов замораживания-оттаивания на физико-химические свойства горных пород / А.С. Курилко; ред. В.А. Шерстов; Институт горного дела Севера СО РАН. - Якутск: ЯФ Изд-во СО РАН, 2004. — 154 с.
18. Experimental research on the formation of mineral-rich areas in residue gold placer deposits / Alekseev V., Banshchikova T. // E3S Web of Conferences. — 2018. — Vol. 56. DOI: 10.1051/e3sconf/20185603023
19. Литвинцев В.С. Суффозионные процессы в технологии формирования обогащенных зон техногенных золотороссыпных месторождений / В.С. Литвинцев, В.С. Алексеев, А.М. Пуляевский // ФТПРПИ. — 2012. — № 5. — С. 157 – 163.