

УДК: [553.411.3:550](571.6)

ТЕХНОГЕННЫЕ РОССЫПИ ЗОЛОТА И ПРОБЛЕМА ИХ ОСВОЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

Копылов М. И.¹, Федосеев Д. Г.² 

¹ ФГБУН Институт тектоники и геофизики Ю. А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск

² ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

E-mail: dmitry_fedosseev@bk.ru

В статье дана характеристика техногенных россыпей золота в пределах Дальневосточного региона. Приведены способность миграции рудных элементов и процесс становления электрохимических полей, различных барьерных явлений с отложением на них золота. Предложена новая методика оперативной оценки перспективности техногенных россыпей с помощью электрохимических, геохимических и геофизических методов, что значительно сокращает время и стоимость работ.

Ключевые слова: техногенные россыпи золота, миграция элементов, электрохимические поля, методы, Дальний Восток.

DOI: 10.34078/1814-0998-2025-2-19-31

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассмотрен «статус» техногенных россыпей золота на примере Дальневосточного региона. В настоящее время отработанные месторождения россыпей согласно действующему законодательству (приказу Министерства природных ресурсов и экологии России от 20.05.2021 № 350, Закону «О недрах») подлежат списанию с государственного баланса запасов полезных ископаемых. По установленным нормативам при отработке россыпей потери золота составляют от 3 до 9 % от разведанных запасов, но, как показывает практика, их величина может достигать до 30–50 % и более, в зависимости от размеров золотинок, вещественного состава образований, слагающих россыпи, наличия вечной мерзлоты, недоработок плотика и бортов россыпей. Оставшееся, неизвлеченное золото не может быть определено как «техногенное месторождение», логичнее называть его «техногенный объект» по экономической причине.

В этом случае техногенные образования рассматриваются как отходы горнодобывающего производства, но в соответствии со статьей 1.2 Закона «О недрах» они являются государственной собственностью, и дальнейшие операции по освоению должны проводиться в соответствии с нормами идентичными для не затронутых эксплуатацией месторождений (Сидоркин, Сидоркина, 2016). Сложившаяся правовая коллизия в практике геологоразведочных предприятий, ар-

телей и приисков на Дальнем Востоке и на территории России сдерживает отработку техногенных россыпей золота.

В отработанных россыпях золото обладает уникальными свойствами восстановления в течение 10–20 лет, восстанавливаясь до 50–70 % от первичного содержания. В среде аллювиальных отложений, как правило, насыщенных множеством органических кислот, углекислого газа и существующих электрохимических полей, происходит активный гальванический процесс осаждения золота в форме прочных хлоридных гидрокомплексов. Кроме того, из окружающей среды постоянно происходит пополнение ресурсов золота в россыпи долин, впадин, как со склонов, так и с приплотикового пространства вмещающих пород с повышенным содержанием золота. За промежуток времени не менее 10 лет образуются пригодные для промышленной эксплуатации россыпи золота.

Общее положение вопроса о техногенных россыпях

Дальний Восток является одним из основных поставщиков россыпного золота в России. Фонд разведанных россыпных месторождений золота на Дальнем Востоке значительно сократился, и, если мы не найдем альтернативного источника их пополнения, настанет кризисная ситуация золотодобывающей промышленности. Избежать кризиса в связи с истощением запасов и ресурсов золота удастся при условии, что развитие добывающей отрасли будет осуществляться на основе долговременных прогнозов с привлечением техногенных россыпей, ресурсной базы и своевре-

менного сосредоточения сил и средств, в том числе и на восстановление окружающей среды. Будущим поколениям невозможно обеспечить условия для использования не затронутых добычными отработками золоторудных россыпей, которые использует нынешнее поколение для удовлетворения своих потребностей, необходимо уже сегодня создавать научно-техническую базу, способную ликвидировать ожидаемый дефицит.

Временной интервал восстановления золота в отработанных россыпях составляет не менее 10 лет после окончания их освоения. Время на восстановление потенциала в техногенных россыпях зависит от гранулометрического и вещественного состава, наиболее быстро восстанавливается мелкодисперсное золото. Это связано с тем, что при его отработке со слабым техническим оснащением старателей (особенно в 1930–1960-е гг.) извлечение составляло первые десятки процентов, основная масса золота оставалась в россыпи с небольшими перемещениями в процессе его добычи (плавучее золото). Использование современных технологий позволит значительно увеличить извлечение мелкодисперсного золота из россыпи. Обработка техногенных россыпей может обеспечить работу приисков, старательских артелей еще в течение нескольких десятилетий. Применение комплексной добычи золота с извлечением попутных полезных компонентов: платины, вольфрама, касситерита, ильменита, часто совместно залегающих в россыпях, – значительно повышает эффективность работ и расширяет минерально-сырьевую базу техногенных россыпей золота. При снятии нагрузки на приплотиковое пространство происходит интенсивное развитие трещиноватости вмещающих пород и освобождение золотых, платиновых песчинок, особенно это характерно для черносланцевых толщ. Восстановление ресурсов золота в техногенных россыпях также зависит от активности физико-химической миграции золота, платины и других элементов. Перенос золота в форме хлоридных и гидрокомплексов считается вполне реальным (Геннадиник и др., 1976; Гольдберг, 1988; Буряк, 2003). Важная особенность золота, позволяющая понять распределение его в россыпном пространстве, является способность последнего образовывать коллоидные растворы, играющие важную роль при отложении золота. При гальванических, электрохимических, геохимических и биохимических процессах происходит движение и укрупнение металлических частиц золота, платины и др.

Процесс образования синкриогенных полезных ископаемых может происходить в выработанном пространстве галеефельных отвалов, под которыми часто имеется некоторое количество промышленных песков. На близповерхностном криогенном водоупоре при сезонном промерзании и оттаивании образуется россыпное золото в районах развития мерзлоты (Глотов, Глотова,

2016). Это недоработки плотика, особенно часто встречающиеся на дражных полигонах. Драга не может взять мерзлые пески и плотик, в трещинах которого обычно локализуется золото. Потери золота в плотиках могут составлять десятки процентов от добытого металла.

В техногенных россыпях всегда присутствует органическое вещество (ОВ) в разных объемах. Органическое вещество поверхностных вод, или «водный гумус», представляет собой комплексное соединение углеродно-протеинового и лигнино-протеинового характера с высокой биохимической устойчивостью (Левшина, 2010). Гумусовые вещества накапливают элементы питания и энергию, участвуют в миграции катионов и анионов, в их комплексообразовании, окислении и восстановлении элементов. Среди специфических гуминовых веществ выделяют несколько групп, наиболее существенные из них:

- гуминовые кислоты и их соли (гуматы), растворимые только в щелочных растворах;
- гиматомелановые кислоты;
- фульвокислоты и их соли (фульваты), растворимые в воде, щелочных и кислых растворах;
- гумин, практически нерастворимое и неизвлекаемое из природных тел и компонентов ОВ.

В поверхностных водах Дальневосточного региона ОВ находятся в растворенном, взвешенном или коллоидном состоянии. Ряд химических элементов, в том числе и золото, образуют в целом динамическую систему. Растворенное органическое вещество (РВО) может поступать в водные экосистемы с окружающей водосборной территории, оно же продуцируется непосредственно в водоеме. В экосистеме под воздействием физических, химических, электрохимических и биологических факторов непрерывно осуществляется переход из одного состояния в другое. Состав и содержание микроэлементов в природных водах определяется совокупностью многих различных по своей природе и скорости процессов. Будучи генетически связанное с природными водами, органическое вещество является показателем происходящих в них процессов в терригенных россыпях золота. Ресурсный потенциал восстановления золота в техногенных россыпях зависит от многих причин, которые в совокупности отражают временной период их отработки, где время играет ключевую роль. В преобразованных речных долинах после прекращения техногенного воздействия происходит увеличение ресурсов подземных вод, соответственно и минимального стока малых рек. Возрастание активности подземного водного стока в техногенно преобразованных долинах может привести к восстановлению россыпей золота (Глотов, Глотова, 2018). Восстановительный процесс в техногенных россыпях золота наиболее интенсивно происходит в первый период, в течение 5–10 лет, затем интенсивность замедляется и стабилизируется.

**Физико-химические условия миграции
геохимических элементов (ФХМЭ)
и отложения их на электрохимических
барьерах в пределах техногенных россыпей**

Миграция ФХМЭ зависит от их способности в соединениях с другими элементами образовывать ионы разной валентности, давать растворимые или газообразные соединения, сорбироваться коллоидами железа, марганца. Закономерности ФХМЭ зависят от формы их нахождения, образуют ли они газообразные соединения или мигрируют в «истинно растворенном» состоянии либо в коллоидном растворе. Интенсивность миграции ФХМЭ зависит от кислотности и щелочности природных вод. Большинство химических элементов образуют наиболее сильно растворимые соединения в кислых средах и менее растворимые в нейтральных средах. Соединения некоторых элементов легко растворимы в щелочных растворах с pH 9–10 (Рысс и др., 1965; Свешников, 1967). Кислые и слабокислые воды (pH < 6) благоприятны для миграции Ca, Sr, Ba, Ra, Cu, Zn, Cd, Cr³⁺, Fe²⁺, Mn и Ni. В щелочных водах наиболее подвижны Cr²⁺, Sc, Mo, V⁵⁺, As, Ag, Au.

А. И. Перельман (1968) составил график растворимости гидроокисей металлов в зависимости от величины pH. Катион Fe³⁺ существует только в очень кислой среде (при окислении в золото-сульфидных месторождениях), при содержании его 1 г/л при pH 2.1 уже происходит выпадение из раствора, а при повышении содержания до 4 г/л происходит его осаждение на электрохимических, аккумулятивных, геохимических барьерах в виде гидроокислов, образуя различные лимониты. При слабокислой среде (pH = 4–5) железо Fe²⁺ осаждается на восстановительных барьерах, в слабощелочной среде – при pH 8.2, а при более высокой концентрации (8 г/л) – в щелочной среде (pH 11). Алюминий Al³⁺ существует только в кислых растворах, при содержании 1 г/л осаждается из раствора на адсорбционном барьере при pH 3–6, а при содержании 10 мкг/л – уже при pH 5–3; учитывая его высокий кларк, можно констатировать, что он имеет слабую растворимость. При осаждении металлов на барьерах могут возникать сравнительно устойчивые коллоидные растворы, которые повышают миграционную способность золота, серебра и др. элементов. Влияние pH на осаждение золота и др. металлов в этом случае имеет минимальное значение, из гидротермальных растворов, когда концентрация металлов высокая, происходит осаждение их на различных барьерах. С другой стороны, такие элементы, как Na, K, Ca, Rb, Cs, Sr, не образуют гидроокислов в земной коре, и для их осаждения pH вод имеет лишь косвенное значение. В связи с изложенным, к величине pH как фактору показателя миграции элементов необходимо подходить дифференцированно, с учетом кларков и растворимости элементов, а также содержания их в водах.

Большинство металлов в природных водах находятся в виде гидрокомплексов, полимерных ионов и комплексных соединений с анионами. Так, в морской воде и во многих других сильноминерализованных водах помимо простых и сложных ионов имеются комплексы типа [NaSO₄], занимающего второе место после иона Cl. Для большинства металлов образование комплексных ионов повышает pH и осаждения гидроокисла, в целом увеличивает их растворимость (Бадалов, 1986; Барсуков и др., 1986). Из правила приведенной растворимости следует, что добавление к солевому раствору другой, более растворимой соли, имеющей ион, одноименный с первой, понижает растворимость первой соли. Например, растворимость фторида кальция понизится, если к раствору CaF₂ добавить раствор гипса (CaSO₄). Растворимость англезита (PbSO₄) в зоне окисления сульфидных месторождений особенно низкая в связи с избытком сульфатов (CuSO₄, ZnSO₄ и др.), которые предохраняют последний от растворения.

Коллоиды широко распространены в зоне гипергенеза техногенных россыпей Дальневосточного региона и в растворах оказывают большое влияние на миграцию атомов железа, марганца, золота, платины. Соединения кремния, алюминия, железа, титана и марганца (составляющих около 84 % литосферы) значительно хуже растворимы, в связи с чем содержание их в природных водах, а также в гидротермальных растворах ниже, кроме того они образуют меньше растворимых солей. Способность элементов переходить в коллоидную форму характеризует степень их коллоидности, которая отвечает отношению содержания элемента в коллоидной фракции к его валовому содержанию в почве или породе (Бадалов, 1986; Барсуков и др., 1986; Копылов, 2010). Значительная часть химических элементов мигрирует в коллоидной форме, образуя коллоидные растворы-золи. Наиболее благоприятные условия для коллоидной миграции элементов – это слабощелочные воды, не содержащие органических кислот, сухой климат и много кальция. Коллоиды способны сорбировать из природных вод ионы и молекулы при их концентрации, не достигающей растворимости.

В ходе минерализации органических веществ выделяется энергия как в виде тепла, так и в виде химической энергии, т. е. путем образования веществ, обладающих высокой химической активностью. Так, растворяясь в природных водах, углекислый газ резко повышает их химическую активность. Гумусовые кислоты – продукт разложения органических веществ – являются также активными агентами химического выветривания. Они понижают pH природных вод местами до 4, обуславливая их высокую агрессивность (Рысс и др., 1965; Сидоркин, Сидоркина, 2016). Следует отметить: любые химические процессы стремятся к равновесию, это касается и зоны гипер-

генеза в пределах техногенных россыпей золота. Здесь устойчивость достигается не в результате термодинамического равновесия, а в результате непрерывного получения свободной энергии из окружающей среды столько, сколько расходуется. Подобные процессы и системы термодинамики получили название стационарных систем.

Истинное равновесие характерно для систем, бедных живым веществом, в которых биологический круговорот атомов не оказывает существенного влияния на миграцию и состояние системы. При происходящих гипергенных, руднолокализационных процессах в некоторых случаях протекают самопроизвольные химические реакции, в условиях определенных температур, давления и концентрации. В химии способность элементов вступать в соединения друг с другом называют химическим сродством. Например, между свободным кислородом атмосферы и пиритом наблюдается значительное химическое сродство, что находит выражение в самопроизвольной реакции окисления последнего.

Среди стандартных электродных потенциалов металлов самый сильный восстановитель – это металлический литий, а самый слабый – золото. В водных растворах золото представляет собой типичный комплексообразователь и хорошо поляризуется, а ионы Au^+ и Au^{3+} имеют пустующие s - и d -орбитали (Геннадик и др., 1976; Гольдберг, 1988; Буряк, 2003). Золото в среде рыхлых образований техногенных россыпей проявляет одновременно халькофильные и сидерофильные свойства. Ярким показателем является тесная ассоциация самородного золота с пиритом (FeS_2) и арсенопиритом (FeAsS), с халькопиритом (CuFeS_2) и минералами, содержащими одновременно серу и железо. С железосодержащими сульфидами: молибденитом (MoS_2), галенитом (PbS), сфалеритом (ZnS), антимонитом (Sb_2S_3), висмутином (Bi_2S_3), тетрадимитом (BiTe_2S) – золото встречается, но значительно реже и в более низких концентрациях.

На основе принципа сродства исследователи В. М. Латимер и М. М. Ермолаев рассчитали стандартный избранный потенциал реакции осаждения элементов. Так, в условиях активных концентраций кальция и фтора, равных единице (1 г иона/л и $t = 25^\circ\text{C}$), происходит осаждение фтористого калия. Золото имеет очень слабое сродство к кислороду, наименьшими в сравнении со всеми другими элементами. В связи с этим роль кислорода в формировании золотого оруденения при исследовании часто не рассматривалось. Вместе с тем в настоящее время накопилось много фактических данных, особенно петрофизических, указывающих на большую роль кислорода и для золота в формировании его промышленных концентраций (Барсуков и др., 1986; Сидоркин, Сидоркина, 2016). Это в первую очередь относится к золоту в свободной, самород-

ной форме с образованием его в субмаринных условиях. На более низких уровнях и в близповерхностных условиях отложения золота проявляются в результате его абсорбции минералами железа, марганца и различными золоторудными бактериями.

В зависимости от степени ионизации один и тот же элемент может быть и окислителем, и восстановителем. Так, трехвалентное железо действует как окислитель, а двухвалентное железо – как восстановитель, четырехвалентный марганец ведет себя как окислитель, двухвалентный – как восстановитель.

Окислительно-восстановительные реакции идут с выделением или поглощением энергии. Так, при окислении двухвалентного железа и марганца выделяется значительное количество тепла согласно реакции: $4\text{FeO} + \text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 131.8 \text{ кал.}$, $2\text{MnO} + \text{O}_2 = 2\text{MnO}_2 = 58 \text{ кал.}$ В термодинамических условиях реакции «энергетически выгодны», чем в значительной степени объясняется легкая окисляемость на земной поверхности соединений двухвалентного железа и марганца (Рысс и др., 1965; Свешников, 1967). Щелочные и щелочноземельные металлы (Na, K, Ca) обладают низкими величинами стандартных потенциалов, легко теряют свои валентные элементы (значительно легче водорода) и переходят в состояние положительного иона (катиона). Эти элементы являются сильными восстановителями, легко разлагающими воду, выделяя из нее водород. Они также легко вступают в реакции, в связи с чем в природе отсутствуют самородные натрий, калий, магний и др. Напротив, золото, палладий, серебро с большим трудом отдают свои электроны и поэтому с трудом вступают в химические соединения, находясь преимущественно в самородном состоянии.

Каждый водный раствор характеризуется определенной величиной окислительно-восстановительного потенциала, знание его в зоне окисления сульфидных месторождений, горизонтов подземных вод позволяет определить миграцию ряда элементов. Так, например, низкая величина Eh в некоторых водах терригенных россыпей золота определяет возможность миграции в них железа и марганца в форме Fe^{2+} , Mn^{2+} . В терригенных россыпях на состав природных вод и на величину Eh влияют: свободный кислород, сероводород, трех- и двухвалентное железо, двух- и четырехвалентный марганец, трех- и пятивалентный ванадий, органические соединения, водород и др. В природных водах зоны гипергенеза юга Дальнего Востока величина Eh обычно колеблется от 0.7 в до –0.5 в. Поверхностные и грунтовые воды, содержащие свободный кислород, чаще всего характеризуются более узким интервалом Eh (от +0.15 до 0.7 в). При Eh, равном 0.7, сильно кислая среда

будет восстановительной для трехвалентного железа (Fe^{3+} переходит в Fe^{2+}) и окислительной для двухвалентной меди, т. к. для восстановления последней в кислой среде необходима более низкая величина E_h , равная 0.153В (Летников, Вилор, 1981; Сафронов, 1981; Сидоркин, Сидоркина, 2016). Значения E_h , соответствующие границе между окислительной и восстановительной средами, меняются главным образом в зависимости от величины рН. Качественными показателями окислительно-восстановительной среды служат минералы-индикаторы, наиболее ярким из них является железо. Так, если для среды характерны соединения Fe^{3+} и они отмечены бурыми окрасками пород – считают ее окислительной, а обстановка с соединениями Fe^{2+} , с зеленоватыми и сизыми тонами является восстановительной (Перельман, 1968; Щербина, 1972).

Химический состав поверхностных вод на севере Приамурья на площади техногенных россыпей формируются за счет атмосферных осадков и подтока надмерзлотных и подмерзлотных вод. Развитые повсеместно процессы заболачивания, связанные с наличием мерзлоты, высокие содержания гумуса в почве поверхности водосбора создают окислительную обстановку, о чем свидетельствуют значения окислительно-восстановительного потенциала (E_h 216–395 мВ) и водородного показателя (рН 3.8–6.1). Эти факторы определяют повышенное содержание в воде органики и коэффициентов концентраций (окисляемость 10–54 мг/л, Кк 2–11), аммония (0.13–1.3 мг/л, Кк 1.3–2.7), Fe (0.3–9.9 мг/л, Кк 3–99), Mn (0.01–0.13 мг/л, Кк 1–13). Повышенная концентрация алюминия (0.05–2.9 мг/л, Кк 1–73) в воде поверхностных водотоков связана с его выщелачиванием из алюмосиликатных пород и глин. Содержание ванадия (0.001–0.018 мг/л, Кк 1–18) обусловлено высокой его концентрацией в горных породах основного состава. По этой же причине, но гораздо реже в воде присутствуют медь и ограниченно цинк (Кк 2–6).

Набор химических элементов, содержания которых превышают порог обнаружения при анализе, мог быть гораздо шире. Например, те элементы, которые связаны с титаномagnetитовой специализацией Дальневосточного пояса габбро-анортозитовых массивов (Ti, Cr, Ni, Co, P, V, Cu), в воде не обнаружены или обнаружены весьма редко. Скорее всего, они находятся в воде в окисных и гидроксидных формах или в соединениях с другими элементами.

Очень важно при производстве анализа содержания химических элементов в воде определить форму их нахождения. Определять только ионные формы элементов недостаточно – нужно расширить спектр определения форм нахождения химических элементов для выявления их количественного содержания.

Электрохимические поля и их роль при локализации золота в техногенных россыпях

Электрохимические поля вызваны присутствием в техногенных россыпях электронных проводников: сульфидных, графитовых и магнетитовых минералов, антрацита, толщ пиритизированных, пирротинизированных, шунгитовых и углистых пород (Буряк, 2003; Левшина, 2010; Копач и др., 2013). Непосредственная причина образования электрохимических полей – различие в скачке потенциала на разных участках границы электронного проводника с ионной средой. Для создания устойчивых во времени естественных полей необходимо, чтобы сохранялись во времени условия, вызывающие различие в скачке потенциала.

Электродвижущая сила (э.д.с.) природных проводников обусловлена изменением (в пространстве) химического состава и электрохимических свойств ионной среды или минерального состава проводников. Образование э.д.с. в техногенных россыпях с присутствием сульфидных минералов в основном связано с изменением концентрации окислительно-восстановительных систем и водородного показателя (рН) раствора.

Изменение состава и электрохимических свойств ионной среды, а также вынос продуктов ее взаимодействия с электронными проводниками связаны с движением вод, просачивающихся с поверхности техногенных россыпей. В тех случаях, когда выше проводника залегает экранирующий слой, затрудняющий поступление этих вод к поверхности проводника, интенсивные естественные поля не образуются.

Электрохимические естественные поля на техногенных россыпях, как правило, проявляются в виде минимумов потенциала естественного поля (отрицательные аномалии), значения которых в зависимости от характера, размеров, глубин и условий залегания проводника колеблются от единиц до сотен милливольт.

Фильтрационные поля образуются при фильтрации подземных вод в техногенных породах. Наиболее интенсивно они проявляются в условиях горного рельефа и в долинах рек, техногенных россыпей, особенно в их прирусловой части. Возвышенности, с которых воды фильтруются в понижение области, характеризуются отрицательными потенциалами по сравнению с потенциалами в долинах. Величина градиента фильтрационных потенциалов различна в разных условиях и зависит от скорости движения подземных вод, их минерализации, мощности, размеров и глубины залегания подземного потока и других факторов. На практике наблюдается появление фильтрационных потенциалов до нескольких сотен милливольт на 1 п. км. В долинах рек наблюдается повышение потенциала в направлении движения подземных вод (Свешников, 1967; Гольдберг, 1988; Копылов, Шевелева, 2002; Ко-

пылов, 2010). В русловой части реки потенциал повышается или понижается в зависимости от того, дренирует или питает река подземными водами окружающей среду.

Диффузионные поля возникают вследствие диффузионно-сорбционных процессов, происходящих на участках соприкосновения подземных (или подземных и наземных) вод, имеющих различную концентрацию и состав растворенных солей. Характер и интенсивность диффузионных полей зависят также от электрохимических свойств твердых минералов и пород, слагающих техногенные россыпи. Эти поля отличаются небольшой интенсивностью, но весьма широким распространением.

Естественные поля, меняющиеся во времени, проявляются только в определенных геоморфологических и климатических условиях: в полуобнаженных и обнаженных районах, при отсутствии развитого слоя почвы, относительно малой влажности пород. Наиболее интенсивные поля этого типа наблюдаются при резких колебаниях температуры поверхностного слоя.

Предлагается технологическая цепочка по оценке перспективности техногенных россыпей золота на примере юга Дальнего Востока

Техногенные россыпи золота в пределах юга Дальнего Востока могут превратиться в один из важных источников добычи золота (прогнозируется 4500 т свободного золота в техногенных россыпях). Соответствующие объёмы, ценность и условия залегания этих источников минерального сырья могут позволить классифицировать их как техногенные объекты естественного преобразования и накопления золота со временем (Копылов, Шевелева, 2002; Копылов, 2010). Для выявления перспективных техногенных россыпей предлагается комплекс геофизических (с БПЛА магниторазведка, электроразведка, гравиразведка) и геохимических (спектральные снимки в разном диапазоне длин волн) и геологических методов. Кроме того, в методику исследований включается и комплекс лабораторных исследований по определению количественного содержания золота в отобранных пробах при геофизических, геохимических и геологических работах.

В основу методики исследования коллоидных растворов и отложений рудных элементов на электрохимических барьерах положены данные опытных и производственных работ методами ЧИМ, МДИ, МДГ и лабораторных исследований электрохимической активности, поляризуемости, электрических сопротивлений и пьезоактивности пород и руд. Краткая методика их приводится ниже.

Метод частичного извлечения металла (ЧИМ) выполнялся по отдельным профилям в Хинганском оловорудном, Кировском золоторудном районах и на россыпных месторождениях

золота (Золотая Поляна, Черёмушный) в Амурской области с целью поисков рудных зон, тел и изучения электрохимических процессов. Кроме того, на промышленной аллювиальной россыпи Черёмушной, в Кировском золоторудном районе и в ряде рудопроявлений Приамурья была опробована методика по определению содержаний золота по данным методов МДИ, ЧИМ и меди по МДИ (рис. 1).

Как известно, метод частичного извлечения металла (ЧИМ) основан на растворении ряда минералов и руд под воздействием электрического тока, переноса их и отложения на угольных электродах (Копылов, 2010). Растворение минералов с металлической связью атомов происходит в результате электрохимических реакций в области электродов. После этого происходит смешение твердой и жидкой фаз, при переносе тока в поровое пространство ионов, образующих с компонентами твердой фазы легкорастворимые соединения. Исследования проводились с помощью станции ЧИМ-10, источником тока служил дизель-электрический агрегат ЭСД-10-Т/230 М. Шаг измерений по профилю – 10 м. Время извлечения олова, золота в каждом цикле – 24 часа.

Техногенные россыпи резко отличаются от природных россыпей отсутствием естественной гравитационной дифференциации вещества, т. е. в них нет «пластов песков» и «торфов вскрыши», отсутствует линейная (вдоль и поперек долин) анизотропия продуктивности и, следовательно, к ним неприменимы стандартные методы оценки и разведки россыпей.

В качестве элементоприемников использованы полиэтиленовые стаканчики диаметром 59 мм, с площадью мембраны 3 см² и с концентрацией кислоты 0.75–0.8 Н, с объемом 150 мл³, средней величиной тока 100–200 мА. При вычислении расчетного тока использовалась палетка.

Постановка метода ЧИМ проводилась на Каменистом и Берёзовском оловорудных месторождениях в Хинганском районе. Концентрации с отложениями олова на угольных электродах четко фиксируют зону Олимпийскую с промышленными содержаниями олова и менее контрастно зоны Лимонитовую и Арсенопиритовую с бедной оловорудной минерализацией (Копылов, 2010). По данным геохимического метода МПФ, эти зоны также картируются, но менее контрастно. На месторождении олова Берёзовском ЧИМ и МПФ проведены на 1 буровом профиле. По данным ЧИМ, зона Малютка выделяется аномалией интенсивностью 0.66 и 0.57 усл. ед. при фоне 0.1 усл. ед. Метод МДИ был поставлен на участке Обмани с целью определения его эффективности при поисках скрытого оловянного оруденения в составе комплекса геофизических и геохимических методов.

Метод диффузионного извлечения (МДИ) проводился в Хинганском оловорудном, Киров-

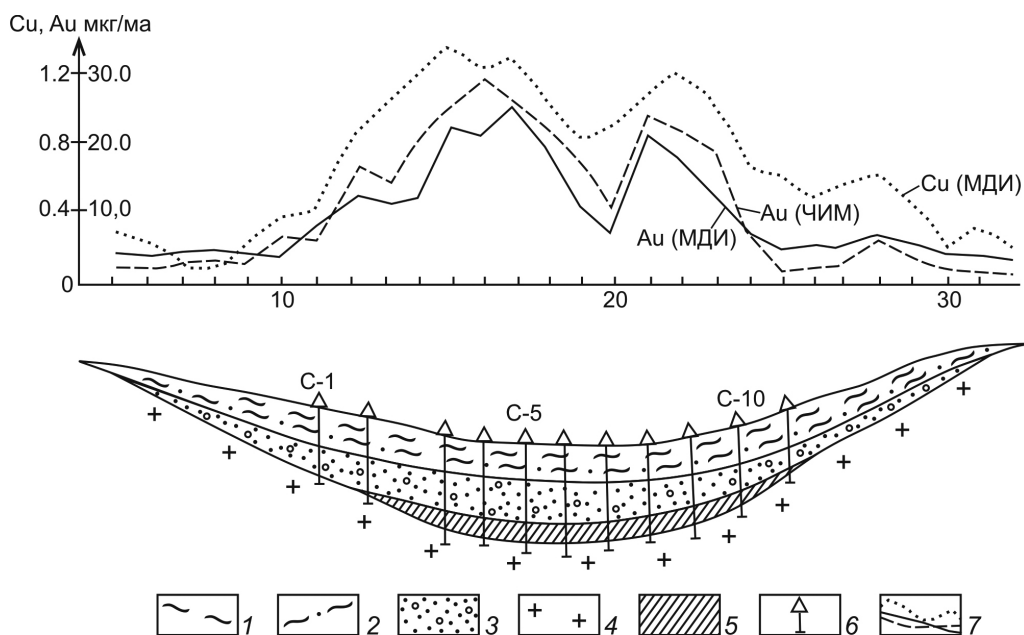


Рис. 1. Результаты исследований методами ЧИМ и МДИ по извлечению золота и меди над глубоко залегающей россыпью золота. Участок Черёмушный. 1–4 – состав аллювиальных отложений: 1 – глины, 2 – суглинки, 3 – пески, галечники, 4 – ложе россыпи лейкократовых биотитовых гранитов; 5 – пласт с промышленным содержанием золота; 6 – скважины; 7 – графики содержаний Au (МДИ, ЧИМ) и Cu (МДИ).

Fig. 1. Results of studies by the PME and MDE methods for gold and copper extraction above a buried gold placer. Cheryomushny site. 1–4 – composition of alluvial deposits: 1 – clays, 2 – loams, 3 – sands, pebbles, 4 – bed of leucocratic biotite granite placer; 5 – layer with industrial gold content; 6 – wells; 7 – graphs of Au (MDE, PME) and Cu (MDE) contents.

ском золоторудном районах и на россыпных месторождениях золота с целью поисков скрытых оловорудных, золоторудных тел и изучения диффузионно-адсорбционных барьеров. Для извлечения элементов из вмещающей среды применялась сосисочная оболочка, в которую заливался раствор соляной кислоты концентрации 1Н (электролит). Через 24 часа оболочки извлекались, содержимое их прямо на пункте наблюдения переливалось в стеклянные пузырьки с плотно завинчивающейся пробкой. В лабораторных условиях проводился анализ на группу элементов: Sn, Cu, Au, Fe, Ni, Zn, Pb, Ag, W, Sb, Mn.

По результатам проведенных опытных работ методом МДИ в Хинганском оловорудном и Кировском (Ясная поляна, Черёмушный) золоторудном районах было изучено электрохимическое извлечение элементов Sn, Fe, Mn, Cu, Mg, Pb, Zn, Au из различных типов пород (Копылов, Шевелева, 2002). Электрическим параметром, определяющим электрохимическое извлечение рудных элементов, является напряженность поля вокруг электроприемников (рис. 2). В поле электрического тока поток электронов разделяется на два сопряженных во времени и пространстве потока – катодный и анодный. Продукты электрохимических реакций в катодной форме перемещаются в область катодного полюса, в анионной

форме в область анодного полюса электрического поля, где и происходят отложения рудных элементов. Степень обогащения их в растворе возрастает на несколько порядков. Аналогично охарактеризованному явлению происходят электрохимические процессы в районе рудных месторождений с сульфидной минерализацией с образованием обогащенных зон и тел.

Полученные материалы позволяют использовать их физическую сущность при изучении вопроса электрохимических барьерных явлений в естественных процессах, происходящих при образовании месторождений. К таким барьерам, прежде всего, относятся фильтрационные и диффузионно-адсорбционные, структурные и др.

Метод металлоорганических форм (МПФ) позволяет значительно увеличить глубинность геохимических методов при опробовании покровных отложений. МПФ проводился в Хинганском оловорудном районе на месторождении Каменистом и Соболином в Комсомольском районе и (россыпном) золоторудном – Золотая поляна (рис. 2). На этих месторождениях определялось содержание металлов в гуматах, торфяно-болотных почв. Гуматы выделялись обработкой пробы 0.1М раствором пирофосфата натрия в течение трех часов при комнатной температуре. Органические соединения, перешедшие в раствор,

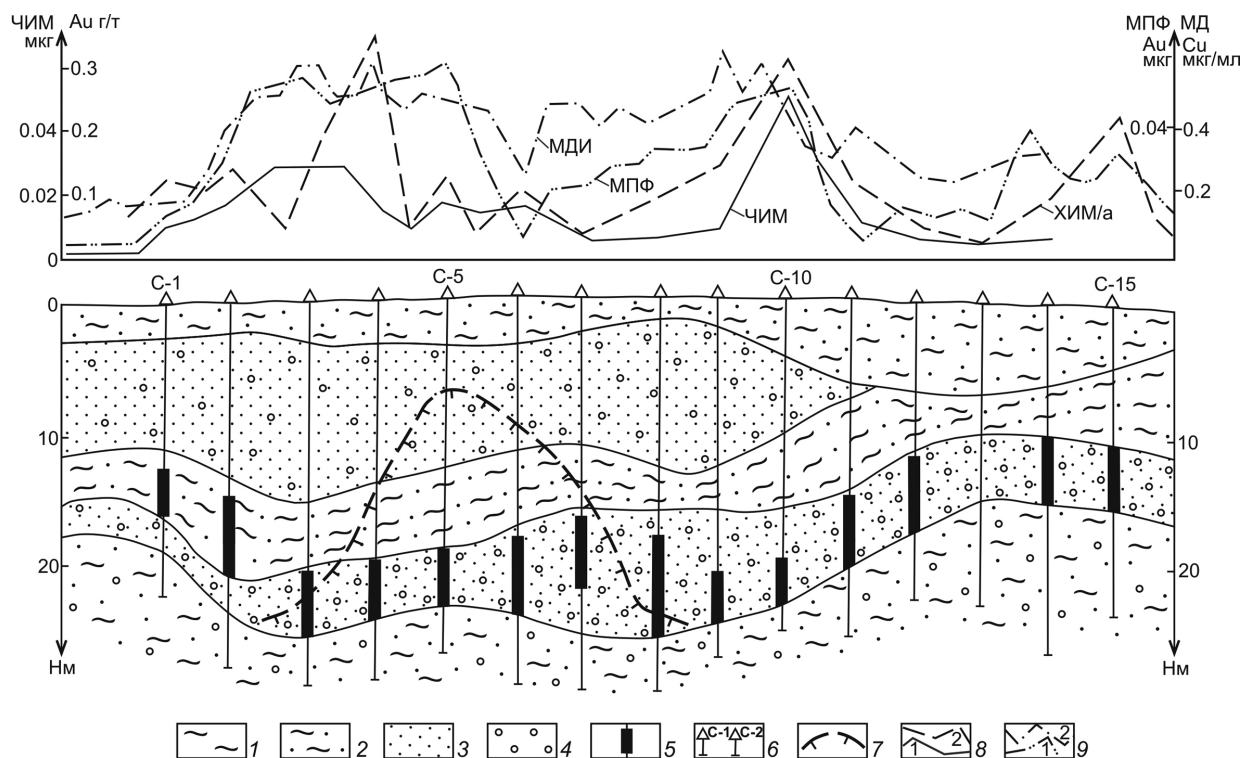


Рис. 2. Проявление погребенной «висячей» золоторудной россыпи по данным исследований электрохимическими (ЧИМ и МДИ) и геохимическим (МПФ) методами. Участок Пиканский. 1–4 – состав отложений Пиканской впадины: 1 – глины, 2 – суглинки, 3 – пески, 4 – галька; 5 – интервалы с высокими содержаниями золота по пройденным скважинам; 6 – пройденные поисковые скважины и их номера; 7 – граница многолетних мерзлых образований; 8 – графики средних содержаний золота по данным химического анализа (1) и метода ЧИМ (2); 9 – графики содержаний золота по данным метода МПФ (1) и меди по МДИ (2).

Fig. 2. Manifestation of buried “hanging” gold placer from the electrochemical (PME and MDE) and geochemical (MPF) research data. Pikansky site. 1–4 – composition of the Pikansky depression deposits: 1 – clays, 2 – loams, 3 – sands, 4 – pebbles; 5 – intervals with high gold contents by drilled holes; 6 – drilled exploration holes and their numbers; 7 – boundary of permafrost formations; 8 – graphs of average gold contents according to chemical analysis (1) and CHIM method (2); 9 – graphs of gold contents according to the SMF method (1) and copper according to MDE (2).

фильтровались. Для исключения погрешностей неполного выделения гуматов в пробах содержание микроэлементов относили к количеству углерода в определенном объеме ($Me/C_{орг} \cdot 100$). Микроэлементы определялись полярографическим методом и путем пирофосфатной вытяжки соосаждения с сульфидом кадмия со спектральным окончанием.

Термогеохимический метод ТГМ основан на сорбционных свойствах железных минералов. ТГМ заключается в отборе металлометрических проб в верхней гумусовой части разреза, затем производят обжиг при температуре 500 °С. Окислы железа являются хорошими сорбентами, поглощая химические элементы, в том числе и золото, платину, медь, серебро и др. После обжига окислы железа приобретают магнитные свойства, сохраняя сорбированные элементы. Производится вытяжка магнитом магнитной фракции вместе с сорбированными химическими элементами; таким образом, происходит обогащение отобранных проб. С помощью этого процесса метод ТГМ

становится более чувствительным по сравнению с металлометрическим геохимическим методом, который позволяет более надежно фиксировать повышенное содержание золота и сопутствующих ему элементов.

Выбор комплекса геофизических методов определяется в зависимости от мощности аллювиальных отложений, их вещественного состава, ширины и длины речных долин, наличия многолетней мерзлоты. Чаще всего используется метод ВЭЗ с симметричной установкой, который позволяет определить мощность аллювиальных отложений и их вещественный состав. При незначительных мощностях (2–3 м) аллювиальных отложений может применяться метод СЭП на двух-трех разносах. В случае развития значительной мощности рыхлых отложений (10–15 м) и наличия многолетней мерзлоты и для более точного определения положения палеорусел используется малоглубинная сейсмика (рис. 3). Методика этих работ стандартная, соответствует конструктивным требованиям.

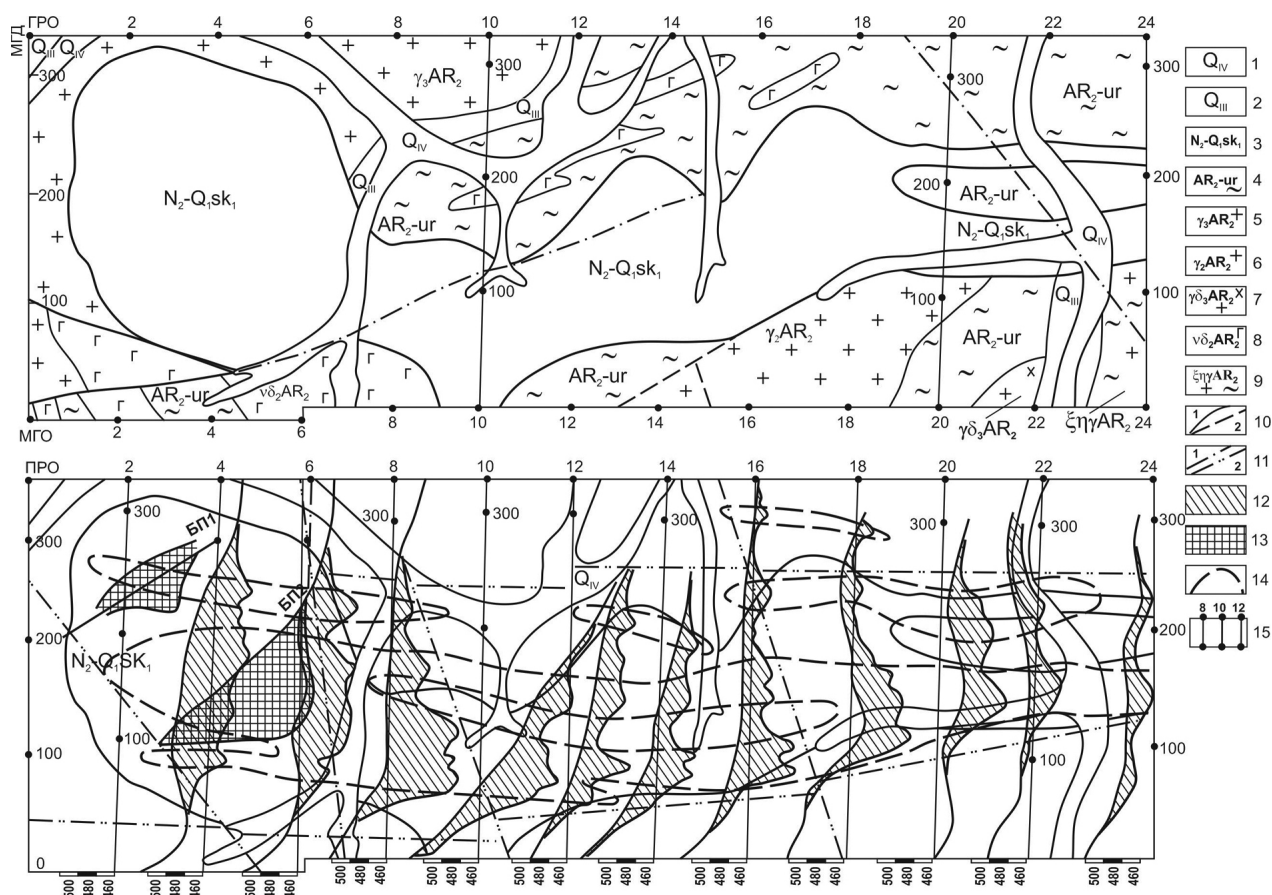


Рис. 3. Разрезы с выделением мощности рыхлых образований и морфологии плотика палеорула погребенной россыпи золота по данным мологлубинной сейсморазведки с выделением наиболее благоприятных интервалов для отложения золота. БП1 и БП2 опытные разведочные профили с высоким содержанием золота. Участок Золотая Поляна. 1 – современные отложения русел, пойм (Q_{IV}). Галечники, пески, валуны, глины, суглинки; 2 – отложение низких террас (Q_{III}). Пески, галечники, глины, суглинки, илы; 3 – плиоцен ($N_2 Q_1 sk_1$). Каолинизированные пески с редкой галькой; 4 – уримская свита (AR_{ur}). Бiotит-роговообманковые гнейсы с прослоями биотитовых, гранат-биотитовых, графит биотитовых гнейсов, кристаллических сланцев; 5 – лейкократовые биотитовые граниты ($\gamma_3 AR_2$); 6 – гнейсовидные биотитовые граниты, плагиграниты ($\gamma_2 AR_2$); 7 – слабо гнейсовидные биотитовые гранодиориты ($\gamma_3 AR_2$); 8 – габбро, габбро-нориты, габбро-диабазы ($v\delta_2 AR_2$); 9 – гнейсо-граниты, теневые мигматиты ($\xi\eta\gamma AR_2$); 10 – тектонические нарушения: 1 – достоверные, 2 – предполагаемые; 11 – тектонические нарушения достоверные под аллювиальными отложениями (1) и выделенные по геофизическим данным (2); 12 – структурные разрезы, построенные по сейсмическим данным с поверхностью современного рельефа от базиса 460 м и палеорельефом с вертикальным масштабом 1 см = 40 м; 13 – БП1 и БП2 опытные разрезы по буровым профилям с высоким содержанием золота; 14 – контур наиболее обогащенных интервалов приплотиковых россыпей золота (выделенных по геофизическим данным); 15 – геофизические профили, магистрали, пикеты.

Fig. 3. Sections with a distinguished thickness of loose formations and morphology of the paleochannel raft of the buried gold placer according to the data of shallow-depth seismic exploration with distinguishing the most favorable intervals for gold deposition. BP1 and BP2 experimental exploration profiles with a high gold content. Zolotaya Polyana site. 1 – modern deposits of channels, floodplains (Q_{IV}). Pebbles, sands, boulders, clays, loams; 2 – deposits of low terraces (Q_{III}). Sands, pebbles, clays, loams, silts; 3 – Pliocene ($N_2 Q_1 sk_1$). Kaolinized sands with rare pebbles; 4 – Urim suite (AR_{ur}). Biotite-hornblende gneisses with interlayers of biotite, garnet-biotite, graphite-biotite gneisses, crystalline schists; 5 – leucocratic biotite granites ($\gamma_3 AR_2$); 6 – gneissic biotite granites, plagiogranites ($\gamma_2 AR_2$); 7 – weakly gneissic biotite granodiorites ($\gamma_3 AR_2$); 8 – gabbros, gabbro-norites, gabbro-diabases ($v\delta_2 AR_2$); 9 – gneissic granites, shadow migmatites ($\xi\eta\gamma AR_2$); 10 – tectonic faults: 1 – reliable, 2 – suspected; 11 – tectonic faults reliable under alluvial deposits (1) and distinguished by geophysical data (2); 12 – structural sections constructed by seismic data with the surface of the modern relief from the 460 m base and the paleorelief with a vertical scale 1 cm = 40 m; 13 – BP1 and BP2 experimental sections along drilling profiles with a high gold content; 14 – contour of the most enriched intervals of raft gold placers (identified using geophysical data); 15 – geophysical profiles, lines, stakes.

Морфологию поверхности техногенной россыпи необходимо изучать с помощью квадрокоптеров (беспилотников), которые могут нести ге-

офизическую аппаратуру. На полученных снимках на низких высотах четко проявятся не только все локальные неровности, но и выявятся недо-

работки прочных плотиков, а также бортов. В отвалах вскрыши непромытых глинистых пластов часто встречаются богатые самородки. В хорошо промытых песках при среднем и крупном золоте галеефельные отвалы обычно содержат мало золота, 25–50 мг, и являются непромышленными. Кроме того, в техногенных россыпях часто имеются внутриконтурные целики, содержащие высокие концентрации золота, как и в исходных россыпях, а также целики, находящиеся под плотинами, стоянками промприборов и другими сооружениями. Крупность золотинок в техногенных россыпях приближенно соответствует исходной крупности золота. По горнотехническим условиям техногенные россыпи, как правило, относятся к сложным объектам. Оставшиеся богатые пески, заключенные в недоработках плотика, внутриконтурных и бортовых целиках, обычно перекрыты слабозолотоносными или незолотоносными отложениями – торфами, отвалами вскрыши, галеефельными отвалами. Обогащенные участки имеют небольшие размеры и обычно представлены наиболее сложными для отработки породами, мерзлыми, валунистыми, сильно обводненными и др.

Существующие техногенные россыпи в пределах Дальневосточного региона формировались естественным способом в течение 10–50 лет. Отвалы существующих отработанных россыпей золота формировались без учета возможности их разработки в будущем и без учёта совершенствования горно-обогатительной технологии и изменения конъюнктурных условий рынка. В связи с этим морфология долин в ряде интервалов значительно изменилась, в ряде случаев остались неотработанные долинные притоки к основному створу речных долин, ложковые россыпи; при оценке и отработке техногенных россыпей это необходимо учитывать. Вовлечение в разработку техногенных россыпей облегчается тем, что при этом не нужно производить вскрышные работы. Но морфология и структура первичных россыпей значительно изменилась, рыхлые гравийные и часть выветрелых коренных отложений в большей части находятся в верхней части разреза. Мощность и протяженность первичных золотоносных пластов разорвана, изменена и имеет сложное сочетание гравийно-песчаных масс.

По типоморфным особенностям (гранулометрии, морфологии, химическому составу) золото из современных поверхностных и древних глубокозалегающих россыпей различно. В последних оно обычно мелкое и очень мелкое. Средний размер зерен варьирует от 0.24 до 0.44 мм. Пробирным анализом установлено, что содержание золота в древних россыпях в несколько раз выше, чем это определялось шлиховым опробованием.

Исходя из приведенных данных по активности миграционных свойств элементов, образования электрических полей, барьерных явлений

и особенности геофизических, геохимических, электрохимических методов с учетом основных проблем оценки и разведки техногенных россыпей предлагается проводить работы поэтапно. На каждом этапе необходимо формировать наиболее эффективные комплексы методов, что позволит значительно сократить проходку заверочных траншей, шурфов и скважин. Это влечет к сокращению сроков проведения оценочных работ и повышает их эффективность, снижает экологическую нагрузку.

В новой технологической цепочке при оценке разведки техногенных россыпей золота предлагается следующая этапность и комплексирование методов.

В первый этап (камеральный период) необходимо первоначально определить время и способы отработанной россыпи, гранулометрический состав золотин и рыхлых отложений, мощность и тальвег (палеотальвег) речных долин. Кроме того в настоящее время имеется возможность использовать данные гиперспектральной спутниковой съемки, когда делаются снимки одной и той же территории в разном диапазоне длин волн. Разные минералы в разных диапазонах поразному отражают и поглощают солнечный свет, это свойство и дает возможность их различать. Точность определения минералов при таком подходе зарубежными учеными оценивается в 86 %. В Иране с помощью спутников нашли несколько урановых месторождений, американцы сделали полную гиперспектральную съемку Афганистана с самолета с целью поисков полезных ископаемых.

Во второй этап производятся с помощью БПЛА опережающие геофизические исследования на разных высотах, что позволяет получать более детальное объемное представление о мощности рыхлых образований и трещиноватости плотика и вмещающих пород. При наземных работах в комплекс геофизических исследований предлагается включить электроразведку ВЭЗ по сети $200 \times 100 - 500 \times 200$ м при мощности аллювиальных отложений 5–15 м и 2–5 м методом СЭП на двух, трех разносах (сеть 100×25 м) в зависимости от длины и ширины техногенной россыпи золота. Для определения более точного положения плотика при значительных глубинах (10–25 м) рекомендуется постановка малоглубинной сейсморазведки. Это позволит определить мощность рыхлого образования и морфологию плотика, т. к. она может значительно измениться после отработки первичной россыпи, а также позволит выделить преимущественное развитие глинистых, песчаных и галечниковых масс.

Постановка геохимических методов МПФ или ТГМ по площади техногенной россыпи при образовании почвенного слоя позволит определить содержание золота в отдельных интервалах и протрассировать отдельные струи золота по

всей площади. Для более достоверной картины по распределению золота не только вблизи поверхности (1–3 м), но на глубине 5–15 м предлагается постановка методов ЧИМ или МДИ, возможно и совмещение для уверенного выделения содержания золота и сопутствующих ему элементов. При хорошей корреляционной зависимости золота, меди, свинца, цинка и других элементов возможно более надежное выявление золото-рудных струй в техногенной россыпи.

С точки зрения геохимии это можно объяснить так – очень упрощенно: сульфиды, как источник золота, со временем окисляются до оксидов железа и высвобождают золотины. Самые логичные места для поиска россыпей в таком случае – места геохимических аномалий минералов трёхвалентного железа в рыхлых образованиях и водотоках.

Технологический результат достигается тем, что предлагаемые геофизические и геохимические методы позволяют определить глубину до плотика коренных пород, расчленив вертикальный разрез с выделением глин и галечников, в пределах последних может отлагаться золото и сопутствующие элементы. Глины могут служить экраном, с образованием «висячего» плотика, на котором накапливаются золото и другие элементы. Геохимические и электрохимические методы позволяют определить места интервалов с повышенными содержаниями и струй золота, и сопутствующих элементов. Комплекс геофизических, геохимических, электрохимических методов из перечисленных выше определяется в зависимости от разреза, от мощности аллювиальных отложений, гранулометрического состава. Комплекс методов обладает быстрым по времени их исполнением и экономичнее по затратам и стоимости по сравнению с постановкой горных работ по сети – шурфов, траншей, буровых профилей.

Результаты работ позволяют построить план опробования техногенных россыпей золота с определением положения плотика по отдельным профилям и содержаниям золота и сопутствующих элементов.

Комплекс методов позволяет существенно сократить постановку дорогостоящих горных работ, определить сеть заверочных работ по отдельным профилям, интервалам. По сопоставлению результатов химических анализов бороздовых, керновых проб при заверке аномальных концентраций возможно установить корреляционную зависимость между геохимическими, электрохимическими содержаниями и однозначно определять промышленную значимость изучаемой техногенной россыпи золота. Оперативность исследований значительно повысится с привлечением геофизических исследований и фотосъемок с помощью беспилотников.

В третий этап предлагается заверка выявленных аномальных содержаний золота по от-

дельным профилям шурфами, траншеями и скважинами в зависимости от мощности аллювиальных отложений и их гранулометрического состава и морфологии (наличие карманов) плотика.

Эта методология работ позволит значительно сократить по времени и по затратам оценочные и разведочные работы с помощью шурфов, траншей и скважин на техногенных россыпях золота.

Для более эффективного процесса оценки техногенных россыпей необходимо создать отдельную структуру скорее всего на государственной основе при геологических комитетах или в существующих геолого-геофизических предприятиях (как, например, «Дальгеофизика», «Регис» на Дальнем Востоке), которая бы решала следующие задачи:

1. Камеральная группа производит ревизию техногенных россыпей по рудно-россыпным районам края, области с учетом субстрата вмещающих пород и их потенциального россыпеобразующего потенциала. По отчетам детальной разведки оценивается достоверность проведенных работ и рассчитывается величина допущенных погрешностей. В обязательном порядке рассматриваются данные о способе и технических средствах отработки, объемах добычи металла. При предварительном подсчете запасов техногенной россыпи учитываются достоверность разведки и величина потерь золота при добыче.

2. В результате ревизии определяются наиболее перспективные техногенные россыпи с их прогнозной оценкой по категории P_2 при наличии дополнительных материалов и по C_2 , которые рекомендуются недропользователям местными геологическими комитетами за определенную стоимость в зависимости от запасов, ресурсов. Получив лицензию (разрешение) на производство разведочных работ, недропользователь может проводить их самостоятельно или воспользоваться созданным при геологическом комитете области, крае специализированной партией или группой партий с составлением проектной документации с утверждением её в филиалах МПР.

3. Полевые опережающие работы проводят специализированные группы (малые предприятия, партии) в составе геофизиков, геохимиков и геологов, которые производят опережающие работы на наиболее перспективных техногенных россыпях, рекомендуемых по результатам ревизионных работ.

- 3.1. По результатам анализов в аномальных участках проводятся опережающие геофизические исследования. В зависимости от глубины предполагаемого плотика проводятся на двух, трех разносах СЭП или ВЭЗ. В случаях больших глубин – малоглубинная сейсмика с вибрационным источником возбуждения волн.

4. Работы начинаются с геологических маршрутов с отбором геохимических проб ТГМ, МПФ. Затем по более редкой сети проводятся электро-

химические методы МДИ и еще более редкой сети ЧИМ.

5. После обработки всех материалов производятся заверочные работы с помощью скважин, шурфов по отдельным профилям. Плотность заверочной сети зависит от ширины, мощности аллювиальных отложений, морфологии плотика и гранулометрического размера золотин, состава рыхлых образований.

ВЫВОДЫ

Таким образом, техногенные месторождения представляют собой новый, широко распространенный в настоящее время, доступный источник минерального сырья, образованный в результате масштабной горнодобывающей деятельности прошлых лет. Подобные месторождения требуют их детального изучения с привлечением современных аналитических методов, разработки научно обоснованных технологий их освоения, создания механизмов экологического сопровождения и эксплуатации, рекультивации и экологической реабилитации сопредельных территорий.

Техногенные месторождения стали реальностью во всех горнодобывающих регионах.

Золоторудные, платиновые, титановые, касситеритовые минералы концентрируются в техногенных месторождениях по-разному, но закономерности, описывающие их концентрации, едины. Таким образом, задействование этих факторов может существенно изменить темпы истощения минеральных ресурсов.

В этой связи главная задача горной науки состоит в разработке методов прогнозирования состояния минерально-сырьевых ресурсов и развития новых технологий добычи и обогащения сырья. Анализ существующих тенденций развития минерально-сырьевой базы позволил сделать выводы о том, что запасы минерального сырья могут быть значительно увеличены с вовлечением в отработку техногенных россыпей золота, платины и др.

Рациональное использование минеральных ресурсов техногенных россыпей следует рассматривать в следующих основных аспектах: ресурсном, экономическом, технологическом, экологическом и национальной безопасности. Проблема освоения техногенных россыпей актуальна как для стран с богатыми недрами, так и для бедных.

ЛИТЕРАТУРА

Бадалов С. Т. Использование изменчивости геологических свойств элементов для интерпретации аномалий // Теоретические основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Москва: Наука, 1986. С. 10–16.

Поступила в редакцию 30.04.2025.

Поступила после доработки 27.05.2025.

Барсуков В. Л., Баранова Н. Н., Козеренко С. В. Некоторые геохимические аспекты поведения золота в гидротермальном процессе и их прикладное значение // Теоретические основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Москва: Наука, 1986. С. 4–10.

Буряк В. А. Основы минерализации золота. Владивосток: Дальнаука, 2003. 260 с.

Геннадиев Б. И., Мельников В. П., Геннадиев Г. В. Теория вызванной электрохимической активности горных пород. Якутск: Кн. изд-во, 1976. 160 с.

Глотов В. Е., Глотова Л. П. Проблема восстановления ресурсов россыпного золота в долинах малых горных рек бассейна реки Колыма // Экология и развитие общества. 2018. № 2. С. 25–30.

Глотов В. Е., Глотова Л. П. Синкриогенные полезные ископаемые на Северо-Востоке России // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 2. С. 25–31.

Гольдберг И. С. Электрические процессы при формировании геохимических барьеров // Исследование и применение физико-химических и геоэлектрических процессов при поисках и разведке полезных ископаемых. [Б. м.]: НПО «Рудгеофизика», 1988. С. 27–35.

Копылов М. И. Роль электрохимических барьеров в локализации оруденения и их значение для поисков месторождений полезных ископаемых (на примере месторождений Приамурья) // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 2. С. 69–80.

Копылов М. И., Шевелева Е. А. Новые технологии поисков глубоко залегающих и погребных россыпей золота // Технологии, разработки в горном деле. Хабаровск: Институт горного дела (ИГД), 2002. С. 32–38.

Копач П. И., Якубенко Л. В., Романенко В. Н., Шматков Г. Г., Чихрадзе Н. М., Хомерики С. К., Михельсон Р. В., Матарадзе Е. Д. Перспективы вовлечения в эксплуатацию техногенных месторождений (на примере Украины и Грузии) // Экологія і природокористування. 2013. Вип. 16. С. 210–217.

Левшина С. И. Органическое вещество поверхностных вод бассейна среднего и нижнего Амура. Владивосток: Дальнаука, 2010. 144 с.

Летников Ф. А., Вилор Н. В. Золото в гидротермальном процессе. Москва: Недра, 1981. 224 с.

Рысс Ю. С., Воронин Д. В., Гольдберг И. С. Вторичное минералообразование под действием естественного электрического поля на сульфидных месторождениях // Вестник Ленинградского государственного университета. 1965. № 18. Серия геологии и геофизики. Вып. 3. С. 34–39.

Свеишников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Ленинград: ЛГУ, 1967. 160 с.

Сафронов Н. И. К вопросу о закономерности соотношений «запасы–содержания» в рудах // Геохимические методы поисков рудных месторождений. Ч. 1. Новосибирск: Наука, 1981. С. 21–30.

Сидоркин А. И., Сидоркина Н. А. Техногенные месторождения в Российской Федерации: проблемы законодательного регулирования и судебной практики // Аграрное и земельное право. 2016. № 4. С. 29–35.

Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов. Москва: Недра, 1968. 331 с.

Щербина В. В. Основы геохимии. Москва: Недра, 1972. 296 с.

TECHNOGENIC GOLD PLACERS AND THE PROBLEM OF THEIR DEVELOPMENT EXEMPLIFIED BY THE FAR EAST REGION

M. I. Kopylov¹, D. G. Fedoseyev²

¹ Yu. A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, FEB RAS, Khabarovsk

² Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok

The article provides a description of technogenic gold placers within the Far East region. The ability of ore elements to migrate and the process of formation of electrochemical fields as well as, various barrier phenomena with gold deposition on them are presented. A new method for the rapid assessment of the prospects of technogenic placers using electrochemical, geochemical, and geophysical methods is proposed, which significantly reduces the time and cost of work.

Keywords: technogenic gold placers, migration of elements, electrochemical fields, methods, Far East.

REFERENCES

- Badalov, S. T., 1986. Using Variability of Geological Properties of Elements to Interpret Anomalies, *Theoretical Foundations of Geochemical Methods for Prospecting Ore Deposits*. Moscow, Nauka, 10–16 [In Russian].
- Barsukov, V. L., Baranova, N. N., Kozerenko, S. V., 1986. Some Geochemical Aspects of Gold Behavior in Hydrothermal Processes and Their Applied Significance, *Theoretical Foundations of Geochemical Methods for Prospecting Ore Deposits*. Moscow, Nauka, 4–10 [In Russian].
- Buryak, V. A., 2003. Basics of Gold Minerageny. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Gennadinik, B. I., Melnikov, V. P., Gennadinik, G. V., 1976. Theory of Induced Electrochemical Rock Activity. Yakutsk [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2018. The Problem of Restoring Placer Gold Resources in Small Mountain River Valleys of the Kolyma River Basin, *Ecology and Development of Society*. 2, 25–30 [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2016. Syncryogenic Minerals in the Northeast of Russia, *Cryosphere of the Earth*. XX (2), 25–31 [In Russian].
- Goldberg, I. S., 1988. Electrical Processes in the Formation of Geochemical Barriers, *Research and Application of Physical-Chemical and Geoelectric Processes in the Search for and Exploration of Minerals*. [S. I.], Rudgeophysics, 27–35 [In Russian].
- Kopach, P. I., Yakubenko, L. V., Romanenko, V. N., Shmatkov, G. G., Chikhradze, N. M., Khomeriki, S. K., Mikhelson, R. V., Mataradze E. D., 2013. Prospects for the Involvement of Man-Made Deposits Involvement in Operation (Exemplified by Ukraine and Georgia), *Ecology & Environmental Management*. 16, 210–217 [In Russian].
- Kopylov, M. I., 2010. The Role of Electrochemical Barriers in Localizing Mineralization and Their Implications for Mineral Deposit Prospecting (Exemplified by Priamurye Deposits), *Russian Journal of Pacific Geology*. 29 (2), 69–80 [In Russian].
- Kopylov, M. I., Sheveleva, E. A., 2002. New Technologies for Searching for Deep and Buried Gold Placers, *Technologies, Developments in Mining*. Khabarovsk, Institute of Mining (IGD), 32–38 [In Russian].
- Letnikov, F. A., Vilor, N. V., 1981. Gold in the Hydrothermal Process. Moscow, Nedra [In Russian].
- Levshina, S. I., 2010. Organic Matter of Surface Waters in the Middle and Lower Amur Basin. Vladivostok, Dalnauka [In Russian].
- Perelman, A. I., 1968. Geochemistry of Epigenetic Processes. Moscow, Nedra [In Russian].
- Ryss, Yu. S., Voronin, D. V., Goldberg, I. S., 1965. Secondary Mineral Formation under the Influence of the Natural Electric Field at Sulfide Deposits, *Bulletin of Leningrad State University*. 3 (Series of Geology and Geophysics), 18, 34–39 [In Russian].
- Safronov, N. I., 1981. On the Issue of the Regularity of the “Reserve–Content” Relationships in Ores, *Geochemical Methods of Prospecting for Ore Deposits*. Novosibirsk, Nauka, Part 1, 21–30 [In Russian].
- Shcherbina, V. V., 1972. Fundamentals of Geochemistry. Moscow, Nedra [In Russian].
- Sidorkin, A. I., Sidorkina, N. A., 2016. Technogenic Deposits in the Russian Federation: Problems of Legislative Regulation and Court Practice, *Agrarian and Land Law*. 4, 29–35 [In Russian].
- Sveshnikov, G. B., 1967. Electrochemical Processes at Sulfide Deposits. Leningrad, Leningrad State University [In Russian].