

Поисково-ориентированная геолого-генетическая модель оловянной россыпи «тектонических уступов» Арктической зоны Российской Федерации

А. В. Лаломов¹, доктор геолого-минералогических наук,

Р. М. Чефранов², кандидат геолого-минералогических наук,

А. В. Чефранова³, кандидат геолого-минералогических наук,

А. А. Бочнева⁴, кандидат геолого-минералогических наук

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

Олово относится к стратегической группе металлов, поэтому Россия нуждается в возобновлении собственного производства олова. Наиболее рентабельной является отработка россыпных месторождений. Запасы россыпного олова России практически полностью сосредоточены в восточном секторе Арктики, из них более половины связано с россыпями зон тектонических уступов. Создание поисково-ориентированной модели россыпей этого типа будет способствовать воссозданию оловодобывающей промышленности России.

Ключевые слова: Арктическая зона, россыпи, олово, поиски, модель.

Введение

По общему количеству разведанных запасов олова Россия занимает первое место в мире — 2263,6 тыс. т по категориям А + В + С₁ + С₂ и наряду с Бразилией (2000 тыс. т) и Китаем (1800 тыс. т) входит тройку мировых лидеров [10]. Запасы олова в россыпях по категориям А + В + С₁ составляют 210 393 т (12,4% общероссийских запасов) [2].

Сырьевая база россыпного олова России характеризуется высокой степенью концентрации, 99,3% запасов и 97,9% прогнозных ресурсов сосредоточено в восточном секторе Арктической зоны. При этом 71,5% разведанных запасов россыпного олова высоких категорий сконцентрировано в крупных месторождениях Тирехтях, Чокурдах и Валькумей, относящихся к типу оловянных россыпей тектонических уступов (ОРТУ), и россыпи типа «унаследованных долин» Одинокая.

В мире доля россыпных месторождений в общем объеме добычи составляет 53,4% (в Азии — 80,5%), в России (на конец 1990-х годов) из россыпей добывалось 25% [2; 16]. После резкого падения цен на олово и перехода к рыночному экономическим

отношениям в начале 1990-х годов добыча олова в России практически прекратилась.

Олово относится к стратегическим металлам, поэтому, невзирая на конъюнктуру рынка, Россия должна иметь необходимые мощности для обеспечения своих потребностей по олову в любой политико-экономической ситуации. Средняя цена на олово на мировом рынке металлов за последние четыре года держится на уровне 20 тыс. долл. за тонну при колебаниях в 10—20%, причем с начала этого года цена олова на Лондонской бирже металлов выросла на 30% [18], что указывает на возможность организации экономически рентабельного производства.

Преобладание россыпей олова над коренными объектами в балансе добычи по сравнению с балансом запасов указывает на повышенный интерес производителей к россыпным объектам, что объясняется более высокой рентабельностью отработки россыпных месторождений и быстрой окупаемостью капитальных вложений. Хотя основные запасы и перспективы возобновления добычи олова в России связывают с коренными объектами (Депутатское коренное месторождение, Пыркакайский штокверк и др. [4]), в силу повышенной рентабельности россыпей рационально включать их в общую схему отработки запасов на начальных этапах освоения новых (или реанимации старых) горнопромышленных районов.

¹ e-mail: lalomov@mail.ru.

² e-mail: roman_chefr@bk.ru.

³ e-mail: achefra@mail.ru.

⁴ e-mail: bochneva@mail.ru.

Для создания эффективного комплекса поисково-разведочных и эксплуатационных работ по обеспечению оловодобывающей промышленности России необходимо сформулировать поисково-ориентированную геолого-генетическую модель наиболее перспективного типа россыпей, в качестве которых могут выступать ОРТУ.

Обзор россыпной оловоносности Арктической зоны России

Россыпная оловоносность Арктической зоны известна уже более 70 лет. Мелкозалегающие преимущественно аллювиальные россыпи, составлявшие основу оловодобывающей промышленности страны на начальных этапах освоения арктического региона, в настоящее время уже практически выработаны. Перспективными являются глубокозалегающие объекты, приуроченные в структурно-тектоническом плане к (1) унаследованным долинам, (2) захороненным денудационным равнинам и (3) тектоническим уступам, расположенным в пределах приморских равнин и на шельфе арктических морей. Россыпи унаследованных долин представлены месторождениями Птичий-Омелькай (Чукотка), Одинокая и Депутатская группа россыпей (Якутия). Одна из первых открытых на Чукотке россыпей — Пыркакайская, давшая около 30 тыс. т касситерита, практически выработанная к настоящему времени, также относится к россыпям унаследованных долин. К россыпям денудационных равнин относятся месторождения Боруога и Тохтубут Ляховского района. Среди ОРТУ выделяются континентальный тип (а) тектонических уступов межгорных впадин — месторождения Тирехтях, Тенкели, Кислый Мамонт Депутатского оловоносного рудно-россыпного района (ДОР) и (б) эрозионно-тектонических палеодепрессий (погребенных грабендолин) — россыпи Малая Кутта, Левая Кутта и Тарская Ляховского оловоносного района (ЛОР). К

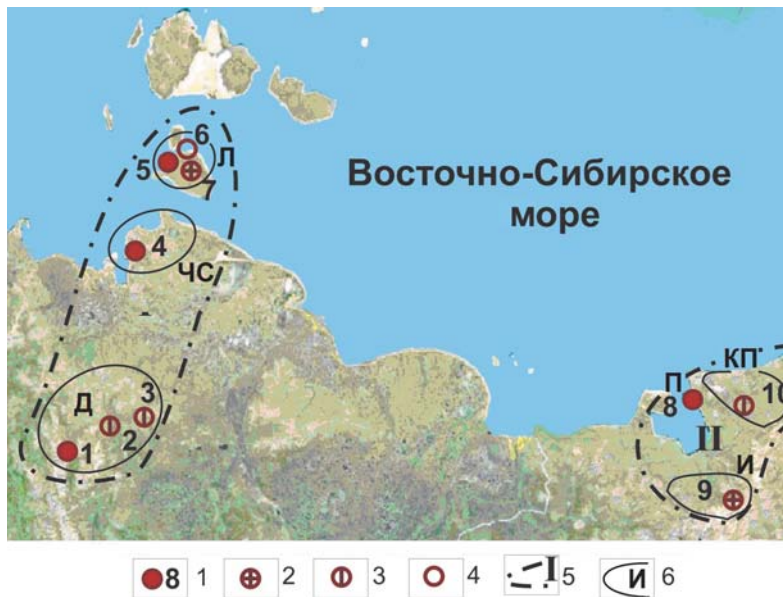


Рис. 1. Схема россыпной оловоносности Арктической зоны северо-востока России: 1–4 – россыпи олова: 1 – тектонических уступов, 2 – эрозионно-тектонических палеодепрессий, 3 – унаследованных долин, 4 – денудационных равнин; 5 – границы и нумерация рудно-россыпных оловоносных провинций; 6 – границы и обозначения оловоносных районов и узлов; I – Северо-Якутская оловоносная провинция (Д – Депутатский, ЧС – Чокурдахско-Святоносский, Л – Ляховский районы), II – Центрально-Чукотская провинция (П – Певекский узел, И – Ичаткинская зона, КП – Куйвиевем-Пыркакайский район); россыпи: 1 – Тирехтях, 2 – Депутатская группа россыпей, 3 – Одинокая, 4 – Чокурдахская, 5 – Западная, 6 – Боруога, 7 – Куттинский россыпной узел, 8 – Валькумейская, 9 – Птичий, 10 – Пыркакай

прибрежно-морскому подтипу ОРТУ относятся россыпи Западная Ляховского оловоносного района, Чокурдахская Чокурдах-Святоносского оловоносного района (ЧСОР) и Валькумейская Певекского узла Чаунской губы Восточно-Сибирского моря (рис. 1). Промышленные месторождения и крупные проявления олова встречаются среди всех типов, но наиболее широко распространенным перспективным типом считаются гетерогенные ОРТУ, содержащие около 70% балансовых запасов и значительную долю прогнозных ресурсов России [14] (табл. 1).

Классификационные признаки ОРТУ

В геологической части модели подчеркиваются классификационные признаки ОРТУ, отличающие их от других типов россыпеобразующих оловоносных систем. На первый план геолого-генетической модели выдвинуты наиболее важные индикаторные факторы формирования ОРТУ. Классификационные признаки ОРТУ приведены в табл. 2. Поисковая модель основана главным образом на результатах изучения ОРТУ Депутатского рудно-россыпного района Якутии (Тирехтях) и Певекского рудно-россыпного узла Чаунской губы (Валькумей).

Тектонический контроль россыпной металлоносности

Главный классификационный признак, позволяющий относить месторождение к ОРТУ, — это специфическая структурная позиция в зоне активного тектонического уступа, режим развития которого определяет условия локализации, детали строения и продуктивность металлоносных отложений. Как правило, активный разлом унаследует рудоконтролирующие структуры, что создает благоприятные условия для совмещения россыпеконтролирующей структуры-ловушки с ареалом рудной минерализации.

Таблица 1. Параметры основных типов россыпей олова Арктической зоны России

Россыпь	Структурно-геоморфологический контроль	Генезис	Среднее содержание касситерита, г/м ³	Запасы и ресурсы, тыс. т		
				A + B + C ₁	C ₂	P ₁
Одинокая (ДОР, Якутия)	Унаследованная долина	Аллювиально-склоновый	828	50,9	1,0	—
Птичий (Ичаткинская зона, Чукотка)	Унаследованная долина	Аллювиальный, пролювиальный	600	6,3	—	—
Правая Кутта (ЛОР, Якутия)	Денудационная равнина	Элювиальный, ложковый	1650	—	1,7	—
Тохтубут (ЛОР, Якутия)	Денудационная равнина	Элювиальный, ложковый	1670	—	11,2	—
Боруога (ЛОР, Якутия)	Денудационная равнина	Элювиальный, ложковый, аллювиальный	1880	—	—	39,0
Малая Кутта (ЛОР, Якутия)	Эрозионно-тектоническая палеодепрессия	Аллювиальный	800	—	44,9	—
Левая Кутта (ЛОР, Якутия)	Эрозионно-тектоническая палеодепрессия	Аллювиальный	1150	—	5,9	—
Западная (ЛОР, Якутия)	Тектонический уступ	Прибрежно-морской	1130	—	44,0	—
Тирехтях (ДОР, Якутия)	Тектонический уступ	Аллювиальный, склоновый	814	68,9	5,3	—
Чокурдах (ЧСОР, Якутия)	Тектонический уступ	Гетерогенный (прибрежно-морской, склоновый, элювиальный)	740	18,8	—	—
Валькумей (Певекский узел, Чукотка)	Тектонический уступ	Гетерогенный (прибрежно-морской, аллювиальный, склоновый, техногенный)	680	12,5	9,5	35
<i>Всего</i>				157,4	123,5	74

Для формирования ОРТУ наиболее благоприятны выступы основания в пределах шельфовых прогибов, областей периконтинентального опускания и внутригорных впадин областей континентального рифтогенеза и тектоно-магматической активизации. Положение в зоне тектонического уступа контролирует длительное вскрытие коренного источника в относительно приподнятом блоке и устойчивую аккумуляцию металлоносного материала в опущенном блоке, что в сумме обеспечивает возможность появления крупных и уникальных месторождений россыпного олова.

Месторождение Тирехтях (Депутатский рудно-россыпной район) контролируется сочленением морфоструктур 1-го порядка: Верхне-Селенняхской межгорной неотектонической впадиной и складчато-глыбовым поднятием Салтага-Тас. Граница между ними проходит по тектоническому нарушению север-северо-восточного простираения, отчетливо выраженному в гравитационном поле. Зона субширотного рудо- и россыпеконтролирующего уступа достаточно хорошо выражена и в линейных магнитных аномалиях (рис. 2).

Таблица. 2. Классификационные признаки оловянных россыпей тектонических уступов

№ п/п	Классификационные признаки
1	Тектоническая обстановка: положение в зоне активного тектонического уступа с разнонаправленными движениями в пределах стыкующихся блоков в зонах шельфовых прогибов и областей периконтинентального опускания, внутригорных впадин областей континентального рифтогенеза и тектономагматической активизации
2	Связь с интрузиями гранитоидов и породами дайковых комплексов, расположенными в пределах приподнятых блоков
3	Коренными источниками ОРТУ являются зоны жильного оруденения, представленные серией минерализованных зон и штокверков, и участки рассеянной минерализации касситерит-кварцевой и касситерит-силикатной рудных формаций
4	Предварительная дезинтеграция рудного материала в площадных и линейных корях выветривания и зонах развития гидрослюдистого элювия
5	Непосредственная абразия коренных источников, металлоносных элювиально-склоновых образований или наличие коротких водотоков 2—3-го порядка, связывающих коренные источники с зонами аккумуляции и россыпеобразования
6	Разновозрастный и гетерогенный характер россыпей, сложная многоярусная структура с повышенной мощностью пласта
7	Тяжелая фракция осадков представлена комплексом минералов, характерных для коренного источника, — турмалином, биотитом, хлоритом, сульфидами, касситеритом
8	Литодинамический контроль зон наибольшего обогащения россыпеобразующего материала и локализации металлоносных шлейфов: зоны абразии и дефицита наносов для склоновых, аллювиальных и пляжевых россыпей, зоны транзита и аккумуляции — для комплексов уступов и мелководно-морских россыпей

Валькумейская прибрежно-морская россыпь олова расположена на границе блокового поднятия Валькумейского гранитоидного массива и зоны устойчивых отрицательных неотектонических движений Чаунской депрессии. Опускание впадины происходило по системе круто падающих разрывных нарушений, контролирующих границу депрессии. Временем заложения впадины и началом дифференцированных тектонических движений считается миоцен [5; 7].

Магматический контроль и источники россыпей

Практически все россыпи касситерита в той или иной мере связаны с проявлениями различных форм магматизма. В приподнятом блоке, как правило, располагаются интрузии (вскрытые или нескрытые) гранитов и гранодиоритов, а также дайки различного состава (от кислого до основного). С магматическим комплексом пространственно и генетически связаны зоны жильной, прожилково-жильной, штокверковой и рассеянной рудной минерализации.

Коренным источником россыпи Тирехтях послужило среднее по масштабам месторождение Дружба хлорит-турмалинового типа касситерит-силикатной формации, рудные тела которого вскрываются на южном фланге россыпи и в ее плотике. Оно локализовано в пределах куполовидного поднятия и связано с субширотным тектоническим

нарушением, которое одновременно является и россыпеконтролирующим. Интрузивные образования в пределах рудного поля представлены дайками основного и реже среднего состава. Наличие крупного нескрытого интрузива предполагается по контрастным магнитным аномалиям, образующим зону кольцевой формы.

В пределах Певекского рудно-россыпного узла развиты зональные интрузии гранодиорит-гранитного ряда, а также комплекс самостоятельных малых интрузий, представленных преимущественно дайковыми телами диоритовых порфиритов, гранодиорит-порфиров и лампрофиров. Пояса даек трассируют зоны глубинных разломов. Установлена их тесная пространственная связь с оловянной минерализацией. Месторождение относится к турмалиновому типу касситерит-силикатной формации. Основная промышленная минерализация поля локализована в пределах кварц-сульфидных жил, линейных прожилково-жильных зон и минерализованных штокверков, расположенных преимущественно в эндоконтактных зонах массивов. Из жильных минералов наиболее широко распространен кварц, значительно реже встречаются турмалин, хлорит, светлая слюда. Из рудных минералов преобладает арсенопирит, пирит, антимонит. Содержание олова в штучных пробах составляет от сотых долей процента до 0,5%, реже 1—3% [3].

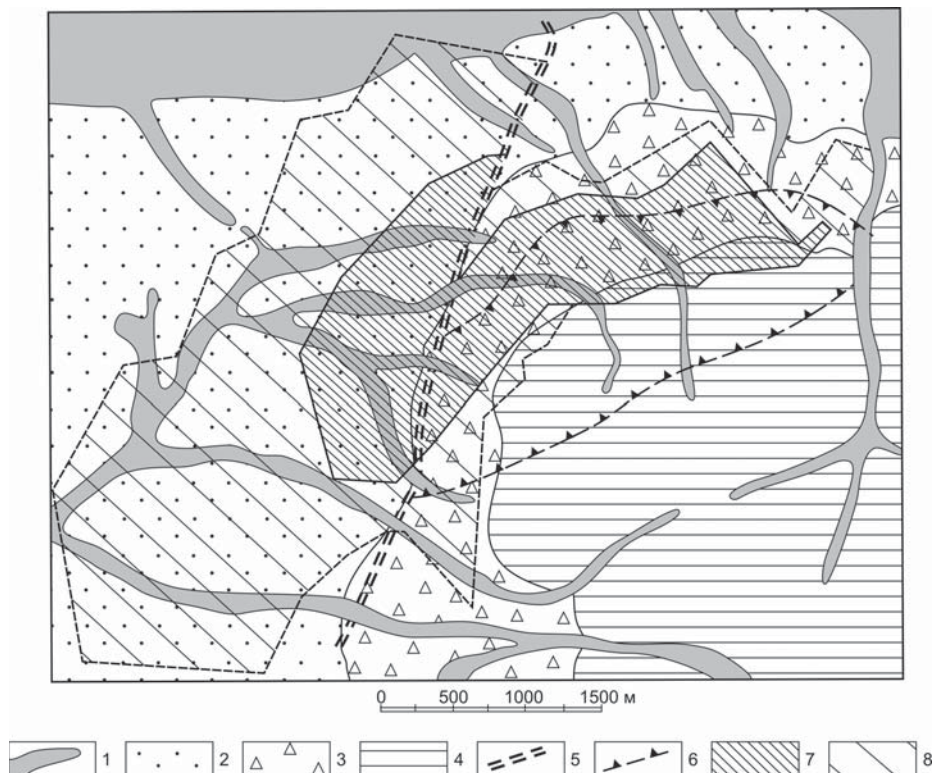


Рис. 2. Схема строения Тирхтяхского месторождения россыпного олова с использованием данных [17]: 1 – современные аллювиальные отложения, 2 – отложения плейстоценовой аккумулятивной равнины, 3 – склоново-пролювиальные шлейфы (верхний плейстоцен – голоцен), 4 – терригенно-осадочные породы верхнего триаса, 5 – тектонические нарушения, выраженные в рельефе коренных пород, 6 – граница рудного поля месторождения Дружба, 7 – контур россыпи (6 – с балансовыми запасами, 7 – с забалансовыми запасами)

Геологические процессы в системе «коренной источник — россыпь»

Важный фактор, влияющий на образование россыпных концентраций, — предварительная дезинтеграция рудного материала и высвобождение зерен касситерита из вмещающих пород. Так, для россыпи Одинокая, образованной за счет штокверка касситерит-кварцевого состава, вследствие крепости вмещающих пород, представленных кварц-топазовыми грейзенами, около 50% касситерита россыпи находится в сростках, в результате чего эта россыпь долгое время относилась к забалансовым и только с включением в схему отработки предварительного дробления материала получила промышленное значение. Поэтому многие олигоцен-миоценовые россыпи связаны с наличием раннекайнозойских площадных и линейных кор выветривания каолинит-гидрослюдистого состава, сформировавшихся по породам подстилающего мезозойского комплекса в период, когда на территории северо-востока Евразии в условиях субтропического климата формировалась кора химического выветривания. В позднекайнозойское время в условиях субарктического литогенеза преобладало физическое выветривание с формированием гидрослюдистого элювия, что несколько уменьшило россыпеобразующий потенциал позднекайнозойских отложений.

В составе Тирхтяхской россыпи в пределах опущенных блоков выделяются элювиально-склоновые отложения и оловоносная кора выветривания. В пределах приподнятых блоков с началом тектонической активизации они были эродированы и послужили основой для формирования аллювиальной россыпи.

Площадных кор выветривания в пределах Валькумейского месторождения в пределах тектонически приподнятых блоков не выявлено. Скорее всего они были эродированы после начала дифференцированных неотектонических движений.

Для Валькумейской россыпи в пределах части гранитного массива, подстилающего россыпные отложения, буровыми работами выявлены линейные коры химического выветривания, содержание олова в которых достигает 280 кг/м³. Мощность оловоносных отложений по вертикали достигает 18 м при среднем содержании 66 кг/м³ (при минимально-промышленном для Валькумейской россыпи 300 г/м³), протяженность — до 400 м, ширина — до 20 м. Очевидно, что линейные коры развиты по тектонически ослабленным зонам, с которыми на предшествующем этапе была связана рудная касситеритовая минерализация. В своей эродированной части линейные коры послужили источником россыпеобразующего материала. В пределах сохранившейся части их можно расценивать как элювиальные

россыпи. По объему они сопоставимы с балансовыми запасами Валькумейской россыпи, но в подсчет запасов не вошли.

Касситерит в процессе переноса испытывает интенсивное дробление, поэтому шлейфы оловоносных россыпей редко превышают 6—8 км. Большая длина шлейфов указывает на существование дополнительной подпитки и/или перенос касситерита в составе обломков пород. Поэтому наиболее перспективны обстановки с близким (в пределах сотен метров и первых километров) расположением коренных источников и россыпемещающих областей. В случае аллювиального переноса источником прибрежно-морских россыпей могут служить короткие водотоки не выше 2—3-го порядка.

Для Тирехтяха наблюдается существенное (до 50%) перекрытие контура месторождения Дружба и промышленной россыпи. Коренные проявления олова встречаются как в пределах примыкающего приподнятого блока, так и в плотике россыпи, поэтому расстояние переноса касситерита от источника до области аккумуляции минимально, что отчасти объясняет уникальный характер Тирехтяхской россыпи.

Для Валькумейской россыпи выходы коренных источников олова наблюдаются на примыкающей к береговой зоне территории, непосредственно в абрадируемом клифе и в плотике россыпи. Оловоносными являются также поступающие в зону пляжа склоновые и пролювиальные образования [5].

Количественная оценка этого соотношения параметров источника и россыпи для аллювиальных потоков получена В. В. Поликарпочкиным [13], для прибрежно-морских — А. В. Лаломовым и С. Э. Таболичем [9]. Содержание олова в россыпи прямо пропорционально содержанию олова в источнике и количеству легко удаляемых глинистых фракций. Протяженность источника в зоне аллювиального или прибрежно-морского потока наносов связана с россыпными концентрациями положительной, но более сложной зависимостью. Важно и положение источника по отношению к потоку наносов: чем ближе источник к началу потока, тем выше степень концентрации россыпеобразующего компонента, но меньше длина образуемого обогащенного шлейфа. Степень гидродинамического воздействия по-разному проявляется для зоны источника и «ниже» (для аллювиальных и склоновых россыпей — в прямом смысле) от него по потоку наносов: повышенная гидродинамика способствует обогащению россыпи в пределах поступления металлоносного материала и усиливает его разбавление ниже от источника по потоку.

В общем случае, по оценкам эродированной части рудных тел и объемам сформированных россыпей, для источников касситерит-кварцевой формации в россыпях аккумулируется от 8% до 12% запасов первичных руд. Суммарные запасы олова в россыпях, образовавшихся за счет источников касситерит-силикатной формации, составляют не более 0,5—2%

[17]. Запасы Валькумейской россыпи соответствуют эрозионному срезу выходящих на поверхность современных рудных тел порядка 10 м [6]. Принимая во внимание оцениваемый уровень эрозионного среза Валькумейского коренного месторождения 200—300 м [3], получаем величину сконцентрированного в россыпи касситерита в 3—5% объема первичных эродированных руд.

Структура ОРТУ

Россыпи тектонических уступов имеют гетерогенный характер и представлены отложениями широкого возрастного (от палеогена до голоцена) и генетического диапазона. В континентальных районах при доминирующей роли аллювиальных осадков в строении металлоносной пачки участвуют склоновые отложения и коры выветривания. В шельфовой зоне наряду со склоновым комплексом присутствуют (или доминируют) прибрежно-морские образования пляжа и подводного берегового склона (ПБС).

Россыпи этого типа имеют сложную многоярусную структуру с повышенной мощностью пласта, особенно у подножия тектонических уступов, где происходит слияние разновозрастных и часто гетерогенных пластов в одну линзу с неравномерным и высоким содержанием олова. Соотношение разных тел контролируется тектонической историей и структурно-геоморфологическими особенностями района.

В строении ОРТУ арктической зоны северо-востока России в той или иной степени проявляются три комплекса:

- доорогенный раннекайнозойский комплекс, связанный с палеогеновой эпохой пенепленизации и образования кор выветривания;
- пролювиально-склоновый миоценовый комплекс периода активизации тектонических движений;
- аллювиальный и/или прибрежно-морской комплекс, связанный с формированием современного рельефа в плиоцен-голоценовое время.

Для Тирехтяхской россыпи продуктивными отложениями являются преимущественно разновозрастные аллювиальные и склоново-пролювиальные осадки, в меньшей мере озерно-аллювиальные, элювиально-склоновые отложения и оловоносная кора выветривания. Формирование россыпи продолжалось практически непрерывно с олигоцена до голоцена включительно, но накопление наиболее богатых и мощных пластов ограничивается позднемiocен-среднеплейстоценовым временем.

Последовательная активизация тектонических движений определила структуру россыпи. Фактически Тирехтях состоит из двух разновозрастных россыпных залежей, различно ориентированных и пересекающихся в плане. Нижняя определяется субмеридиональным разломом, начало активизации которого пришлось на олигоцен. Вдоль уступа, в котором происходило вскрытие коренных источников, в субмеридиональной долине позднемiocенового возраста сформировалась промышленная

аллювиальная россыпь. В плиоцене движения по указанному разлому прекращаются, и активизируется субширотный разлом, совпадающий с простиранием основных рудных тел, вдоль подножия которого заложилась долина, ставшая коллектором аллювиальной россыпи. При выходе в Селенняхскую впадину россыпь расширяется и перекрывает более древнюю миоценовую. В зоне перекрытия величина промышленного пласта достигает 43 м.

По мере расширения грабена и смещения зоны активного субширотного уступа в южном направлении в питание россыпи вовлекались наиболее богатые рудные тела месторождения Дружба. Положительные движения в зоне приподнятого блока и слабая гидродинамическая переработка послужили формированию богатого пролювиально-склонового пласта верхнеплейстоценового возраста. Наиболее богатые и выдержанные струи тяготеют к субширотной мелкозалегающей части месторождения, пространственно тесно связанной с рудными телами месторождения Дружба [17]. Принципиально схожее строение имеют гетерогенные россыпи тектонического уступа Кислый Мамонт и Тенкели Депутатского оловоносного рудно-россыпного района.

В пределах Валькумейской прибрежно-морской ОРТУ породы складчатого фундамента, представленные юрскими терригенными метаморфизованными отложениями и на отдельных участках гранитами, имеют ступенчатую поверхность, обусловленную эрозионно-тектоническими факторами, причем первоочередное значение следует отдать тектоническому фактору: на отдельных разрезах горизонтальные площадки имеют характер бенчей, но также могут быть перекрыты отложениями склонового комплекса без видимых признаков абразии. Вертикальные участки поверхности коренных пород обусловлены крутопадающими разрывными нарушениями и в подчиненной мере — захороненными палеоклифами.

В основании разреза прибрежных осадков отчетливо выделяется слабо металлоносная кора выветривания, развитая по метаморфизованным терригенным породам мезозоя. Основной этап корообразования относится к палеоцен-эоценовому времени [1]. Перекрывающие коры выветривания хорошо сортированные олигоцен-нижне-среднемиоценовые песчано-гравийно-галечные, преимущественно кварцевые отложения, залегающие на глубинах 80—100 м, образованные за счет перемыва кор выветривания, не несут промышленной россыпной оловоносности. По-видимому, вскрытие рудных тел и зон минерализации Валькумейского месторождения произошло уже после начала активизации тектонических движений. В некоторых случаях эти галечники встречаются на субгоризонтальных участках коренного ложа на глубинах 50—60 м, что свидетельствует об их образовании до начала дифференцированных тектонических движений.

В строении продуктивной толщи Валькумейской россыпи выделяются два основных структурно-генетических яруса. Нижняя, более древняя верхнемиоценовая часть россыпи, связанная с началом тектонической активизации разнонаправленных движений на границе Валькумейского купола и Чаунской депрессии, представлена комплексом склоновых отложений, которые по мере удаления от берега сменяются аллювиальными галечниками, песками и (в верхней части) алевритами с прослоями торфа [8].

Перекрывающие их плиоценовые отложения второго яруса состоят из склоново-пролювиальных суглинков со щебнем и плохо окатанной галькой и латерально сменяющих их прибрежно-морских галечников, песков и алевропелитовых илов. Прибрежно-морская россыпь протягивается в соответствии с направлением потока наносов к северу от источника поступления оловоносного материала на расстояние 8 км [11].

В целом строение осадочного чехла кайнозойских отложений в пределах россыпи контролировалось тектоническим режимом развития уступа, строением коренных тел Валькумейского рудного поля и литодинамическим режимом бассейна россыпеобразования. Сходное строение имеют Чокурдахская ОРТУ, а также россыпь Западная, но в отличие от двух первых она не проявлена в современном рельефе и полностью перекрыта верхнеплейстоценовыми-голоценовыми отложениями.

Положительно оценены перспективы выявления средней по масштабу ОРТУ у мыса Турырыв в Чаунской губе в 50 км к югу от Певекского россыпного узла [9].

Состав продуктивных отложений

Россыпи тектонических уступов являются классическими объектами ближнего сноса, поэтому они в существенной мере отражают характеристики коренного источника как в отношении основных рудных компонентов, так и в общем минеральном составе россыпемещающих осадков.

В Тирехтяхской россыпи касситерит представлен двумя доминирующими классами крупности: +2 мм и -0,25 мм, находясь преимущественно в сростках с жильными породами и минералами в склоновой россыпи и в высвобожденном виде в аллювиальных россыпях, при этом древний олигоцен-миоценовый пласт характеризуется более крупнозернистым касситеритовым концентратом.

Для Валькумейской россыпи в абрадируемых склоновых образованиях касситерит представлен широким набором гранулометрических фракций — при средней крупности свободного касситерита $M = 0,31$ мм и коэффициенте вариации $K_v = 1,96$ отмечается полимодальное распределение частиц по крупности с основными максимумами во фракциях 0,05—0,1 и 0,25—0,5 мм (рис. 3). Повышенное содержание во фракции 2—5 мм (до 8% общего содержания касситерита) связано с нахождением касситерита в виде

сростков в щебнисто-галечном материале. В процессе волновой переработки этих отложений и переноса во вдольбереговом потоке происходит дифференциация касситерита по крупности. В гравийно-галечных отложениях пляжа накапливаются более крупные фракции ($M = 0,54$ мм, $K_v = 1,43$). По мере удаления от источника на пляже средний размер зерен касситерита уменьшается до 0,45 мм, сортировка несколько возрастает ($K_v = 1,41$). На ПБС в зоне средне-мелкозернистых песков концентрируются более мелкие классы ($M = 0,18$ мм, $K_v = 1,25$). Небольшое количество наиболее тонкого касситерита (до 1—2% запасов россыпи) из гидродинамически активной зоны переходит во взвешенное состояние, а затем отлагается в поле распространения алевритовых илов ($M = 0,13$ мм, $K_v = 0,97$).

Тяжелая фракция осадков представлена двумя комплексами минералов. Первый, характерный для Валькумейского рудного поля, наиболее выражен в головной части прибрежно-морской россыпи в зоне источника. В нем преобладают турмалин (30—33% состава тяжелой фракции), биотит (20%), касситерит (16%), сульфиды (10%), гидроокислы железа (8%), роговая обманка (5%). Второй класс представлен транзитными минералами, имеющими региональное распространение, — ильменитом, магнетитом, гранатами, цирконом, топазом. В районе источника их содержание не превышает первых процентов от общего состава тяжелой фракции. В шлейфе россыпи на удалении от источника значение транзитного класса возрастает: при преобладании турмалина (30%) уменьшается количество сульфидов, биотита и увеличивается количество устойчивых минералов: магнетита (10%), ильменита (9%), топаза (8%), гранатов (7%).

Генетическая модель

Генетическая модель ОРТУ для восточной части арктического региона, заключающего в себе более 95% запасов и ресурсов России, содержит следующие элементы:

1. Проявление мезозойского гранитоидного магматизма с последующим развитием комплекса малых интрузий, с поздними дифференциатами которого связана оловянная минерализация касситерит-кварцевого и касситерит-силикатного типов в виде кварц-сульфидных жил, линейных прожилково-жильных зон и минерализованных штокверков.

2. Развитие кор выветривания по породам терригенно-магматического комплекса в раннекайнозойский период пенепленизации территории в условиях теплого субтропического климата

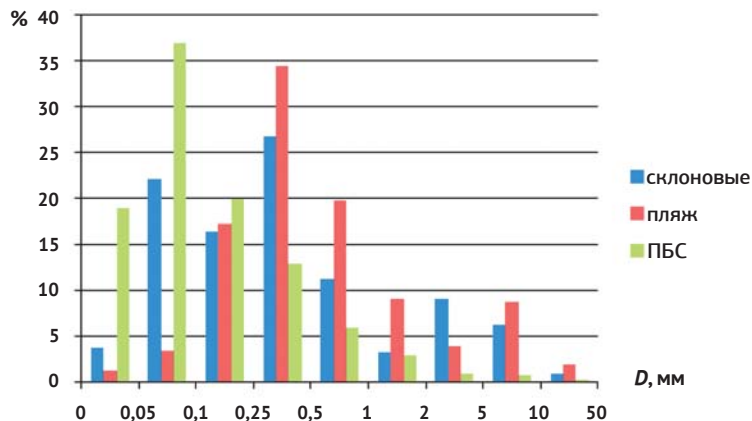


Рис. 3. Распределение олова по классам крупности (% общего количества) в склоново-пролювиальных образованиях, в россыпи пляжа и в россыпи ПБС на удалении от источника

и гидрослюдистого элювия в позднекайнозойское время, дезинтеграция коренных рудовмещающих комплексов.

3. Активизация разнонаправленных тектонических движений в неогене: положительных в пределах гранитных массивов и отрицательных в областях континентальной и прибрежно-морской аккумуляции, эрозия коренных источников, образование склоновых и аллювиальных россыпей.

4. При преобладании на территории узла нейтрально-положительных движений происходит образование склоново-пролювиальных россыпей (Тирехтях). При скомпенсированном прогибании бассейна происходит образование плейстоценовых прибрежно-морских и аллювиальных россыпей (Валькумей, Чокурдах, Кислый Мамонт). При преобладании отрицательных неотектонических движений происходит образование погребенной россыпи (Западная), не имеющей связи с современным рельефом.

5. Положение россыпных тел по отношению к источнику определяется ориентировкой морфоструктур и направлением преобладающих потоков наносов гравитационной, аллювиальной и прибрежно-морской природы.

Поисковые критерии

Геофизические критерии играют важную роль при поисках ОРТУ. Разломы, определяющие основные закономерности формирования этого типа россыпей, демонстрируют амплитуду смещения в первые сотни метров. Они имеют унаследованную природу и на этапе магматической активизации являлись магмоподводящими каналами, по которым происходило внедрение расплавов, сформировавших гранитные массивы. С более мелкими опережающими нарушениями связаны изверженные породы дайкового комплекса и минерализованные зоны.

В физических полях разломы находят свое выражение в виде аномалий типа «гравитационная

Таблица 3. Параметры первичных ореолов элементов рудного парагенезиса Валькумейской россыпи по отношению к россыпному пласту [12]

Параметр	Sn	B	W	Cu	Bi	Ag
Предельные значения содержаний, %	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
Площадь первичного ореола по отношению к площади пласта, оконтуренному по бортовому содержанию Sn по данным разведочного бурения	2,4	6,0	4,3	4,2	2,4	3,0

степень» и локальных магнитных аномалий. При переходе от центральных участков поднятий к областям прогибания уровень поля изменяется на многие десятки миллигал. Гравитационные ступени кулисно смещены друг относительно друга. Отчетливые отрицательные аномалии наблюдаются в зонах вскрытых или предполагаемых гранитоидных массивов: контрастность таких аномалий достигает 15—17 мгл.

Аномалии магнитного поля соответствуют породам дайкового комплекса, трассирующим зоны оперяющих разломов. Положительные аномалии дугообразной формы часто приурочены к выходам гранитоидов и, по всей видимости, отражают экзо-контактовые зоны массивов.

В пределах россыпных полей магнитометрические методы не являются информативными. Слабые магнитные аномалии наблюдаются в зонах шлихования осадков и обогащения их магнетитом. Это отвечает обстановкам накопления минералов региональной транзитной ассоциации, что, как правило, происходит за пределами промышленных контуров россыпей.

Таким образом, геофизические методы применимы при поисках структурно-тектонических условий, отвечающих зонам тектонических уступов, сопровождаемых развитием гранитоидного магматизма. В качестве прямого поискового метода ОРТУ геофизические методы применимы ограниченно.

Геохимические методы поисков ОРТУ детально рассмотрены в [12] на примере Валькумейской и Западной россыпей. В пределах Валькумейской россыпи выделен ряд элементов-индикаторов, соответствующих геохимическим потокам, протягивающимся от коренных источников рудных тел касситерит-силикатной формации в зоне пляжа и ПБС. Установлено, что по мере удаления от источника происходит последовательное выпадение элементов из потока наносов. В проксимальной зоне потока рассеяния на расстоянии 0—400 м от выходов абрадируемых коренных тел и пролювиально-склоновых образований россыпному пласту соответствует парагенетическая ассоциация As-Sn-W-Bi-Cu-B-Ag. На удалении от источника (400—1500 м) в процессе дифференциации рудогенных элементов начальная ассоциация сменяется транзитной: W-Sn-Cu-B-Ag. В дистальной части оловоносного шлейфа на удалении более 1500 м от источника заметной контрастностью в шлейфе потока обладают только Sn и В. Полученная законо-

мерность позволяет оценивать степень удаленности выявленных аномалий от коренных источников.

Размеры выделяемых первичных ореолов элементов рудного парагенезиса с учетом предельных значений содержаний элементов превышают размеры россыпного пласта, оконтуренного по бортовому содержанию олова (табл. 3), что позволяет использовать их в поисковых целях.

На перспективных территориях необходима съемка по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Для выделения продуктивных площадей предлагается использовать следующий мультипликативный показатель, в котором элементы продуктивной ассоциации противопоставляются элементам фоновой осадочной ассоциации: $(W-Cu-Sn-B-Zn-As-Bi)/(Ba-Ga-Cr-Y-Sc-Sr-Ti-Zr)$.

Россыпь Западная была выявлена при заверке буровыми работами геохимической аномалии олова на акватории пролива Этерикан [15]. Помимо установления промышленной значимости площади было отмечено, что кроме оловянной аномалии над россыпными телами и оловоносными корами выветривания наблюдаются повышенные содержания ассоциации Ag-Zn-Mo, которые не относятся к кластогенной шлиховой ассоциации. Если аномалии Sn (касситерит), В (турмалин), W (шеелит-вольфрамит) возникают за счет перемива нижележащих осадков и шлихового обогащения, то ассоциация Ag-Zn-Mo скорее всего переносится в осадках в растворенной форме и переотлагается в условия донного геохимического барьера. Учитывая, что такие геохимические «столбы» пространственно тяготеют к зонам тектонических нарушений складчатого основания, можно предположить, что своим формированием они обязаны перманентно действующему комплексному механическому и физико-химическому барьеру, возникающему в толще осадков над активными разломами.

Аналогичные Ag-Zn-Mo аномалии прослеживаются над погребенными россыпными телами Валькумейской россыпи.

Геологические методы. Среди традиционных методов, которые могут быть применены при прогнозно-поисковых работах на ОРТУ, можно отметить детальное опоскование всех районов с установленной коренной оловянной минерализацией независимо от масштаба проявлений, опробование рыхлых отложений водотоков и пролювиально-

склонового комплекса, заверку буровыми работами всех выявленных геохимических аномалий олова и элементов сопутствующей парагенетической ассоциации, а также областей, где по совокупности гравиметрических и магнитометрических исследований могут прогнозироваться геологические обстановки, благоприятные для образования ОРТУ.

Поскольку в прибрежно-морских россыпях вследствие интенсивного истирания в волноприбойном потоке преобладают мелкие классы касситерита, а в россыпях склонового комплекса большое количество касситерита находится в сростках, то в перспективных зонах поисковые работы должны производиться с опробованием отложений без промывки по рудной схеме.

Заключение

Оловянные россыпи тектонических уступов обладают большим металлогенетическим потенциалом, с месторождениями этого типа связано до 70% запасов разведанного и прогнозируемого россыпного олова.

Несмотря на некоторые различия, связанные с тектоническим режимом блоков, параметрами коренной минерализации, историей развития россыпеобразующей системы и генетической природой россыпных концентраций, россыпи этого типа обладают рядом общих черт, которые позволяют разработать единую методику их поисков.

Перспективы выявления новых ОРТУ связаны с областями приморских равнин и шельфа восточных арктических морей в пределах Северо-Якутской и Чукотской рудно-россыпных оловоносных провинций.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

1. Баранова Ю. П., Бискэ С. Ф. Палеоклиматы палеогена и неогена Северо-Востока Азии // *Континентальные третичные толщи Северо-Востока Азии*. — Новосибирск, 1979. — С. 86—94.
2. Быховский Л. З., Спорыхина Л. В. Россыпные месторождения в сырьевой базе и добыче полезных ископаемых // *Минеральные ресурсы России: Экономика и управление*. — 2013. — № 6. — С. 6—17.
3. Гончаров В. И., Карпенко Л. И., Лаломов А. В. Валькумейское месторождение // *Крупные и суперкрупные месторождения стратегических видов минерального сырья*. — Т. 3: Стратегические виды рудного сырья востока России. — Кн. 2 / Под ред. Д. В. Рундквиста. — М.: ИГЕМ РАН, 2006. — С. 483—514.
4. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году». — М.: Минерал-Инфо, 2014. — 387 с.

5. Лаломов А. В. Дифференциация тяжелых минералов во вдольбереговом потоке наносов и моделирование процессов прибрежно-морского россыпеобразования // *Литология и полез. ископаемые*. — 2003. — № 4. — С. 361—369.
6. Лаломов А. В., Таболич С. Э. Определение времени образования Валькумейской прибрежно-морской россыпи // *Литология и полез. ископаемые*. — 2004. — № 4. — С. 369—374.
7. Лаломов А. В., Таболич С. Э. Прогнозирование динамики техногенных россыпей в береговой зоне моря на основе численного моделирования // *Геология руд. месторождений*. — 2009. — № 3. — С. 239—249.
8. Лаломов А. В., Бочнева А. А., Чефранов Р. М., Чефранова А. В. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // *Арктика: экология и экономика*. — 2015. — № 2. — С. 66—77.
9. Лаломов А. В., Таболич С. Э., Чефранов Р. М. Геолого-динамическое моделирование образования прибрежно-морских оловоносных россыпей на примере Восточного сектора Арктики России // *Геология руд. месторождений*. — 2016. — № 2. — С. 120—133.
10. Лунашин П. Д. Восстановится ли добыча олова в России? // *Пром. ведомости*. — 2011. — № 1—2 (<http://www.promved.ru/articles/article.php?id=2041&nomer=68>).
11. Макеев А. А., Михайлов В. И., Чемоданова З. В., Лаломов А. В. Отчет о детальной разведке россыпи олова участка Валькумейский (с защитой запасов в ГКЗ СССР). — Певек: Чаунская ГРЭ; ПГО «Севостгеология», 1987. — 380 с.
12. Патык-Кара Н. Г., Иванова А. М. Геохимические поиски месторождений твердых полезных ископаемых на континентальном шельфе. — М.: Науч. мир, 2003. — 416 с.
13. Поликарпочкин В. В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. — Новосибирск: Наука, 1976. — 407 с.
14. Россыпные месторождения России и других стран СНГ / Отв. ред. Н. П. Лаверов, Н. Г. Патык-Кара. — М.: Науч. мир, 1997. — 479 с.
15. Россыпные месторождения Ляховского оловоносного района / Под ред. И. С. Грамберга, В. И. Ушакова. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2001. — 158 с.
16. Смирнов А. Н., Ушаков В. И., Крюков В. Д. Резерв минерально-сырьевой базы олова на шельфах арктических морей России // *Минеральные ресурсы России: Экономика и управление*. — 2008. — № 6. — С. 15—21.
17. Спорыхина Л. В., Патык-Кара Н. Г. Россыпи олова // *Россыпные месторождения России и других стран СНГ* / Отв. ред. Н. П. Лаверов, Н. Г. Патык-Кара. — М.: Науч. мир, 1997. — С. 165—206.
18. <http://metal4u.ru/lme> (данные на 15 апреля 2016 г.).