

РОЛЬ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ
ВОСПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЕФИЦИТНЫХ
ВИДОВ СТРАТЕГИЧЕСКОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ РОССИИ НА
СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕН. С. Бортников¹, А. В. Волков¹ , А. В. Лаломов¹ , А. А. Бочнева¹ , Ю. Н. Иванова^{1,2} , Д. А. Лаломов³ ¹Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
г. Москва, Россия²Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия³ООО «Геодавайс технолоджис», г. Санкт-Петербург, Россия* **Контакт:** Александр Валерианович Лаломов, lalomov@mail.ru

Россыпные месторождения играли (а по ряду компонентов и сейчас играют) важную роль в обеспечении стратегических видов минерально-сырьевой базы как России, так и мира в целом. Россыпи обладают рядом преимуществ, которые делают их востребованными горнодобывающей промышленностью: относительно неглубокое (часто – доступное для открытой добычи) залегание, дезинтегрированное состояние продуктивных отложений, простота процессов обогащения (преимущественно — гравитационные системы), а также возможность быстрого вовлечения в эксплуатацию, что значительно сокращает сроки окупаемости вложенных средств. Все это еще более актуально для современной России, когда в кратчайшие сроки в условиях дефицита кредитных ресурсов требуется осуществить программу импортозамещения и обеспечения страны дефицитными видами стратегического минерального сырья, такого как золото, платиноиды, олово, редкие металлы, титан, хром, алмазы.

Ключевые слова: стратегические металлы, россыпи, золото, олово, редкие металлы, алмазы.**Цитирование:** Бортников Н. С., Волков А. В., Лаломов А. В., Бочнева А. А., Иванова Ю. Н., Лаломов Д. А. Роль россыпных месторождений в обеспечении воспроизводства минерально-сырьевой базы дефицитных видов стратегического минерального сырья России на современном этапе // Russian Journal of Earth Sciences. — 2024. — Т. 24. — ES1012. — DOI: 10.2205/2024es000897**Введение**

Россыпи, по определению из нормативных документов ГКЗ, это «скопления рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащего в виде зерен, их обломков или агрегатов ценные минералы» [МНР России, 2000]. Наибольшее промышленное значение имеют россыпи золота, платины, касситерита, титана, редких металлов, алмазов, янтаря, хотя разрабатываются и более экзотические типы (магнезита, гранатов, хромита, драгоценных камней и т. д.).

Россыпные месторождения являются, по-видимому, древнейшим типом полезных ископаемых, эксплуатируемых человеком. Желваки кремня (основного материала для производства орудий труда каменного века) могли добываться и из коренных проявлений, но в россыпях они более доступны и широко распространены; этот тип россыпей относится к классу «валунных» наряду с россыпями хромита, нефрита-жадеита, оптического кварца и мамонтового бивня. Также россыпное золото относится к наиболее древнему полезному ископаемому, дошедшему до нас в письменных источниках: упоминаемое в Библии «хорошее золото земли Хавила», приуроченное к р. Фисон, также,

Получено: 15 октября 2024 г.

Принято: 15 января 2024 г.

Опубликовано: 29 февраля 2024 г.



© 2024. Коллектив авторов.

скорее всего, являлось россыпным. Достоверно известно о добыче россыпного золота в древности и в средние века в Восточной Африке, Испании, Южной Америке и т. д.

Хотя в России коренные месторождения золота стали эксплуатироваться раньше россыпных, но с открытием в 1814 г. Л. И. Брусницыным на Урале россыпей золота и разработкой методов его промышленного извлечения, они вплоть до начала XXI-го века занимали ведущее место в золотодобыче. Россыпи других минерально-сырьевых типов также имеют значительное (а иногда и ведущее) место в мировой ресурсной базе (табл. 1).

Таблица 1. Доля россыпей различных типов в структуре запасов и добычи [Лаломов и др., 2022а; Павловский, 2014; U.S. Geological Survey, 2020]

Вид сырья	Доля запасов категорий A + B + C ₁ (≈ measured resources) россыпей, %	Доля россыпей в общей добыче, %
Золото (Россия) в 2021 г.	10,2	19,9
Платиноиды (Россия)	0,3	4,5
Алмазы (Россия, карат)	6,8	11
Олово (СССР, 1989 г.)	12,4	25
Олово (мир)	46,6	65
Титан (мир)	33	70
Цирконий (мир)	80	95
Ниобий (мир, с корами выветривания)	20	70
Тантал (мир, с корами выветривания)	4	>10
Вольфрам (с ТМО)*	0,73	3,2
Хром (Россия)	0,56	1,14

* ТМО — техногенно-минеральные образования.

В перспективе до 2035 года в мире прогнозируется кратное (в 2–6 раз) увеличение потребления для подавляющего числа видов высокотехнологичных металлов [Бортников и др., 2022], существенная часть которых добывается из россыпных месторождений. Хотя в последние десятилетия основное внимание горнодобывающей промышленности как России, так и мира в целом, сосредоточено на крупных коренных объектах, пусть даже с низкими содержаниями, но большими запасами полезных компонентов, сложившаяся в настоящее время в России ситуация требует разработки новых подходов к воспроизводству минерально-сырьевой базы (МСБ) дефицитных видов стратегического минерального сырья России (рис. 1).

1. Золото

Несмотря на ведущую роль коренных месторождений, россыпи продолжают играть важную роль в добыче золота, что отличает Россию от других производителей золота в мире. На протяжении XX века основная часть золота добывалась из россыпных месторождений, и только в начале нашего века коренные месторождения стали преобладать, преимущественно за счет открытия и освоения новых крупных коренных источников. Россыпная добыча заметно падала с 120 т в 1990 г. до 55 т в 2009 г., (46 % от 1990 г.), но потом стала возрастать, и к концу 2021 г. достигла 87,1 т (73 % от 1990 г.), что составляет 19,9 % от общей добычи (рис. 2). Роль россыпей для разных регионов неодинакова. По итогам 2021 г. в Пермском крае, ХМАО, Новосибирской, Кемеровской областях и Еврейской АО золото добывалось только из россыпей. Более 30 % россыпной добычи отмечается в Респ. Алтай (74 %), Хакасии (45 %), Приморском крае (37,5 %), Иркутской обл. (34,5 %), Бурятии (31,1 %) и Магаданской обл. (30,2 %).

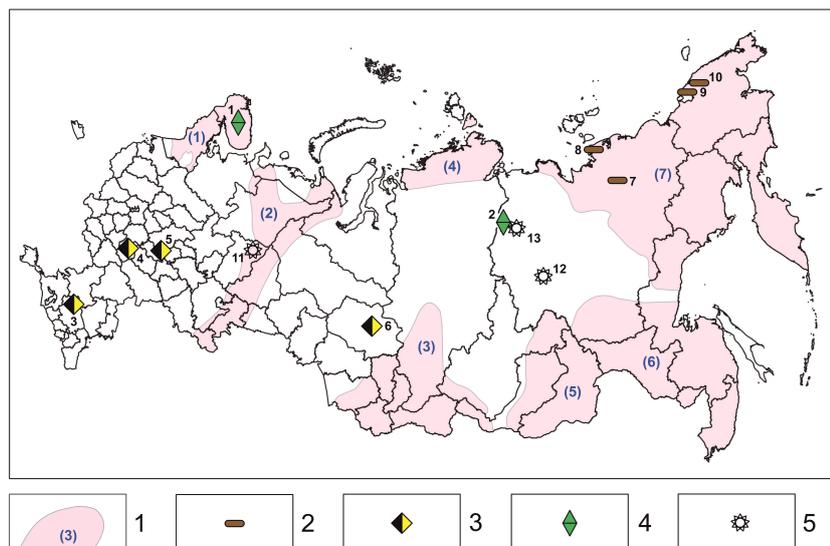


Рис. 1. Перспективные объекты для обеспечения России дефицитными видами стратегического минерального сырья. 1 — основные золотоносные провинции России: (1) Карело-Кольская, (2) Уральская, (3) Южно-Сибирская, (4) Таймыро-Североземельская, (5) Забайкальская, (6) Дальневосточная, (7) Северо-Восточная; 2 — олово, 3 — титан, цирконий, 4 — редкоземельные металлы (РЗМ), 5 — алмазы. Месторождения. РЗМ: 1 — Ловозерское, 2 — Томторское; титан и циркон: 3 — Бешпагирское, 4 — Центальное, 5 — Лукояновское, 6 — Туганское; олово: 7 — Тирехтях, 8 — Чокурдах, 9 — Валькумй, 10 — Пыркакай; алмазы: 11 — Сюзевская (Сев. Урал), 12 — Нюрбинская, 13 — Эбеляхская.

В целом, по результатам 2021 г., из стоящих на балансе на начало года 1122,01 т было добыто 87,1 т россыпного золота, при этом уменьшение балансовых запасов составило 9,8 т (0,9 % от запасов или 11,3 % от добычи) — добытое в 2021 г. россыпное золото было на 88,7 % компенсировано результатами, в первую очередь, разведки, а также переоценки и постановки на учет новых запасов.

В Государственном докладе «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году» [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022] указывается, что сроки исчерпания балансовых запасов разрабатываемых россыпных месторождений составляют менее 7 лет. Примерно про такие же сроки исчерпания россыпных месторождений один из авторов статьи слышал в 1982 г. в Магадане в объединении «Севостгеология», а старожилы утверждали, что подобная фраза звучала и за 20 лет до этого. Источником такого пессимистического прогноза служит простое деление распределенных запасов россыпного золота на объем ежегодной добычи. Учитывая, что разведка и постановка на баланс новых запасов в значительной мере (на 88,7 % от добытого металла или на 99,1 % от стоящего на балансе, по данным 2021 г.) компенсируют его добычу, имеющуюся оценку сроков исчерпания россыпных запасов можно увеличить на порядок.

При существующих уже на протяжении многих десятков лет темпах воспроизводства МСБ россыпного золота, можно утверждать возможность эксплуатации промышленных россыпных месторождений на протяжении десятков лет, и это не считая большого потенциала ТМО, а также новых типов россыпей (золото в песчано-гравийных смесях (ПГС), золотоносные конгломераты [Волков и др., 2021], попутное золото в редкометалльно-титановых россыпях [Левченко и Григорьева, 2021] и т. д.). В ряде случаев (ТМО и ПГС) основные проблемы вовлечения этих месторождений в эксплуатацию носят не экономический или технологический, а юридический характер, что вполне преодолимо путем принятия соответствующих законодательных решений.

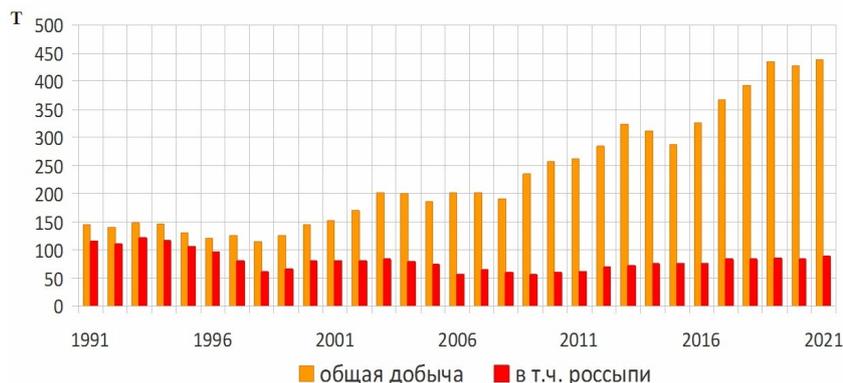


Рис. 2. Структура добычи золота в России [Лаломов и др., 2022а].

Таким образом, продолжающаяся эксплуатация россыпных месторождений золота при минимальном вложении средств и решении правовых вопросов может на протяжении длительного времени обеспечивать от 15 до 20 % золотодобычи России.

2. Олово

По общему количеству разведанных запасов олова Россия занимает первое место в мире — по категориям $A+B+C_1+C_2$ на государственном балансе числится 2110,3 тыс. т, и наряду с Бразилией (2000 тыс. т) и Китаем (1800 тыс. т) входит в тройку мировых лидеров. Запасы олова в россыпях по категориям $A+B+C_1+C_2$ составляют 223,5 тыс. т (10,6 % общероссийских запасов) [Росгеолфонд, 2022].

Сырьевая база россыпного олова России характеризуется высокой степенью концентрации: 99,3 % запасов и 97,9 % прогнозных ресурсов сосредоточены в восточном секторе Арктической зоны. При этом 71,5 % разведанных запасов россыпного олова высоких категорий сконцентрировано в 4 крупных месторождениях: континентальных Тирехтах, Одинокая, и гетерогенных прибрежно-морских Чокурдах и Валькумей.

В мире доля россыпных месторождений в общем объеме добычи составляет 53,4 % (в Азии — 80,5 %), в России (на конец 1990-х гг.) из россыпей добывалось 25 % [Быховский и Спорыхина, 2013; Смирнов и др., 2008; Kamilli et al., 2017]. Еще во времена Советского Союза добыча олова на Северо-Востоке была нерентабельна на фоне мировых цен в силу высоких сопутствующих накладных расходов и дотировалась из государственного бюджета как стратегическое сырье. После открытия рынка и падения мировых цен на олово в начале 90-х добыча олова на Северо-Востоке как на россыпных, так и на коренных объектах была свернута.

Значительный рост цены на рафинированное олово (до 40 тыс. долл./т в первой половине 2022 г.) сделал возможным возобновление рентабельной добычи на российских месторождениях.

Наиболее крупным из подготавливаемых к эксплуатации объектов является группа Пыркакайских штоковерков на Чукотке, запасы которых по категориям $A+B+C_1+C_2$ составляют 238,4 тыс. т олова при содержании 0,25 %. В 2020 г. ПАО «Русолово» (оловянный дивизион ПАО «Селигдар») по результатам аукциона получило право на геологическое изучение, разведку и добычу олова месторождений Пыркакайского рудного узла. Разработка месторождений возможна открытым способом; срок отработки, по предварительным оценкам, около 30 лет. Согласно лицензионному соглашению, не позднее августа 2031 г. должна начаться эксплуатация [ВИМС-ЦНИГРИ, 2021]. Вложения, необходимые для строительства ГОКа, на сегодняшний день оцениваются в 300 млн \$ US. При этом содержания олова в рудах существенно уступают месторождениям, разрабатываемым за рубежом: содержания олова в рудах основных эксплуатируемых зарубежных месторождений варьируют в интервале 0,27–1,68 % [Kamilli et al., 2017]. Учитывая удаленность и сложные природные условия отработки руд Пыркакайского

месторождения, его конкурентоспособность на мировом рынке олова вызывает ряд вопросов.

Что касается россыпных месторождений, компания АО «Янолово» летом 2021 г. возобновила разработку Тирехтяхской россыпи, по которой на государственном балансе находится 68,2 тыс. т олова с содержанием 960 г/м³. Россыпь относится к аллювиально-делювиальному и аллювиальному типам. Ее запасы доступны для открытой отработки (рис. 3). Уже в первый год после возобновления эксплуатации на месторождении было добыто 452 т олова.

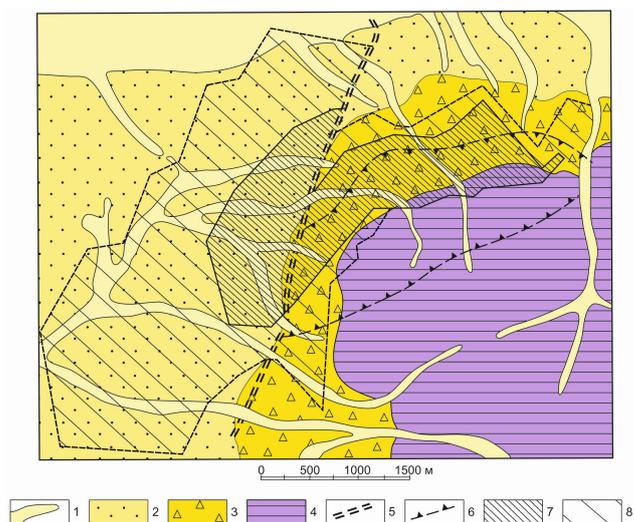


Рис. 3. Схема строения Тирехтяхского месторождения россыпного олова с использованием данных [Спорухина и Патык-Кара, 1997]: 1 — современные аллювиальные отложения, 2 — отложения плейстоценовой аккумулятивной равнины, 3 — склоново-пролювиальные шлейфы (верхний плейстоцен–голоцен), 4 — терригенно-осадочные породы верхнего триаса, 5 — тектонические нарушения, выраженные в рельефе коренных пород, 6 — граница рудного поля месторождения Дружба, 7, 8 — контур россыпи (7 — с балансовыми запасами, 8 — с забалансовыми запасами).

Согласно проекту (2020 г.), предприятие выйдет на проектную производительность в 3 млн м³ песков (2,8 тыс. т олова) в год в 2025 г., что полностью покрывает текущие потребности России. Ожидаемый срок отработки запасов — 2051 г. Обогащение песков будет вестись по гравитационной схеме (извлечение Sn > 85 %) с получением оловянного концентрата марки КО-1 (содержание Sn ≥ 60 %).

К россыпным месторождениям олова, отработка которых может быть начата в кратчайшие сроки, относятся прибрежно-морские россыпи Валькумейская на Чукотке (15,7 тыс. т при содержании 1260 г/м³), Чокурдах в Якутии (18,2 тыс. т при содержании 493 г/м³) и Одинокая в Якутии (51,9 тыс. т при содержании 829 г/м³). Кроме того, за пределами гос. баланса остались россыпи Ляховского оловоносного узла, поисково-разведочные работы в котором были свернуты по экологическим соображениям в 1992 г., где по категории С₂ были оценены россыпи с общими запасами 109,9 тыс. т при средних содержаниях 800–1670 г/м³.

Таким образом, в обеспечении страны оловом преимущества россыпей, которые требуют гораздо меньших вложений, а отдачу дают в течение уже первого года эксплуатации, по сравнению с коренными объектами, являются неоспоримыми. Понимание этих аспектов находит отклик у руководства российской горнодобывающей отрасли: еще несколько лет назад влияние россыпей на оловодобычу оценивалось как «незначительное» («Основой российской сырьевой базы олова являются разномасштабные коренные месторождения оловянных руд. . . На долю россыпей приходится менее 11 % российских запасов олова; среди них в количественном отношении преобладают мелкие объекты с запасами менее 1 тыс. т олова» [ВИМС-Минерал-Инфо, 2018, с. 178–179]).

В настоящее время основным перспективным объектом России по олову считается россыпное месторождение Тирехтях [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022, с. 279]. Учитывая, что видимое внутреннее потребление металлического олова в России составляет 2–2,6 тыс. т в год [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022], только стоящие на балансе россыпные запасы олова (233,5 тыс. т) могут обеспечить текущие потребности страны приблизительно на 100 лет.

3. Титан

Согласно Стратегии развития минерально-сырьевой базы до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р, титан относится к группе дефицитных полезных ископаемых, внутреннее потребление которых в значительной степени обеспечивается вынужденным импортом. Кроме того, титан входит в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 30.01.2022 № 2473-р.

Россия располагает одной из крупнейших в мире сырьевых баз титана — на ее долю приходится 15 % запасов мира. При этом вклад страны в мировое производство концентратов титана составляет всего 0,03 %.

Россия является одним из ведущих в мире продуцентов губчатого титана и титановых изделий, но практически все российские предприятия, использующие титановое сырье, импортируют его. Главным производителем губчатого титана, обеспечивающим России статус лидера мирового рынка, является ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», выпускающая его на титаномагниевого комбинате «АВИСМА» в г. Березники (Пермский край). Главным производителем пигментного диоксида титана, используемого в лакокрасочной промышленности, является завод «Крымский титан» (Республика Крым).

Основной (еще с советских времен) поставщик титановых концентратов на заводы Урала — Украина — с марта 2022 г. полностью прекратила поставки. В настоящее время российские заводы испытывают большой дефицит титанового сырья, который покрывается за счет складских запасов и поставок из Вьетнама, Мозамбика и Казахстана. Завод «Крымский титан» из-за дефицита сырья работает только на 25 % от возможного объема переработки 80 тыс. т/год ильменитового концентрата. Поэтому обеспечение российской титановой промышленности собственным сырьем является крайне насущной проблемой.

Российская сырьевая база титана на 97 % состоит из месторождений магматогенного генезиса в габброидных и щелочных породах и литифицированных погребенных россыпях (крупные Пижемское и Ярегское месторождения), относимых по условиям эксплуатации к коренным рудам. В мире 60–70 % титановых концентратов производится из комплексных россыпных месторождений [Suietpayev et al., 2021; U.S. Geological Survey, 2020]. Эксплуатируемые в мире коренные объекты отличаются от стоящих на балансе российских повышенными содержаниями титана: так, содержание титана в рудах месторождения Лак-Тио в Канаде составляет 32–38 % [Charlier et al., 2010], в рудах месторождения Теллнес в Норвегии — 16–20 % [Charlier et al., 2006], месторождения Дамиао (Damiao) в Китае — 8–10 % [Charlier et al., 2015]. Содержание титана в рудах российских коренных месторождений не превышает 7–8,5 %. К тому же российские месторождения испытывают большие проблемы с технологией обогащения и переработки руд [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022, с. 319, 322]. Ряд месторождений расположены в удаленных слабо освоенных районах. В незначительных количествах (3 тыс. т TiO₂ в 2021 г.) титановый концентрат получают только из лопаритовых руд Ловозерского месторождения.

Россыпные месторождения представлены погребенными древними (от юрских до плиоценовых) прибрежно-морскими россыпями, расположенными в пределах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ (табл. 2). Россыпи имеют комплексный характер — помимо титановых минералов (ильменита и рутила) и минерального агрегата лейкоксена они содержат в промышленных количествах циркон, устойчивые

алюмосиликаты (дистен, ставролит, силлиманит), в отдельных случаях монацит, глауконит, фосфориты, мелкое и тонкое золото.

В декабре 2021 г. АО «Туганский ГОК „Ильменит“» ввело в эксплуатацию первую очередь ГОКа на россыпном циркон-рутил-ильменитовом Туганском месторождении в Томской области, что позволяет выпускать 11,4 тыс. т/год ильменитового и 0,8 тыс. т рутил-лейкоксенового, а к 2029 г., работая на полную мощность, ГОК сможет ежегодно выпускать 136,6 тыс. т/год ильменитового и 9,4 тыс. т рутил-лейкоксенового концентратов. Учитывая видимое потребление концентратов титана на 2021 г. 226,8 тыс. т [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022], при выходе на полную мощность комбинат сможет покрыть текущие потребности России на 64 %. Срок отработки всех запасов месторождения оценивается в 43–45 лет.

Таблица 2. Параметры основных комплексных редкометалльно-титановых россыпей России

Месторождение	TiO ₂		ZrO ₂		Расположение
	Запасы, тыс. т	Среднее содержание, кг/м ³	Запасы, тыс. т	Среднее содержание, кг/м ³	
Восточно-Европейская мегапровинция					
Бешпагирское	2630	20,9	620,6	5,1	Ставропольский край
Центральное	6396	54,1	830,3	3,1	Тамбовская область
Лукояновское	166	5,5	346,4	13	Нижегородская область
Новозыбковское	237	8,1	27,6	1,7	Брянская область
Западно-Сибирская мегапровинция					
Тарское	1001	32,2	181,4	6,4	Омская область
Самсоновское	1674	34,2	266,6	5,2	Омская область
Туганское	2502	19,7	1007,3	7,7	Томская область
Георгиевское	1568	17,6	408,8	4,9	Томская область
Ордынское	56	14,4	15,3	3,9	Новосибирская область
Буткинское	133	16,8	12,3	1,8	Свердловская область
Правобережное	270	20	30,7	2,6	ХМАО

Среди месторождений нераспределенного фонда недр наиболее перспективными для освоения являются погребенные прибрежно-морские россыпи Ставропольского края: Бешпагирское месторождение, Константиновский и Камбулатский участки. Их совокупные запасы, качественные показатели потенциальной продукции и инфраструктурная освоенность региона позволяют создать на их базе крупное горно-обогательное производство. Получаемый из них ильменитовый концентрат (62,2 % TiO₂) подходит для производства губчатого титана и пигментного диоксида титана. Технико-экономические показатели отработки запасов открытым способом определены для 15-летнего расчетного периода со среднегодовым производством товарных концентратов: рутилового — 10 тыс. т, ильменитового — 28 тыс. т [Быховский и др., 2010a], что покрывает еще 17 % потребностей России.

Таким образом, ввод в эксплуатацию россыпных редкометалльно-титановых месторождений России может в кратчайшие сроки обеспечить основную часть потребностей в титановом сырье и снизить зависимость отечественной промышленности от импорта. Россыпные месторождения титана, запасы которых оцениваются в 17,8 млн т, могут обеспечить текущие потребности страны на срок до 80 лет.

4. Редкие и редкоземельные металлы

Редкие металлы (к которым относятся и редкоземельные) мало распространены в природе, встречаются в собственных минеральных формах или в качестве примесей в других минералах. Из россыпных месторождений добывают цирконий, ниобий, тантал, группу редкоземельных металлов (РЗМ), в незначительных количествах вольфрам, в качестве примесей в россыпных минералах присутствуют гафний (в цирконе), индий (в касситерите). К группе РЗМ относятся лантан (La), церий (Ce), празеодим (Pr), неодим (Nd), самарий (Sm), европий (Eu), гадолиний (Gd), тербий (Tb), диспрозий (Dy), гольмий (Ho), эрбий (Er), тулий (Tm), иттербий (Ib), лютеций (Lu), иттрий (Y) и скандий (Sc).

Цирконий. Россия располагает крупной МСБ циркония, достаточной для обеспечения внутренних потребностей страны: на 01.01.2022 на государственном балансе находились 12,4 млн т ZrO_2 . МСБ циркония России структурно и качественно отличается от зарубежной. На долю циркон-рутил-ильменитовых россыпных месторождений, с которыми за рубежом связано 80 % запасов и 95 % добычи, в России приходится 33 % запасов, заключенных в 10 месторождениях, но промышленностью они практически не освоены.

В то же время по выпуску циркониевого проката Россия — один из мировых лидеров, обеспечивающий около пятой части поставок на рынок. Для производства металлического циркония (в том числе ядерной чистоты), его сплавов и изделий из них отечественные предприятия импортируют циркониевый концентрат.

Основная часть российских запасов циркония (8,6 млн т ZrO_2 , 68,9 %) сосредоточена в 4 коренных месторождениях: 3 редкометалльного щелочно-гранитного типа (Улуг-Танзекское, Катугинское и Зашихинское месторождения) и одного карбонатитового (Ковдорское). Остальные запасы содержатся в погребенных прибрежно-морских россыпях (3,9 млн т ZrO_2).

За рубежом на коренные месторождения приходится всего 2 % запасов, и они не рассматриваются в качестве перспективных источников циркония. Кроме того, Улуг-Танзекское месторождение находится в труднодоступном районе (юго-восточная Тува). Комплексные руды (Ta, Nb, Zr, U, Ti, Fe, РЗМ) Катугинского и Улуг-Танзекского месторождений относятся к труднообогатимым [ВИМС-ЦНИГРИ, 2021].

В Мурманской области также учтены забалансовые запасы циркония в эвдиалитовых рудах участка Аллуайв Ловозерского месторождения. Хотя в лабораторных условиях были разработаны различные варианты технологических схем их переработки, промышленная технология обогащения и передела такого сырья пока отсутствует [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022].

В качестве первоочередных к освоению россыпных объектов на территории России можно выделить следующие: Туганское, Томская область, Лукояновское, Нижегородская область и Бешпагирское, Ставропольский край.

Запасы **Туганского месторождения** составляют около 1 млн т ZrO_2 . Уже в настоящее время комбинат производит 3,7 тыс. т циркониевого концентрата, а после вывода ГОКа на полную мощность к 2029 г. он сможет ежегодно выпускать 44,2 тыс. т. Учитывая, что видимое потребление циркониевого концентрата в России составляет 9,9–11,6 тыс. т/год, это позволит полностью обеспечить потребности страны и возможность экспорта как концентратов, так и изделий из циркония на протяжении более чем 20 лет.

Лукояновское месторождение — богатейшее по содержанию диоксида циркония в России (13 кг/м^3) и второе в мире (после австралийской россыпи Атлас-буна Нарринг с содержанием $17,4 \text{ кг/м}^3$), представляет собой пространственно и структурно разобценные залежи, из которых только Итмановская россыпь детально разведана: запасы по категории $C_1 + C_2$ составляют 388,9 тыс. т при содержании диоксида циркония 13 кг/м^3 [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022]. Запасы диоксида гафния, содержащегося в цирконе, оценены в 6,3 тыс. т при содержании $0,2 \text{ кг/м}^3$. Также в составе россыпи присутствуют титановые минералы (ильменит, лейкоксен и рутил), запасы диоксида титана оценены

в 166,7 тыс. т при содержании $5,5 \text{ кг/м}^3$. Отличительная черта Итмановской россыпи – повышенное содержание хромита ($9,9 \text{ кг/м}^3$), запасы которого составляют 296,9 тыс. т. Глубина залегания рудного пласта изменяется от 0 до 20 м, при этом 40 % россыпи может быть отработана карьером, остальные запасы – с использованием метода скважинной гидродобычи (СГД) (рис. 4).

Вокруг Итмановской залежи на расстоянии от 15 до 40 км расположены другие россыпи Лукояновского месторождения, поисково-оценочные работы на которых позволили локализовать прогнозные ресурсы категории P_1 , которые при мощности промышленного пласта более 2 м составляют 678 тыс. т диоксида циркония [Быховский и др., 2010b], что существенно увеличивает срок жизнедеятельности возможного добывающего предприятия.

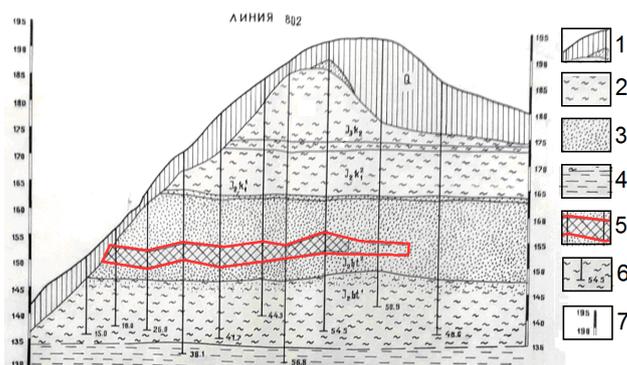


Рис. 4. Геологический разрез Итмановской россыпи Лукояновского титано-циркониевого месторождения [Осипов, 1985]. 1 – почвенно-растительный слой; 2 – глины; 3 – пески; 4 – алевриты; 5 – промышленный пласт; 6 – скважины (глубина, м); 7 – высотные отметки. Среднеюрские отложения: J_{2bt} – батский ярус; J_{2k} – келловейский ярус.

Перспективы обеспечения России циркониевым сырьем связаны также с запасами около 620 тыс. т ZrO_2 **Бешпагирского месторождения**, цирконовый концентрат которого (64,5 % ZrO_2) удовлетворяет требованиям для производства циркония, в том числе ядерной чистоты. Среднегодовое производство концентрата проектируется на уровне 15 тыс. т/год.

Таким образом, внутренние потребности России и экспортный потенциал по цирконию могут быть обеспечены в кратчайшие сроки и с минимальными затратами за счет россыпных месторождений.

РЗМ. Сырьевая база РЗМ России характеризуется высокой концентрацией: 46,3 % сосредоточено в девяти объектах Мурманской области. Из них около 24,9 % – в Ловозерском месторождении комплексных лопаритовых руд – единственном в России объекте, разрабатываемом на РЗМ. Остальные запасы региона заключены в апатит-нефелиновых рудах восьми месторождений Хибинской группы, основным компонентом которых является фосфор. РЗМ характеризуются низким содержанием (в среднем 0,34 % $\sum TR_2O_3$), в настоящее время не извлекаются и накапливаются в продуктах отвального комплекса.

В объектах Сибири и Дальнего Востока содержится 44,2 % запасов РЗМ страны, из которых основные запасы связаны с крупными месторождениями комплексных руд, в карбонатитах и развитых по ним корам выветривания (Томторском в Республике Саха-Якутия, Чуктуконском в Красноярском крае и Белозиминском в Иркутской области). Остальные запасы заключены в Селигдарском месторождении апатит-карбонатных метасоматитов, в комплексных редкометалльных метасоматических месторождениях по щелочным гранитам (Улуг-Танзекском в Республике Тыва и Зашихинском в Иркутской области; 3,9 %) и метаморфогенным породам зон тектонических нарушений (Катугинском в Забайкальском крае; 5,8 %), в рудах которых отмечаются высокие содержания иттрия и лантаноидов иттриевой группы. Еще 3,6 % запасов России связаны с нефтеносными лейкоксеновыми песчаниками Ярегского месторождения в Республике

Коми. Среднее содержание РЗМ в них составляет 0,04 %, промышленная технология их извлечения отсутствует [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022]. Значительная часть месторождений находится в удаленных труднодоступных районах.

Из подготавливаемых к освоению месторождений извлечение РЗМ в товарную продукцию предусмотрено только для Томторского и Зашихинского месторождений. Особенность Томторского месторождения в том, что его руда является природным концентратом, не требующим предварительного обогащения. Для него характерно совместное присутствие нескольких полезных минералов, нередко имеющих разные формы выделения, тесные срастания полезных минералов между собой и с пороодообразующими фазами. Этим определяется сложность технологии извлечения из руды всех ценных компонентов с получением продукции требуемого промышленностью качества. Проект требует весьма крупных капиталовложений. Сложные логистические решения, сложные технологические процессы, а также крайне неблагоприятное расположение объекта сильно повышают себестоимость конечной продукции. Негативным фактором также является радиоактивность руд, связанная с повышенным содержанием тория.

В настоящее время единственным действующим источником редкоземельных металлов (и значительной части редких) в России является Ловозерский горно-обогатительный комбинат, разрабатывающий месторождение лопарита Ловозерского массива — источника ниобия, тантала, редких земель и титана. В 2021 г. на фабрике было получено 7747 т лопаритового концентрата, содержащего в среднем 28–30 % оксидов РЗМ, 35–38 % TiO_2 , 7,5–8,0 % Nb_2O_5 , 0,5–0,8 % Ta_2O_5 [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022]. В настоящее время добыча ведется в сложных горно-геологических условиях при низкой рентабельности существующих разрезов. Горнотехническая авария и закрытие Умбозерского рудника существенно сократили потенциал развития месторождения.

Дополнительным источником редкоземельного сырья комбината могут служить разведанные россыпи лопарита, расположенные на северном обрамлении Ловозерского массива, а также техногенные отвалы — хвосты обогатительной фабрики Карнасурт.

Россыпные месторождения тесно связаны с гляциальными и флювиогляциальными отложениями местного горного оледенения. Содержание лопарита в них достигает в отдельных случаях 36 кг/м^3 , составляя в среднем по разным участкам $2,8\text{--}3,9 \text{ кг/м}^3$. Мощность продуктивного пласта составляет в среднем 20,7 м; залегание пласта приповерхностное — коэффициент вскрыши (отношение мощности перекрывающих «торфов» к мощности пласта) равен 0,5 [Лаломов и др., 2019].

Наиболее перспективным по совокупности параметров является Сергеванский участок Ревдинской россыпи. Он расположен в непосредственной близости вниз по долине от хвостохранилища ГОКа (рис. 5).



Рис. 5. Обзорная схема района обогатительной фабрики Ловозерского ГОКа и хвостохранилищ (на основе космоснимка, полученного из открытых источников — программа «Google Earth»).

Продуктивный пласт представлен песчано-гравийно-галечными отложениями с незначительным содержанием глинистых классов, что обуславливает хорошую промысловость отложений. Лопарит сосредоточен в классах 0,14–0,56 мм (64,3 % от общего содержания) [Лаломов и др., 2022b]. Проведенные минералого-технологические исследования показали, что руды Сергеваньского участка могут обогащаться по гравитационно-магнитной схеме, что позволит получить промышленный лопаритовый концентрат для редкометалльной промышленности [Левченко и др., 2023].

Учитывая текущую годовую производительность Ловозерского ГОКа по производству лопаритового концентрата, отработка только одного Сергеваньского участка способна обеспечить поставки лопаритового концентрата на протяжении 68 лет. При этом отработка россыпи не потребует значительных и долговременных финансовых вложений, концентрат может быть получен уже к концу первого года после начала отработки, а технологическая схема не потребует дорогостоящей и энергозатратной операции дробления.

Вторым альтернативным источником обеспечения сырьевой базы Ловозерского ГОКа могут служить накопленные хвосты обогатительной фабрики Карнасурт. Хвосты обогащения руд вызывают в последнее время значительный интерес горнодобывающих компаний. Так, по оценке специалистов ЮАР, переработка хвостов на 90 % более энергоэффективна и на 90 % менее капиталоемка, чем запуск основного рудника, не говоря уже о более коротком цикле получения разрешений [Золотодобыча, 2023].

Содержание лопарита в хвостах фабрики (Карнасурт-1 и Карнасурт-2) оценено как на основе расчета по содержанию лопарита в перерабатываемых рудах и потерях при обогащении, так и по данным точечного опробования (пробы К-1 и К-2). Эти методы дали хорошую сходимость результатов на уровне 0,58–0,77 %. Минералого-технологическое исследование малых технологических проб показало, что лопарит в хвостах обогащения присутствует в виде как обломков крупных зерен, так и мелких идиоморфных кристаллов. Основная масса лопарита находится в гравитационно-обогащаемых классах. Структура хвостохранилища неоднородная, она определяется перераспределением тяжелой фракции за счет природно-техногенных процессов и имеет преимущественно концентрическую форму, что должно учитываться при постановке оценочных работ.

Учитывая содержание полезных компонентов в отработываемых рудах и извлечение лопарита в концентрат, можно предположить валовое содержание в образованных отвалах. Эта расчетная оценка валового содержания близка к результатам минералого-технологического опробования (табл. 3). Запасы лопарита в хвостах обогащения ГОКа сопоставимы с производительностью комбината за период 15–20 лет.

Таким образом, лопаритовые россыпи Ловозерского массива и хвосты обогатительной фабрики ГОКа могут служить альтернативным или дополнительным источником редкометалльного сырья, способного обеспечить потребности нашей страны на протяжении десятков лет. Они могут быть вовлечены в эксплуатацию в кратчайшие сроки и с минимальными затратами, что дает им преимущества по сравнению с коренными объектами.

Таблица 3. Содержание лопарита и основных компонентов в отложениях хвостохранилищ по данным расчета и точечного опробования (в % от исходной пробы)

	Лопарит	Nb ₂ O ₅ ,	Ta ₂ O ₅	∑TR ₂ O ₃
Карнасурт-1 (расчётное)	0,77	0,07	0,005	0,25
Карнасурт-2 (расчётное)	0,64	0,058	0,004	0,21
К-1 МТП РФА*	0,58	0,079	0,005	0,33
К-2 МТП РФА*	0,77	0,081	0,005	0,34

* Минералого-технологическая проба, проанализированная РФА.

5. Алмазы

По состоянию на 01.01.2022 балансовые запасы алмазов России составляют 1 018,9 млн карат, которые заключены в 65 месторождениях (20 коренных и 45 россыпных). Основу отечественной сырьевой базы алмазов составляют коренные кимберлитовые месторождения, заключающие 93,2 % запасов страны и обеспечивающие 89 % добычи. Соответственно, россыпные объекты вмещают 6,8 % запасов алмазов и обеспечивают 11 % добычи в объемном выражении. Здесь надо учитывать, что россыпные алмазы обладают более высоким качеством, чем коренные в силу разрушения некачественных (немонокристных) зерен при выветривании. Следствие этого — их более высокая рыночная цена. Так, средняя цена российских алмазов (преимущественно, коренных) — 67,6 долл./кар., а алмазов в прибрежно-морских россыпях Намибии — 466,6 долл./кар. [ВИМС-ЦНИГРИ, 2022]. Средняя цена россыпных алмазов Урала в месторождениях Вишерского района составляет 450–500 \$ US/карат [Чуйко и др., 2023]. Таким образом, значение россыпных алмазов в стоимостном отношении (особенно, в классе ювелирных камней) значительно выше, чем в объемном.

Россыпи алмазов расположены, преимущественно, на территории Республики Саха (Якутия), наиболее крупные — Нюрбинская и р. Эбелях являются уникальными по запасам и содержанию алмазов.

Добыча алмазов из россыпей Урала, продолжавшаяся почти два столетия, была приостановлена в 2005 г. из-за истощения имеющихся россыпей. С открытием на Западном Урале (Пермский край) и постановкой на баланс Сюезовской глубокозалегающей россыпи, относящейся к типу россыпей погребенных грабен-долин, открываются перспективы возобновления россыпной добычи на Урале. Более 90 % алмазов россыпи имеют ювелирное качество, средняя стоимость алмазов россыпи 361,59 \$ US/карат [Чуйко и др., 2023].

6. Заключение

Выполненный анализ (табл. 1) показал, что практически по всем компонентам доля россыпей в балансе добычи превышает их долю в балансе запасов. Из этого следует, что, несмотря на валовое преобладание в балансе запасов коренных месторождений, востребованность россыпей в горнодобывающей промышленности — весьма высокая. Это объясняется следующими факторами:

- относительно неглубокое залегание промышленного пласта (десятки метров), позволяющее проводить отработку открытым карьером; для глубокозалегающих россыпей возможно применение метода СГД, который по эффективности сопоставим с открытой отработкой;
- технологическая простота процессов обогащения, не требующая сложных технологий (преимущественно гравитационное обогащение);
- энергетическая эффективность процессов обогащения, исключая дробление материала, на которое уходит 50 % энергетических затрат при разработке коренных месторождений;
- быстрое (часто в течение одного сезона) начало отдачи средств, вложенных в добычу россыпей.

Отработка россыпных месторождений не просто экономически выгодна, в ряде случаев она дает возможность в кратчайшие сроки и с минимальными затратами решить для нашей страны проблему импортозамещения и обеспечения воспроизводства МСБ дефицитных видов стратегического минерального сырья. Это особенно актуально в настоящее время, когда России трудно рассчитывать на международное кредитование горнодобывающей промышленности, а импорт сырья имеет высокие логистические риски.

Как показывает многолетний опыт СССР по вводу в строй и эксплуатацию россыпных месторождений золота и олова, а также рассмотренные выше примеры Тирехтяхского прииска и Туганского ГОКа, быстрыми темпами самообеспечение по ряду

импортозависимых видов стратегического минерального сырья (Sn, Ti, Zr, Nb, Ta, REE) может быть достигнуто за счет освоения россыпных месторождений.

Выполненный в статье анализ (в плане импортозамещения) для первоочередного освоения позволяет рекомендовать следующие объекты: Sn — Тирехтяхская, Чокурдахская и Валькумейская россыпи (Якутия и Чукотка); Nb, Ta, Ti, REE — лопаритовые россыпи Ревдинской группы и техногенные отложения в хвостохранилищах Ловозерского ГОКа (Кольский полуостров); Ti и Zr — Туганское и Бешпагирское месторождения, Итмановский участок Лукояновского россыпного месторождения (Zr).

Благодарность. Исследования выполнены при финансовой поддержке Гос. задания ИГЕМ РАН.

Список литературы

- Бортников Н. С., Волков А. В., Галямов А. Л. *и др.* Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России // Геология рудных месторождений. — 2022. — Т. 64, № 6. — С. 617–633. — DOI: [10.31857/S0016777022060028](https://doi.org/10.31857/S0016777022060028).
- Быховский Л. З., Васильев А. Т., Забирко А. Г. О проекте освоения Бешпагирского комплексного россыпного редкометалльно-титанового месторождения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2010а. — № 1. — С. 68–75. — EDN: [LBDHEN](https://elibrary.ru/lbdhen).
- 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. — EDN: [RMXKHF](https://elibrary.ru/rmxkhf).
- Быховский Л. З., Тигунов Л. П., Емельянов С. А. Разработка технико-экономического обоснования постоянных кондиций, подсчет запасов титано-циркониевых песков Итмановской россыпи Лукояновского м-ния в Нижегородской области (по состоянию на 01.06.2010 г.) — 2010б. — URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=38901377e029066333bc9b71d1aaa71a>.
- ВИМС-ЦНИГРИ. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году». — 2021.
- ВИМС-ЦНИГРИ. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году». — 2022.
- ВИМС-Минерал-Инфо. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». — 2018.
- Волков А. В., Галямов А. Л., Лаломов А. В. *и др.* Металлоносные конгломераты - потенциальные источники россыпей в арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11, № 2. — С. 232–243. — DOI: [10.25283/2223-4594-2021-2-232-243](https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-232-243).
- Золотодобыча. Из хвостохранилищ золотодобывающих предприятий в ЮАР можно извлечь почти 1000 тонн золота. — 2023. — URL: <https://zolotodb.ru/article/13040> (дата обр. 03.10.2023).
- Лаломов А. В., Владимирцева О. В., Бочнева А. А. Роль россыпных месторождений в золотодобывающей промышленности России // Золото и технологии. — 2022а. — № 4 (58). — С. 36–44.
- Лаломов А. В., Григорьева А. В., Бочнева А. А. *и др.* Редкометалльные россыпи Ловозерского массива // Разведка и охрана недр. — 2019. — № 1. — С. 51–56. — EDN: [YZANOP](https://elibrary.ru/yzanop).
- Лаломов А. В., Григорьева А. В., Зайцев В. А. Минеральный состав редкометалльных россыпей Ловозерского массива // Геология рудных месторождений. — 2022б. — № 5. — С. 485–497. — DOI: [10.31857/S0016777022050069](https://doi.org/10.31857/S0016777022050069).
- Левченко Е. Н., Григорьева А. В. Типоморфные и технологические особенности попутного золота в комплексных россыпных месторождениях // Обогащение руд. — 2021. — № 3. — С. 24–32. — DOI: [10.17580/or.2021.03.05](https://doi.org/10.17580/or.2021.03.05).
- Левченко Е. Н., Лаломов А. В., Григорьева А. В. *и др.* Минералого-технологическое исследование Лопаритовых россыпей Ловозерского массива // Обогащение руд. — 2023. — № 1. — С. 29–37. — DOI: [10.17580/or.2023.01.05](https://doi.org/10.17580/or.2023.01.05).
- МПП России. Методические рекомендации по применению классификации запасов твердых полезных ископаемых к россыпным месторождениям (введены в действие Приказом МПП России от 04.07.2000 № 169). — 2000. — URL: http://www.gkz-rf.ru/sites/default/files/docs/tpi_rossypnye_mestorozhdeniya.doc.
- Осипов А. П. Отчет о поисково-оценочных работах в пределах центральной части Лукояновского титано-циркониевого м-ния (Итмановская залежь) в Лукояновском р-не Горьковской обл., выполненных Лукояновской ГПП в 1982–85 гг. — Горький, 1985. — URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=1c7e4795ef9e883d4fc8da6c8770cbee>.
- Павловский А. Б. Оловянные руды // Большая Российская энциклопедия. — 2014. — Т. 24.

- Росгеолфонд. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2022 года. Выпуск 14. Олово. — 2022.
- 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. — EDN: [JWIPPF](#).
- Спорыхина Л. В., Патык-Кара Н. Г. Россыпи олова // Россыпные месторождения России и других стран СНГ. — Москва : Научный мир, 1997. — С. 165–206.
- Чуйко В. А., Синкин В. А., Наумов В. А. *и др.* Сюзёвское месторождение россыпных алмазов: новый этап изучения алмазоносности Западного Урала // Литосфера. — 2023. — Т. 23, № 4. — С. 701–713. — DOI: [10.24930/1681-9004-2023-23-4-701-713](#).
- Charlier B., Duchesne J.-C., Vander Auwera J. Magma chamber processes in the Tellnes ilmenite deposit (Rogaland Anorthosite Province, SW Norway) and the formation of Fe–Ti ores in massif-type anorthosites // Chemical Geology. — 2006. — Vol. 234, no. 3/4. — P. 264–290. — DOI: [10.1016/j.chemgeo.2006.05.007](#).
- Charlier B., Namur O., Bolle O., *et al.* Fe–Ti–V–P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks // Earth-Science Reviews. — 2015. — Vol. 141. — P. 56–81. — DOI: [10.1016/j.earscirev.2014.11.005](#).
- Charlier B., Namur O., Malpas S., *et al.* Origin of the giant Allard Lake ilmenite ore deposit (Canada) by fractional crystallization, multiple magma pulses and mixing // Lithos. — 2010. — Vol. 117, no. 1–4. — P. 119–134. — DOI: [10.1016/j.lithos.2010.02.009](#).
- Kamilli R. J., Kimball B. E., Carlin J. F. Critical mineral resources of the United States—Economic and environmental geology and prospects for future supply / ed. by K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, *et al.* — US Geological Survey Professional Paper, 2017. — DOI: [10.3133/pp1802S](#).
- Suiekpayev Y. S., Sapargaliyev Y. M., Dolgopolova A. V., *et al.* Mineralogy, geochemistry and U–Pb zircon age of the Karaotkel Ti–Zr placer deposit, Eastern Kazakhstan and its genetic link to the Karaotkel–Preobrazhenka intrusion // Ore Geology Reviews. — 2021. — Vol. 131. — P. 104015. — DOI: [10.1016/j.oregeorev.2021.104015](#).
- U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2020. — 2020. — DOI: [10.3133/mcs2020](#).

THE ROLE OF PLACER DEPOSITS IN ENSURING THE REPRODUCTION OF THE MINERAL RESOURCE BASE OF SCARCE TYPES OF STRATEGIC MINERAL RAW MATERIALS IN RUSSIA AT THE PRESENT STAGE

N. S. Bortnikov¹, A. V. Volkov¹ , A. V. Lalomov¹ , A. A. Bochneva¹ , Y. N. Ivanova^{1,2} , D. A. Lalomov³ 

¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Science, Moscow, Russia

²RUDN University, Moscow, Russia

³Geodevice Technologies Ltd., St.Petersburg, Russia

****Correspondence to:** Alexander Lalomov, lalomov@mail.ru

Placer deposits had (and for a number of components still have) an important role in providing strategic types of mineral resource base for both Russia and the world as a whole. Placers have a number of advantages that make them in demand by the mining industry: relatively shallow (often accessible for open-pit mining) occurrence, disintegrated state of productive deposits, simplicity of enrichment processes (mainly gravitational systems), as well as the possibility of rapid involvement in exploitation, which significantly reduces payback period for investments. All this is even more relevant for modern Russia, when, in the shortest possible time, in conditions of a shortage of credit resources, it is necessary to implement a program of import substitution and provide the country with scarce types of strategic mineral raw materials, such as gold, platinum group metals, tin, rare metals, titanium, chromium, diamonds.

Keywords: strategic metals, placer deposits, gold, tin, titanium, rare metals, diamonds.

Citation: Bortnikov N. S., Volkov A. V., Lalomov A. V., Bochneva A. A., Ivanova Y. N., Lalomov D. A. (2024), The Role of Placer Deposits in Ensuring the Reproduction of the Mineral Resource Base of Scarce Types of Strategic Mineral Raw Materials in Russia at the Present Stage, *Russian Journal of Earth Sciences*, 24, ES1012, <https://doi.org/10.2205/2024es000897>

Received: 15 October 2023

Accepted: 15 January 2024

Published: 29 February 2024



© 2024. The Authors.

References

- Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galyamov A. L., *et al.* Fundamental problems of development of the mineral resource base of high-tech industry and energy in Russia // *Geology of ore deposits*. — 2022. — Vol. 64, no. 6. — P. 617–633. — DOI: [10.31857/S0016777022060028](https://doi.org/10.31857/S0016777022060028).
- Bykhovsky L. Z., Sporykhina L. V. Placer deposits in the resource base and mineral mining // *Mineral resources of Russia. Economics and Management*. — 2013. — No. 6. — P. 6–17. — EDN: [RMAXKHF](https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=38901377e029066333bc9b71d1aaa71a).
- Bykhovsky L. Z., Tiginov L. P., Emelyanov S. A. Development of a feasibility study of permanent conditions, calculation of reserves of titanium-zirconium sands of the Itmanovskaya placer of the Lukoyanovsky deposit in the Nizhny Novgorod region (as of 06/01/2010). — 2010a. — URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=38901377e029066333bc9b71d1aaa71a>.
- Bykhovsky L. Z., Vasilyev A. T., Zibirko A. G. On the development project for the Beshpagirskoye complex rare metal-titanium placer deposit // *Mineral resources of Russia. Economics and Management*. — 2010b. — No. 1. — P. 68–75. — EDN: [LBDHEN](https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=38901377e029066333bc9b71d1aaa71a).

- Charlier B., Duchesne J.-C., Vander Auwera J. Magma chamber processes in the Tellnes ilmenite deposit (Rogaland Anorthosite Province, SW Norway) and the formation of Fe–Ti ores in massif-type anorthosites // *Chemical Geology*. — 2006. — Vol. 234, no. 3/4. — P. 264–290. — DOI: [10.1016/j.chemgeo.2006.05.007](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.05.007).
- Charlier B., Namur O., Bolle O., *et al.* Fe–Ti–V–P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks // *Earth-Science Reviews*. — 2015. — Vol. 141. — P. 56–81. — DOI: [10.1016/j.earscirev.2014.11.005](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.11.005).
- Charlier B., Namur O., Malpas S., *et al.* Origin of the giant Allard Lake ilmenite ore deposit (Canada) by fractional crystallization, multiple magma pulses and mixing // *Lithos*. — 2010. — Vol. 117, no. 1–4. — P. 119–134. — DOI: [10.1016/j.lithos.2010.02.009](https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.02.009).
- Chuiko V. A., Sinkin V. A., Naumov V. A., *et al.* Syuzevskoye diamond placer: A new stage in studying the diamond potential of Western Urals // *Lithosphere*. — 2023. — Vol. 23, no. 4. — P. 701–713. — DOI: [10.24930/1681-9004-2023-23-4-701-713](https://doi.org/10.24930/1681-9004-2023-23-4-701-713).
- Kamilli R. J., Kimball B. E., Carlin J. F. Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply / ed. by K. J. Schulz, J. H. DeYoung, R. R. Seal, *et al.* — US Geological Survey Professional Paper, 2017. — DOI: [10.3133/pp1802S](https://doi.org/10.3133/pp1802S).
- Lalomov A. V., Grigoreva A. V., Bochnerova A. A., *et al.* Rare metal placer deposits of the Lovozero massif // *Exploration and protection of subsoil*. — 2019. — No. 1. — P. 51–56. — EDN: [YZANOP](https://www.edn.ru/yzanop).
- Lalomov A. V., Grigoreva A. V., Zajczew V. A. Mineral composition of rare metal placers of the Lovozero massif // *Geology of ore deposits*. — 2022a. — No. 5. — P. 485–497. — DOI: [10.31857/S0016777022050069](https://doi.org/10.31857/S0016777022050069).
- Lalomov A. V., Vladimirczeva O. V., Bochnerova A. A. The role of alluvial deposits in the Russian gold mining industry // *Gold and technology*. — 2022b. — 4 (58). — P. 36–44.
- Levchenko E. N., Grigoreva A. V. Typomorphic and process-related features of associated gold in complex placer deposits // *Ore beneficiation*. — 2021. — No. 3. — P. 24–32. — DOI: [10.17580/or.2021.03.05](https://doi.org/10.17580/or.2021.03.05).
- Levchenko E. N., Lalomov A. V., Grigor'eva A. V., *et al.* Mineralogical and processing study of loparite placers of the Lovozero massif // *Ore beneficiation*. — 2023. — No. 1. — P. 29–37. — DOI: [10.17580/or.2023.01.05](https://doi.org/10.17580/or.2023.01.05).
- MPR Rossii. Methodological recommendations for applying the classification of reserves of solid minerals to alluvial deposits (put into effect by Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated July 4, 2000 No. 169). — 2000. — URL: http://www.gkz-rf.ru/sites/default/files/docs/tpi_rossypnye_mestorozhdeniya.doc.
- Osipov A. P. Report on prospecting and assessment work within the central part of the Lukoyanovsky titanium-zirconium deposit (Itmanovskaya deposit) in the Lukoyanovsky district of the Gorky region, carried out by the Lukoyanovsky State Enterprise in 1982–85. — Gorkii, 1985. — URL: <https://www.rfgf.ru/catalog/docview.php?did=1c7e4795ef9e883d4fc8da6c8770cbee>.
- Pavlovskii A. B. Tin ores // *Great Russian Encyclopedia*. — 2014. — Vol. 24.
- Rosgeolfond. State balance of mineral reserves of the Russian Federation as of January 1, 2022. Issue 14. Tin. — 2022.
- Smirnov A. N., Ushakov V. I., Kryukov V. D. A reserve of the tin resource base in the shelf areas of the Russian Arctic seas // *Mineral resources of Russia. Economics and Management*. — 2008. — No. 6. — P. 15–21. — EDN: [JWIPPF](https://www.edn.ru/jwippf).
- Sporykhina L. V., Patyk-Kara N. G. Placers of tin // *Placer deposits in Russia and other CIS countries*. — Moscow : Nauchnyi mir, 1997. — P. 165–206.
- Suekpayev Y. S., Sapargaliyev Y. M., Dolgopolova A. V., *et al.* Mineralogy, geochemistry and U–Pb zircon age of the Karaotkel Ti–Zr placer deposit, Eastern Kazakhstan and its genetic link to the Karaotkel–Preobrazhenka intrusion // *Ore Geology Reviews*. — 2021. — Vol. 131. — P. 104015. — DOI: [10.1016/j.oregeorev.2021.104015](https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104015).
- U.S. Geological Survey. Mineral commodity summaries 2020. — 2020. — DOI: [10.3133/mcs2020](https://doi.org/10.3133/mcs2020).
- VIMS-CZNIGRI. State report “On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020”. — 2021.
- VIMS-CZNIGRI. State report “On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2021”. — 2022.
- VIMS–Mineral-Info. State report “On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2016 and 2017”. — 2018.
- Volkov A. V., Galyamov A. L., Lalomov A. V., *et al.* Metalliferous conglomerates — potential sources of placers in the Arctic zone of Russia // *Arctic: ecology and economics*. — 2021. — Vol. 11, no. 2. — P. 232–243. — DOI: [10.25283/2223-4594-2021-2-232-243](https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-2-232-243).
- Zolotodobycha. Nearly 1000 tonnes of gold could be recovered from gold mining tailings in South Africa. — 2023. — URL: <https://zolotodb.ru/article/13040> (visited on 10/03/2023).