

Л. И. ГУРСКАЯ (ВСЕГЕИ), О. Н. СНЕЖКО,
С. П. ВАСИЛЬЕВ (МФ ВСЕГЕИ), А. В. МОЛЧАНОВ (ВСЕГЕИ)

Техногенные месторождения платиновых металлов — новый источник ценного промышленного сырья

Проведен анализ особенностей проявления и перспектив освоения техногенных месторождений (ТМ) платиновых металлов РФ, представляющих собой новый источник промышленного сырья. Рассмотрены коренные объекты, продуцирующие ТМ, и показана их потенциальная возможность образования горнотехнических отходов.

Ключевые слова: *техногенные месторождения, металлы платиновой группы, источник промышленного сырья, Россия.*

L. I. GURSKAYA (VSEGEI), O. N. SNEZHKO,
S. P. VASILIEV (Moscow branch VSEGEI), A. V. MOLCHANOV (VSEGEI)

Technogenic deposits of platinum group metals — a new source of valuable industrial commodities

Manifestation features and development prospects of technogenic deposits (TD) of platinum group metals in the RF, representing a new source of industrial commodities, are analyzed. Primary targets producing TD are considered and their potential for technical mining waste formation is shown.

Keywords: *technogenic deposits, platinum group metals, industrial commodities source, Russia.*

Повышенный интерес к металлам платиновой группы (платине, палладию, родию, иридию, осмию, рутению) связан с их интенсивным использованием не только во многих отраслях промышленности, но также в валютно-залоговых и хозяйственных сферах. В настоящее время платиноиды получили статус строго фондируемого валютного и стратегического сырья, обеспечивающего национальные интересы Российской Федерации. Спрос на эти ценные металлы ведет к резкому повышению их добычи. И сейчас, несмотря на то что Россия является крупнейшим поставщиком металлов платиновой группы (МПГ) на мировой рынок (уступая лидерство лишь ЮАР), в нашей стране не удастся достичь воспроизводства их минерально-сырьевой базы: добыча платиноидов в России превышает суммарный прирост запасов почти в полтора раза [6, 16]. В таких условиях происходит постепенное сокращение запасов МПГ и становится актуальной проблема освоения новых месторождений, в первую очередь техногенных, что поможет решать не только ресурсные, но и экологические задачи [1, 5].

По существу это первая работа, где по единой схеме охарактеризованы важнейшие промышленные и перспективные платиноносные объекты и их техногенные образования. В результате проведенного анализа выделены наиболее важные типы руд, принимающих участие в формировании ТМ.

Структура ТМ включает комплекс продуктов горного (отвалы), обогащательного (хвостохрани-

лища) и металлургического (шлаки, огарки) производства. Особо ценны тяжелые хвосты шлюхообогащательных установок как концентраты платиновых металлов [22].

Изучение геологических обстановок размещения платиносодержащих ТМ в различных регионах РФ позволило нам провести оценку современного состояния освоенности этих месторождений и осуществить их классификацию по степени перспективности.

Выделенные ТМ можно подразделить на три группы: **I.** Высокоресурсные промышленные объекты с балансовыми запасами (№ 1–5); **II.** Потенциально промышленные (№ 6–9) на территориях действующих предприятий с неоцененными запасами МПГ; **III.** Перспективные (№ 10–14). Детальная характеристика этих объектов с оценкой их значимости может оказать существенную помощь в поэтапном планировании оценочных и поисково-оценочных работ (табл. 1, 2).

Определяющее промышленное значение имеют ТМ **I группы**. Они развиты на территориях Норильского, Камчатского, Уральского, Алданского и Корякского рудных районов (рис. 1).

Норильский район. Техногенные образования этого района связаны с эксплуатацией магматических месторождений сульфидных медно-никелевых руд, ассоциирующих с габбро-долеритовыми интрузиями трапповой формации Сибири, которые проявились в пермо-триасовое время на территории Тунгусской синеклизы. Из известных здесь месторождений

разрабатываются три — Октябрьское, Талнахское, Норильск-1, которые отличаются значительным содержанием цветных (Ni, Cu, Co), благородных (МПГ, Au, Ag) и редких (Te, Se, Bi) металлов [8]. При переработке руд норильских месторождений получают отдельно никелевый и медный шламы с последующим выделением Pt-Pd-Au и Os-Ir-Ru-Ag-Pd концентратов, Те цементата и растворов на извлечение Se-Os ассоциации (рис. 2).

За многие десятки лет эксплуатации месторождений Норильского района накопилось значительное количество отходов производства. Запасы и прогнозные ресурсы МПГ составляют в них сотни тонн [8]. Наиболее крупным ТМ является хвостохранилище Норильской обогатительной фабрики (пл. 6 км²), где при средних содержаниях Pt 0,14 (до 2), Pd 1,27 г/т (до 5,5) и других металлов платиновой группы (Rh — 0,2, Ir — 0,04, Os — 0,05) можно получить богатый концентрат, пригодный для введения в технологическую цепочку Норильского горно-металлургического комбината [20]. Хвостохранилище Норильской ОФ сложено плохоотсортированными осадками — глинами, суглинками, супесями и песками с прослоями льда. Распределение платиноидов довольно равномерное с некоторым их увеличением на нижних горизонтах годовых циклов. Большая часть платиноидов находится в минералогической форме с размером зерен до 140 мкм.

Основными минералами платиновых металлов являются соединения платины с железом, серой, мышьяком — изоферроплатина Pt₃Fe, бреггит PtS, сперилит PtAs₂, а палладия с оловом, свинцом, висмутом, теллуром — атоцит Pd₃Sn, таймырит (PdCu)₃Sn, звягинцевит Pd₃Pb, соболевскит Pd(BeTi) и др. Большая их часть образует мономинеральные выделения, иногда сростки с сульфидами или магнетитом.

Гравитационное обогащение лежалых хвостов позволяет получить здесь концентрат, содержащий (в г/т): Pt 22,1, Pd 33,5, Rh 2,0, а также 2,07 % Ni при извлекаемости 65, 56, 44 и 28 % [7].

В процессе эксплуатации Талнахского месторождения сформировались одно магнетитовое и два пирротитовых хранилища. Пирротитовые хранилища (пл. 0,4 и 1,1 км²) с высокими содержаниями ценных металлов: МПГ до 10, Au 0,3, Ag 5 г/т, Ni 1,5–3, Cu 2, Co 0,1 %, представляют собой богатое резервное сырье [12].

В хранилище магнетитовых концентратов, сформированном еще в 1975 г., количество МПГ достигает 26 г/т. В этой связи ресурсы благородных металлов (золото + МПГ), например на шлаковом хранилище Никелевого завода, можно оценить в десятки тонн [12].

Реки и ручьи, дренирующие отвальные хвосты норильских предприятий, формируют аллювиально-техногенные россыпи. Суммарные запасы платиновых металлов по рекам Щучья и Наледная, по ручьям Угольный и Медвежий, а также по оз. Барьерное составляют более 3 т. Состав МПГ техногенных россыпей существенно платиновый (в отличие от коренных руд, где преобладает палладий). Платиноиды присутствуют в собственной минералогической форме, наследуя их состав в хвостохранилищах: преобладают ферроплатина, станиды палладия, самородные фазы (размером 3–30 мкм).

В настоящее время отрабатывается техногенная россыпь по р. Щучья (ГК «Рутений»), в верховьях

которой находятся хвосты Норильской ОФ с содержаниями МПГ 1,8, Au 0,28 г/т. Общие запасы данной россыпи составляют 950 кг МПГ и 65 кг Au [17]. Начата отработка и донных осадков оз. Барьерное.

Камчатский район. Техногенные образования Камчатки связаны с разработкой сульфидных платиносодержащих медно-никелевых месторождений. Никеленосные интрузии раннемелового возраста, относящиеся к глубинной норит-кортландитовой формации базитов, распространены в краевых частях Камчатского срединного массива. На разрабатываемом месторождении Шануч рудные тела приурочены к амфиболитам, которые большинство исследователей рассматривают как продукты метасоматических преобразований роговообманковых пород, развитых в зоне перехода континент — океан [9].

Модель формирования месторождений шанучского типа предусматривает ликвационно-магматическую и гидротермально-метасоматическую стадии. Наличие в никеленосных массивах значительного количества роговой обманки и апатита свидетельствует о значительной обогащенности рудоносной магмы водой и фосфором. Присутствие в сульфидных рудах амфибола, наряду с графитом и карбидами, указывает на высокое давление воды во флюиде. Обогащенность магмы водой и серой в условиях значительной глубины формирования и наличие восстановленных флюидов способствовали высокому уровню экстракции никеля серой. Таким образом, специфика термодинамических условий формирования руд шанучского типа заключается в повышенной глубинности (6–8 кбар), низкой фугитивности кислорода (10–20 атм) и высокой серы, что и привело к формированию богатых никелем сульфидных руд.

Месторождения этого района относятся к классу мелких с богатыми рудами (среднее содержание МПГ до 19 г/т при Pt/Pd = 2–4/1), подлежащими металлургическому переделу без предварительного обогащения.

На месторождении Шануч (0,6 км²), где развиты сплошные, гнездово-прожилковые и вкрапленные сульфидные руды, содержания полезных металлов достигают значительных величин: никеля 5,1 (до 11), меди 0,7 (до 4,8), кобальта 0,16 % (1,5), благородных металлов (в г/т): Pt 0,52 (до 13), Pd 0,30 (до 6), Au 0,26 (до 5,8). Это месторождение в значительной степени уже отработано, но на его базе оконтурены площади, содержащие техногенные руды, подготавливаемые сейчас к освоению.

Оценивая дальнейшие перспективы руд данного типа, следует учитывать перспективные площади Квинумской, Кувалорогской и Пеницкой зон Камчатского региона.

Уральский район (нижнетагильский тип). В результате 200-летней отработки россыпных месторождений Платиноносного пояса Урала сформировались уникальные по запасам и содержаниям МПГ техногенные россыпи. Большая их часть сконцентрирована в Нижнетагильском районе Среднего Урала (Свердловская область).

Плиоцен-четвертичные уральские россыпи, продуцирующие техногенные продукты, тяготеют к современной речной сети, наследующей более древние мезозойские эрозионные депрессии.

Ведущий металл уральских россыпей — платина, второстепенные — иридий и осмий. В техногенных россыпях преобладает изоферроплатина,

Характеристика платиноносных объектов, продуцирующих техногенные месторождения

Техноген- ный объект	Провинция, рудный район	Месторождение	Геолого-промышленный тип руд	Ведущие металлы МПГ	
1	2	3	4	5	
Промышленные место					
Pt-1	Норильский	Норильск-1 Талнах Октябрьское	Сульфидный медно-никелевый (норильский тип)	Pd, Pt Pt:Pd = 1:3,5	
Pt-2	Камчатский	Шануч	Сульфидный медно-никелевый (шанучский тип)	Pt (Pd) Pt:Pd = 4:1	
Pt-3	Уральская	Нижнетагильское	Платинометалльный зональных ультрамафитовых интрузий (нижне- тагильский тип)	Pt (Ir, Os) Pt (90%)	
Pt-4	Алданский	Кондер Инагли	Платинометалльный зональных ультрамафитовых щелочных интрузий (алданский тип)	Pt, Ir (Pd, Rh)	
Pt-5	Корякский	Сейнав-Гальмознанская группа	Платинометалльный зональных ультрамафитовых интрузий (коряк- ский тип)	Pt, Ir, (Os)	
Потенциально промышленные					
Pt-6	Печенгский	Ждановское Котсельваара-Камми- киви	Сульфидный медно-никелевый (печенгский тип)	Pd, Pt Pt:Pd = 1:2	
Pt-7	Мончегор- ский	Нитис Кумужья Травяная (НКТ) Сопча	Сульфидный медно-никелевый (мончегорский тип)	Pd, Pt Pt:Pd = 1:5	
Pt-8	Качканар- ский	Качканар Волковское	Оксидно-сульфидный платиносо- державший (волковский тип)	Pd (90 % и более)	
Pt-9	Уфалейский	Уфалейское Серовское	Силикатно-никелевый в корях выветривания ультрамафитов (уфа- лейский тип)	Pt, Pd Ru, Ir, Os	
Перспективные место					
Pt-10	Федорово- Панский	Федорово-Тундровское Киевей Чуарвы	Малосульфидный платинометалль- ный (тип расслоенных интрузий)	Pd, Pt Pt:Pd = 1:3	
Pt-11	Бураковский	Аганозерское Шалозерское	То же	Pd, Pt (Ir, Os, Ru)	
Pt-12	Полярно- уральский	Рай-Из Сыум-Кей Войкарский	Хромитовый ультрамафитовый (райизский тип)	Pt, (Pd) Ir, Os, Ru	
Pt-13	Онежский	Средняя Падма	Черносланцевый полиметалльный (онежский тип)	Pd, Pt	
Pt-14	Сухоложский	Сухой Лог Олимпиада	Черносланцевый платиноидно-зо- лоторудный (сухоложский тип)	Au, Pt, Pd	

Таблица 1

платиновых металлов		
Распределение металлов платиновой группы в рудах	Потенциальная возможность образования ТМ	
6	7	
рождения		
Pt и Pd концентрируются в сульфидах Ni и Cu, образуя собственные минералы — соединения с S, Te, Bi, Sn, As	Высокая	
Платиноиды накапливаются в сульфидах Fe и Ni	»	
Ассоциация Fe-Pt минералов связана с дунитами, Ir-Os минералов с хромитами	»	
Хромитоносные дуниты, обогащенные платиноидами, являются источником промышленных Ir-Pt россыпей	»	
Рудная минерализация включает широкий спектр минералов Fe-Pt, Ir, Os, распространенных в дунитах	»	
месторождения		
Главные концентраторы минералов Pd и Pt (соединений с S, As) — сульфиды Ni и Cu сплошных и брекчиевых руд	Средняя	
Носителями минералов Pd и Pt (сульфиды, висмута-теллуриды) являются придонные и жильные сульфидные руды	»	
Pd в виде самородных выделений, теллуридов, арсенидов — в сульфидах Cu и в магнетите пироксенитов	»	
Pt и Pd накапливаются в зоне выщелачивания серпентинитов, редкие МПГ (Ir, Os, Ru) в окисдно-железной зоне	»	
рождения		
Минералы Pd и Pt (соединения с Te, Bi, S) локализуются в норитовых горизонтах (рифтах)	Низкая	
Скопление минералов Pd и Pt в пироксенитах средних уровней разреза интрузий и в хромитах ультраосновной зоны	»	
Минеральные выделения Pd и Pt фиксируются в сульфидах пироксенитов полосчатого комплекса, редкие МПГ в дунитах и хромитах	»	
Преобладает платинометалльная минерализация селенидно-сульфидного типа в шунгитсодержащей массе слюдястых метасоматитов	Средняя	
Тонкодиспергированная вкрапленность минералов МПГ (самородные выделения, сплавы) в серецит-графитовой массе	»	

подчиненное значение имеют иридоосмин (сысертскит) OsIr, осмирид (невьянскит) IrOs, самородные фазы платины, иридия, осмия и золота, реже сульфиды этих металлов. Разнообразие минеральных форм МПГ, их мелкие размеры (3–15 мкм до 30), обилие сростков с породообразующими силикатными минералами обуславливают необходимость применения нескольких обогащительных процессов и специальных технологий [14], что, вероятно, объясняет, почему значительная часть техногенных россыпей Урала до сих пор находится в нераспределенном фонде и не осваивается.

Разрабатываются россыпи и их техногенные отходы по рекам Ис, Сосьва, Тура, Висим и многим другим. Аккумулятивные образования техногенных россыпей занимают площади в сотни километров. Самой протяженной (около 160 км) является Сосьвинская россыпь, разработка которой ведется с 1824 г., а теперь осваиваются ее техногенные продукты, содержащие платиноиды, в среднем 0,2 г/м³ [11].

Изучение техногенных платиноносных россыпей Нижнетагильского района показало, что они имеют состав, сходный с материнскими породами дунит-клинопироксенит-габбровой формации. Они образовались за счет эфелей, представленных песчанистой фракцией отвалов прежних лет, когда драгами извлекалось не более 10–20 % платиновых металлов [14].

Подсчитанные сегодня запасы МПГ техногенных россыпей Среднего Урала значительны: для крупной россыпи Ивановский Увал они составляют 1,36 т (при среднем содержании 0,12 г/м³), для россыпей р. Ис — 1,48 т, р. Косья — 0,235 т. Помимо техногенных отходов, в минерально-сырьевой потенциал МПГ часто включаются целики первичных россыпей, которые сохранились на участках прежних разработок.

Алданский район. Относимые к алданскому типу Кондерская и Инаглинская платиновые россыпи являются классическими. Они связаны с зональными щелочными массивами дунит-клинопироксенит-габбрового состава и сходны с уральскими.

Россыпное месторождение Кондер — крупнейшее в стране и мире. Оно тяготеет к радиальной речной сети, размывающей Кондерский щелочно-ультраосновной массив. Гляциальная модель формирования Кондерского россыпного месторождения предполагает ледниковое выветривание, начиная со среднечетвертичного времени, которое способствовало развитию трещиноватости пород массива. Последующие эрозионные процессы и речной перемыв приводили платиноносные дуниты в рыхлое состояние с выносом тяжелых металлов платиновой группы и формированием существенно платиновых россыпей, в том числе и техногенных.

Мощность платиноносного пласта от 1 до 7 м, торфов от 1,5 до 5 м. Преобладающий минерал россыпи — изоферроплатина (с мелкими включениями в ней осмирида), второстепенные — минералы рутения (луарит), родия (холлингвортит), иридия (купроиридсит, ирарсит), редко палладия (изомертиит). В рамках контура балансовых запасов содержится почти 96 % платины, 2,0 иридия, 0,7 осмия, 0,13 рутения и 0,5 % палладия. Среднее содержание платиноидов в кондерских россыпях 1,1 г/м³ (0,2–2,0).

Промышленно значимые техногенные месторождения металлов платиновой группы

Провинция	Район	Техногенный объект	Тип ТМ	Состав руд МПП			
				Ведущий металл	Минералы	Содержание, г/м³	Запасы, утвержденные ГКЗ, кг
Разрабатываемые							
Сибирская	Норильский	Промзона р. Щучья	Хвостохранилище № 1 НОФ Аллювиально-техногенный	Pd, (Pt)	Соединения Pt и Pd с S, As, Te, Bi, Sn, Pb	1,41	1048
				Pt, Pd	Изоферроплатина, самородные фазы	1,8	950
				Pd	Не изучены	0,2	126
				Pt, Ir	Изоферроплатина, OsIr, IrOs, IrOsRu	0,12	1359
Уральская	Свердловская область	Волковское Ивановский Увал (в.+з. уч.) р. Ис р. Чауж-Мартыан	Отвалы Техногенная россыпь То же »	Pt	Соединения Pt с Fe, самородные формы	0,07	1483
				Pt	Самородные фазы	0,23	107
				Pt, Ir	Изоферроплатина с включениями осмирида	0,22	2740
				Pt, Ir	Изоферроплатина (90%), осмирид	0,31	216
Дальневосточная	Хабаровский край Корякский АО Камчатский край	Кондер р. Левтыриньям руч. Ледеиной Шануч	Отвалы коренного месторождения	Pt, Ir	Природные сплавы Ir, Os, Pt	1,62	128
				Pt	Самородные выделения	0,82	65
				Подготавливаемые к освоению			
				Pt	Изоферроплатина, сперрилит, куперит	7,6	510
Сибирская	Печентский	р. Наледная Алларецкое	Россыпь (верхн.+нижн.) Отвалы	Pd, Pt	Не изучены	0,58	157
				Pt	Сплавы Pt с Fe, включения зерен Ir	0,08	38
				Pt	Изоферроплатина	0,13	1440
				Au, Pt	Самородные выделения	0,15	130
Дальневосточная	Республика Саха (Якутия)	р. Инагли (пр. Алдана)	Техногенная россыпь	Pt	Нет данных	0,76	386
				Разведываемые			
Сибирская	Норильский	руч. Угольный Предгорное Выйско-Исовское Соловьино-Сосвинское	Россыпь То же » »	Pt, Pd	Нет данных	10,6	1145
				Pd, Pt	Нет данных	3,4	273
				Pt	Самородные фазы	0,19	1612
				Pt	То же	0,11	1665

Россыпи, в том числе и техногенные, активно разрабатываются старательской артелью «Амур» («Русская платина»).

В качестве источников платины могут рассматриваться хвостохранилища шлихообогатительной фабрики этого района. По результатам исследований ЗАО «РАЦ Механобр Инжиниринг Аналит», средние содержания платины в хвостах составляют 0,6–0,8 г/т. Установлена принципиальная схема гравитационного обогащения платиноносных отходов Кондера, при этом извлечение металла в концентраты достигает 90 % [15].

Россыпь Инаглинского массива сходна с Кондерской по строению, составу и характеру платинометаллической минерализации. Аллювий главной речки и ряда ручьев, пересекающих массив, платиноносен на всем протяжении (5 км при ширине 45–130 м). Платиноносные пески имеют мощность от 0,6 до 1,6 м. Размер зерен шлиховой платины 1–3 мм, иногда отмечаются самородки величиной в несколько сантиметров. Разработка месторождения проводилась с 1992 по 2004 г. Техногенная россыпь, сформированная при разработке первичной Инаглинской россыпи, находится в нераспределенном фонде. Всего в отвалах Инагли учтено 386 кг платины.

Корякский район. Россыпные месторождения платиновых металлов Корякии входят в состав Сейнаво-Гальмозанского рудного узла (пл. около 600 км²). На его территории известно более десяти россыпных месторождений МПГ, из которых два эксплуатировались — Левтыриньям и руч. Ледяной. Источником россыпей служат зональные ультраосновные массивы уральского типа — Гальмозанский и Сейнаво-Гальмозанский протяженностью 15 и 17 км и шириной 2–4 км. Платиновые и иридиево-платиновые россыпи содержат от 0,3 до 2,6 г/м³ платиноидов. Рудная россыпеобразующая минерализация включает широкий спектр минералов, но главный — изотерроплатина (90 %), иридиевая специализация состоит в наличии собственных минералов (осмирид, иридосмин, ирарсит) с широким проявлением примесной формы. Размер зерен от нескольких до сотен микрон, встречаются самородки. На сегодня разведанные россыпи практически отработаны, и начаты разведочные работы в пределах техногенных отвалов, накопившихся почти за 20 лет эксплуатации этих россыпей. По предварительной оценке ЗАО «Корякгеолдобыча», запасы платины в техногенных объектах могут достигать нескольких тонн.

II группа. К потенциально промышленным ТМ можно отнести горно-технические отходы многих действующих предприятий, которые пока не востребованы. В первую очередь это месторождения Печенгского, Мончегорского, Качканарского, Уфалейского рудных районов РФ.

Печенгский район, расположенный на крайнем северо-западе Кольского полуострова и приуроченный к глубинной палеорифтовой Имандра-Варзугской структуре, отличается широко развитым ультраосновным магматизмом с сульфидной медно-никелевой и платинометаллической минерализацией. На разрабатываемых месторождениях Ждановское (Пильгуйarvi), Котсельваара-Каммикиви, Семилетка и Заполярное сульфидные платиносодержащие руды приурочены к нижним частям интрузий габбро-верлитового состава, а также к тектоническим зонам в подошве интрузий (сплошные и брекчиевые руды). В структуре разведываемых запасов

преобладают рядовые вкрапленные руды Ni 0,54–1,27, Cu 0,6–2,5 %, МПГ 0,06–1,1 г/т, требующие обогащения. Из руд печенгских месторождений получают коллективный Cu-Ni концентрат, содержащий платиноиды.

Техногенные объекты, возникшие за долгие годы эксплуатации печенгских месторождений, а также деятельности обогатительных фабрик (пос. Никель, г. Заполярный) и металлургического комбината «Печенга-Никель», пока не оценены. Правда, на Алларченском (уже отработанном) месторождении Печенгского района сейчас проводится разведка отвалов. По предварительным данным [18], в них, помимо повышенных содержаний никеля и меди, выявлены платиноиды (в среднем 0,58 г/т) с запасами 0,157 т.

Мончегорский район — один из старейших центров цветной металлургии РФ. Возникший на Кольском полуострове в 1930-е годы горно-металлургический комбинат «Североникель» долгие годы был флагманом никелевой промышленности нашей страны, базировавшись на собственном сырье. Но в начале 70-х годов добычные работы в районе были прекращены, а комбинат перешел на использование сульфидных руд и промпродуктов Норильского и Печенгского районов, что привело к свертыванию поисковых и разведочных работ, частично возобновившихся лишь в последние годы.

Наиболее изучен в этом районе Мончегорский pluton, сложенный основными и ультраосновными породами перидотит-пироксенит-норит-габбрового состава. Сульфидное медно-никелевое оруденение представлено вкрапленными, прожилковыми и жильными телами со средним содержанием Ni 0,6, Cu 0,25, Co 0,04 %, МПГ 5 г/т при Pt:Pd = 1:5 [8]. Главную промышленную ценность составляли жильные руды месторождений Ниттис, Кумужья, Травяная (НКТ), где количество полезных металлов достигало значительных величин: Ni — 5 (до 12), Cu — 2,5 % (до 8), платиноиды 10–12 г/т и более. Ведущие минералы МПГ — сульфиды и висмутотеллуриды палладия и платины. Сегодня руды НКТ отработаны, но сохранились огромные отвалы и хвостохранилища, требующие специального изучения и оценки.

Руды Сопчинского медно-никелевого месторождения сходны с Мончеплутоном, но значительно беднее него.

Модель формирования платиносодержащих сульфидных руд мончегорского типа отличается от многих других никеленосных комплексов широким проявлением флюидного режима. Богатые тела, обогащенные мантийными металлами, такими как никель и платиноиды, имеют глубинный флюидно-магматический источник, что определяет высокие перспективы этого района. В последние годы получено много новых данных о рудоносности таких массивов, как Мончетундровский, Волчетундровский, Улитозерский, выделена серия богатых платиноносных участков. Полученные данные говорят о необходимости дальнейшего изучения этого района и оценки его богатых техногенных образований.

Качканарский район. Оксидно-сульфидные руды этого района приурочены к крупному ультрамафит-мафитовому Качканарскому массиву, расположенному на восточном склоне Среднего Урала. Они связаны с магнетитовыми пироксенидами, реже с рудными оливинитами и верлитами, содержащими до 35 % железа. Руды представлены

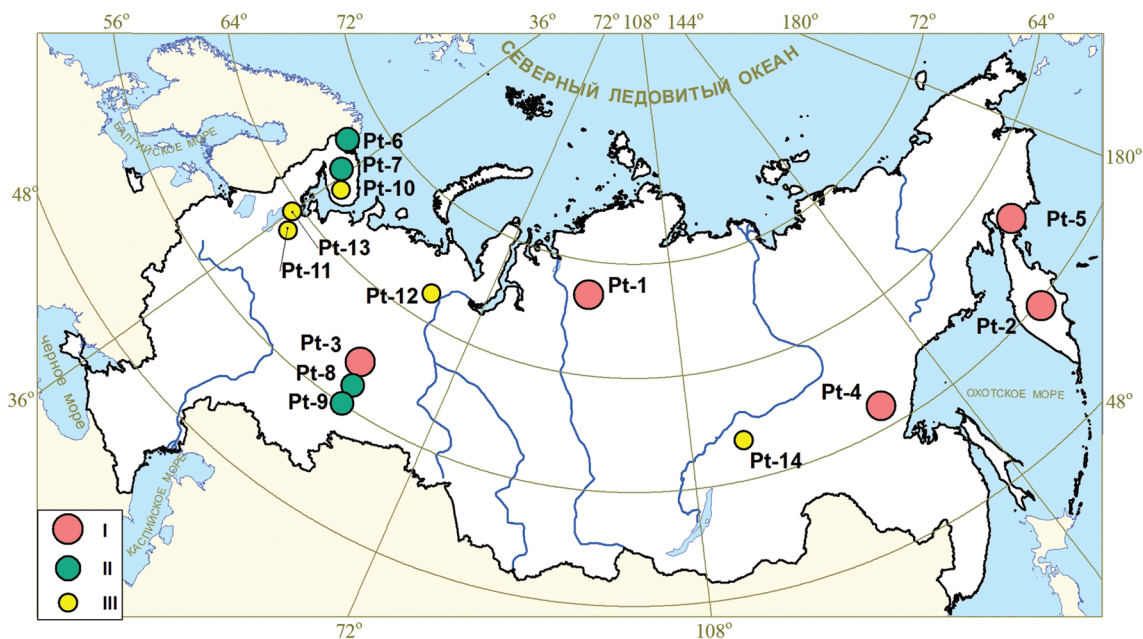


Рис. 1. Схема расположения платиноносных техногенных объектов (ТО): промышленных (I), потенциально промышленных (II), перспективных (III)

Типы ТО: Pt-1 – норильский, Pt-2 – шанучский, Pt-3 – нижнетагильский, Pt-4 – алданский, Pt-5 – корякский, Pt-6 – печенгский, Pt-7 – мончегорский, Pt-8 – качканарский, Pt-9 – уфалейский, Pt-10 – федорово-панский, Pt-11 – бураковский, Pt-12 – полярноуральский, Pt-13 – онежский, Pt-14 – сухоложский

магнетитом (80–90 %), ильменитом, сульфидами железа (пирит, пирротин) и меди (халькопирит) с примесью платиноидов (0,75 г/т), где преобладает палладий. Среди минералов МПГ установлены [8]: высокоцит PdS , мертиит Pd_2Sb_2 , атенеит $(\text{PdHg})_3\text{As}$, котульскит PdTe , медистый палладий, палладистое золото, редко куперит PtS_2 , изоферроплатина Pt_3Fe ,

лаурит RuS_2 . Минеральные выделения достигают значительных размеров порядка 100–200 мкм.

Добычу и переработку руд осуществляет ОАО «Качканарский ГОК». Количество отходов, накопленных в хвостохранилище Качканарского ГОКа, превышает 650 млн т, содержания платиноидов в хвостах от 0,14 до 1,24 г/т. Лабораторными

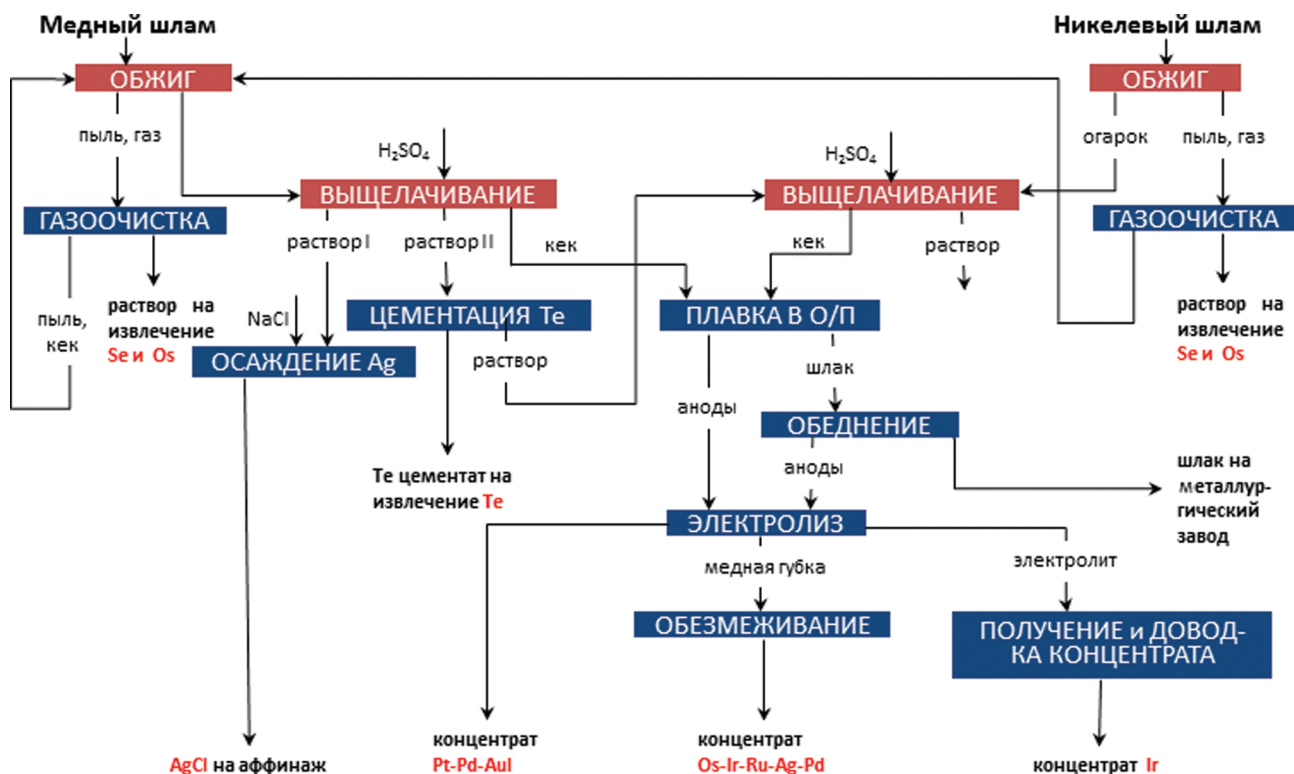


Рис. 2. Схема переработки техногенных шламов в Норильском горнорудном районе (материалы ГМК «Норильский никель»), 2013 г.

технологическими испытаниями доказана принципиальная возможность извлечения МПГ и Au из хвостов путем магнитной сепарации [2]. Повышенные содержания МПГ в продуктах обогащения представляют практический интерес.

На Волковском месторождении палладийсодержащие ванадий-медно-титаномагнетитовые руды связаны с габброидами одноименного массива, обогащенного сульфидами. Минералогические исследования показали, что наиболее характерные формы проявления платиновых металлов — сульфиды и теллуриды палладия, его самородные выделения в ассоциации с магнетитом. Размер зерен от 5 до 200 мкм.

Техногенные объекты, сформированные в процессе добычи и переработки руд этих месторождений, только начинают изучаться. Наличие в этих рудах повышенных содержаний платиновых металлов (в среднем 0,2 г/т), находящихся в минералогических выделениях крупной размерности, может значительно изменить представление о промышленных перспективах техногенных руд этого района.

Уфалейский район отличается широким развитием платиносодержащих силикатно-никелевых месторождений гипергенного типа, связанных с корами выветривания (КВ). Образование месторождений обусловлено химическим выветриванием серпентинитов и серпентинизированных ультрамафитов преимущественно офиолитовых комплексов. Наиболее продуктивны коры выветривания, связанные с латеритообразованием, которое имело место на Урале в период от поздней перми до палеогена. Руды сравнительно бедны (среднее содержание оксида никеля 0,6–1,2 %), но они отрабатываются в России уже много лет. Из нескольких десятков известных промышленных месторождений действуют сейчас Уфалейское, Серовское, Сахаринское, Буруктаьское. На их базе работают Уфалейский, Режский и Южноуральский металлургические заводы, на территории которых скопилось значительное количество техногенных продуктов, пока не изученных.

Руды данных месторождений поступают непосредственно в металлургическую переработку, поэтому наиболее ценными являются техногенные образования, связанные с отходами металлургического производства. Разработана малозатратная технология извлечения из них металлов платиновой группы [10]. Для этого используется метод восстановительно-сульфидирующей плавки на штейн (колчеданные руды). Концентраторы платиноидов — кеки автоклавного выщелачивания (до 200 г/т).

III группа. К перспективным следует отнести богатые платиноидами месторождения малосульфидных (Федорово-Панское, Бураковское), хромитовых (Полярноуральская группа) и черносланцевых (Онежское, Сухоложское) руд.

Федорово-Панский район относится к группе высокоперспективных на платиноиды, но пока не разрабатываемых месторождений малосульфидных руд, связанных с расслоенными ультрамафитовыми интрузиями, известными в ЮАР (Бушвельд), США (Стиллуотер) и многих других регионах мира.

Руды Федорово-Панских тундр Кольского полуострова приурочены к крупному докембрийскому (раннепротерозойскому) интрузивному массиву (пл. 260 км²) существенно мафитового состава. На его территории разведано несколько

платинометалльных месторождений, прослежены рудоносные горизонты (риффы) с высокими (до 50 г/т при среднем 1,37) содержаниями металлов платиновой группы, которые присутствуют в собственной минералогической форме: преобладают висмута-теллуриды Pt и Pd при подчиненном значении сульфидов и арсенидов [13].

Сходство Фёдорово-Панского массива со Стиллуотером по геологическим, тектоническим и минералого-петрологическим параметрам стало важным фактором для его высокой геолого-промышленной оценки [8]. Поскольку малосульфидные руды расслоенных интрузий представляют собой исключительно ценное платинометалльное сырье, можно ожидать, что на Северо-Западе РФ в ближайшие годы будет создана новая минерально-сырьевая база платинодобычи.

Бураковский район Карелии в юго-восточной части Балтийского щита обладает высоким промышленным потенциалом руд МПГ, связанных с крупными расслоенными интрузиями. Показателен Бураковский плутон (пл. 630 км²) раннепротерозойского времени, сложенный породами перидотит (гарцбургит)-ортопироксенит-норитовой формации.

На разведанном участке Кукручей (пл. 35 км²) Шалозерского блока данного массива запасы платиноидов оцениваются в 2,43 т при среднем содержании МПГ 0,44 г/т. На Аганозерском месторождении (западный блок плутона) изучаются платиносодержащие хромиты, обогащенные редкими платиноидами. Месторождения пока не эксплуатируются.

Полярноуральский регион, расположенный на крайнем севере Урала, уникален по масштабу хромитовых проявлений. Хромитовые ультраосновные массивы — Рай-Из (пл. 360 км²), Сыум-Кей (650 км²), Войкаро-Сыньинский (1950 км²) — образуют пояс, протянувшийся в субмеридиональном направлении на сотни километров. Они содержат значимые количества платиновых металлов, в том числе редких, таких как Ig и Os. На промышленном месторождении Центральное (массив Рай-Из) выявлено около 30 минералов МПГ с самородными выделениями, соединениями металлов платиновой группы с серой, мышьяком, висмутом, теллуrom, ртутью (лаурит, эрликманит, ирарсит, холингвортит, собольевскит, потарит, атенит и др.).

Начатая разработка хромитовых месторождений региона позволяет ставить вопрос о необходимости изучения платиноносности отвальных продуктов, поскольку при современной переработке хромитовых руд месторождения Центральное платиноиды не извлекаются и происходит безвозвратная потеря ценных платиновых металлов [3].

Черные сланцы относятся к числу многометалльных платиносодержащих руд, которые в ближайшие годы могут стать новым источником платиноидов [4]. Особенность этих руд — устойчивая связь с темными рассланцованными осадочными породами (пелитами, алевролитами, аргиллитами), обогащенными углеродистым веществом графитовой или битумной субстанции. Они могут содержать широкий спектр металлов — Ni, Cu, Co, Mo, V, U, Re, Au, Ag, МПГ, образуя комплексные руды. Многокомпонентный состав руд, включающих серию цветных, редких и благородных металлов, позволяет рассматривать черные сланцы как высокоперспективное крупнообъемное ценное сырье.

Промышленные руды черносланцевого типа известны в Онежском, Олимпиадинском и Сухоложском районах России.

Онежский район Южной Карелии вмещает несколько месторождений черносланцевых платиносодержащих уран-ванадиевых руд, открытых геологами Невского ПГО и ВСЕГЕИ в 1980-х годах. Лучшее всего изучены руды месторождения Средняя Падма. По своеобразию геологического строения и набору полезных компонентов (их около 20) это месторождение можно считать уникальным: при высоких содержаниях ванадия (в среднем 2,7 % до 7) и урана (0,2 % до 1) в рудах содержатся медь (0,1–0,8 %), цинк (0,3–0,9 %), свинец (0,1–0,7 %), молибден (0,1–0,2 %), а также золото, серебро и платиноиды (от долей до десятков г/т).

Среди платиноидов преобладает палладий в соотношении Pd:Pt = 10:1. Их типоморфные минералы – висмутиды, селениды, селеносульфиды: фрудит $PdBi$, инсизваит $PtBi_2$, поларит $Pd(BiPb)$, вновь открытые минералы – падмаит $PdBiSe$, судовиковит $PtSe$ в ассоциации с клаустилом $PbSe$ и парагуанахуатитом $Bi_2(SeS)_3$.

Значительные запасы ванадия в комплексе с платиноидами, золотом и другими ценными компонентами, а также благоприятные географо-экономические показатели должны в ближайшие годы привлечь к этому району серьезное внимание промышленных предприятий.

Сухоложский район Восточной Сибири характеризуется присутствием платиносодержащих золотых месторождений стратиформного типа – Сухой Лог, Высочайшее, Вернинско-Невское.

В строении наиболее крупного месторождения Сухой Лог принимают участие углеродистые песчано-алевролит-сланцевые породы хомолхинской свиты. Руды этого месторождения представлены преимущественно сульфидно-вкрапленными типами. Главный компонент сухоложинских руд – самородное золото с размером частиц до 20 мкм. Его содержание в рудах составляет в среднем 3 г/т. Платинометаллическая минерализация пространственно совпадает с контурами золоторудных тел, иногда выходя в надрудные горизонты. Минералогия платиноидов, изучаемая специалистами ИГЕМ РАН, отличается обилием свободных выделений платины, ее соединений с железом, серой (куперит PtS), мышьяком (сперрилит $PtAs_2$). Среди платиноидов преобладает платина, ее содержание от 0,9 до 1,5 г/т, иногда больше, количество палладия не превышает 0,2 г/т. В продуктах промышленной переработки руд платиноиды концентрируются в гравиконцентрате (до 25 г/т). Детальные работы последних лет позволили провести переоценку этого месторождения (с учетом ресурсов МПГ), которое подготавливается к разработке.

Изучаются платиноиды техногенных объектов Олимпиадинского месторождения.

В сферу промышленного использования могут быть вовлечены и другие нетрадиционные для МПГ типы руд, в том числе платиносодержащие полиметаллические, медные, серебряные, буроугольные. Это в первую очередь хвостохранилища Учалинской, Сибайской, Золотоушинской, Змеиногорской обогатительных фабрик, Локтевского сереброплавильного завода, а также отходы переработки углей.

В буроугольных шламах брикетной фабрики Кумертауской ТЭЦ обнаружены (материалы института Гиредмет) повышенные содержания

платиновых металлов (г/т): Pt 0,28–0,91, Pd 0,52–0,96, их прогнозные ресурсы оцениваются значимыми цифрами: Pt 1,5, Pd 1,7 т. Металлоносные угли обнаружены на Павловском месторождении, содержания платиноидов в них составляют 0,1 г/т в углях и 1 г/т в золе [19]. На Шкотовском месторождении [21], в товарных пробах рядовых углей шахты им. Артема и разреза «Смоляниновский» установлены аномальные концентрации платины (до 0,22 г/т в углях и 0,92 г/т в золе) и палладия (0,01 и 0,04 г/т). Приведенные цифры обуславливают необходимость учета платиноидов в золошлаковых смесях и шламах многих буроугольных предприятий нашей страны.

Выводы

1. Возрастающий спрос на металлы платиновой группы обуславливает необходимость подготовки новых месторождений, к числу которых относятся техногенные.

2. Совокупность полученных данных позволяет оценить потенциал платиносодержащих техногенных объектов с выделением промышленных, потенциально промышленных и перспективных групп. Наиболее изучены и продуктивные техногенные месторождения Норильского, Уральского, Алданского и Корякско-Камчатского регионов.

3. Моделирование процессов образования ТМ показало, что механизм формирования платинометаллических концентраций учитывает первоначальное участие платиноидов в составе коренных пород и руд с последующей их трансформацией в гипергенных условиях.

4. Перспективы освоения платиносодержащих ТМ, а также необходимость вовлечения в производство новых геолого-промышленных типов руд напрямую зависят от разработки и внедрения рентабельных технологий по извлечению платиноидов из отходов производства.

5. Современное состояние минерально-сырьевой базы платиновых металлов свидетельствует о необходимости усиления работ по изучению ТМ, которые должны быть направлены на оценку прогнозных ресурсов металлов платиновой группы.

Работа выполнена по заказу Федерального агентства по недропользованию в соответствии с Государственным контрактом АМ-02-34/46 от 04.05.2012 г.

1. Аксенов Е.М., Садыков Р.К., Алискеров В.А. и др. Техногенные месторождения – проблемы и перспективы вовлечения в хозяйственный оборот // Разведка и охрана недр. 2010. № 2. – С. 17–20.

2. Борисенко Л.Ф., Делицын М., Полубабкин В.А., Усков Е.Д. Комплексное использование титаномагнетитовых руд // Лабораторные и технологические исследования минер. сырья. Обзор. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997. – 65 с.

3. Грейвер Т.Н., Гурская Л.И., Петров Г.В. Ресурсный потенциал платиноидов в хромитовых рудах Полярного Урала и перспективы их комплексного использования // Полярный Урал – стратегия освоения. – Тюмень, 2004. – С. 154–159.

4. Гурская Л.И. Платинометаллическое оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования / под ред. Д.В. Рундквиста. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. – 208 с.

5. Гурская Л.И., Додин Д.А. Минеральные ресурсы платиновых металлов: перспективы расширения // Регион. геология и металлогения. 2015. № 64. — С. 84–93.
6. Додин Д.А., Говорова Л.К., Изоитко В.М. и др. Новый нетрадиционный тип платиносодержащего сырья — техногенный (внутреннее строение, платиноносность, технологии переработки) // Платина в геологических формациях Сибири: Тез. докл. общерос. семинара 20–21 сентября 2001 г. — Красноярск: КНИИГиМС, 2001. — 184 с.
7. Додин Д.А., Изоитко В.М., Говорова Л.К., Коваленко Л.Н. Минералогия суперкрупных техногенных месторождений платиновых металлов // Современные методы минералого-химических исследований как основа выявления новых типов руд и технологии их комплексного освоения: Материалы годичного собрания Российского минералогического об-ва. Санкт-Петербург, 3–5 октября 2006. — С. 89–92.
8. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. — СПб.: Наука, 2000. — 755 с.
9. Корякско-Камчатский регион — новая платиносная провинция России: Сб. науч. работ. — СПб.: Изд-во Картфабрики ВСЕГЕИ, 2002. — 383 с.
10. Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Белоглазов И.Н. и др. Платиновые металлы в гипергенных никелевых месторождениях и перспективы их промышленного извлечения. — СПб.: Недра, 2006. — 188 с.
11. Мормиль С.И., Сальников В.Л., Амосов Л.А. и др. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду. — М.: НИИ-Природа, 2002. — 206 с.
12. Петров Г.В., Бодуэн А.Я., Мардарь И.И. Ресурсы благородных металлов в техногенных объектах горно-металлургического комплекса России // Успехи современного естествознания. 2013. № 3. — С. 145–148.
13. Петров О.В., Гурская Л.И., Веселовский Н.Н. Прогнозирование и поиски платинометаллических руд в Федорово-Панских тундрах Кольского полуострова // Регион. геология и металлогения. 2010. № 41. — С. 42–50.
14. Разин Л.В., Башлыкова Т.В. Моделирование современного технологического процесса рентабельного извлечения ценных металлов из техногенных платиносодержащих россыпей Урала // Платина России: Сб. науч. тр. Т. IV. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. — С. 242–246.
15. Розенблюм А.К., Петров С.В., Бороздин А.П. Технологические свойства отвалов шлихообогатительной фабрики прииска Кондёр-Уоргалан (Хабаровский край) // Материалы XV молодежной конф., посвященной 100-летию члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца. — СПб., 2014. — С. 209–213.
16. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации: Госдоклад / МПР. — М., 2014. — 381 с.
17. Самойлов А.Г., Шатков В.А. Опыт разработки техногенной россыпи платиноидов в Норильском горно-рудном районе // Минеральные ресурсы России (экономика и управление). 2000. № 1. — С. 45–48.
18. Селезнев С.Г., Степанов Н.А. Отвалы Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения как новый геолого-промышленный тип техногенных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 5. — С. 32–40.
19. Середин В.В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения // Угольная база России. Т. VI. — М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. — С. 453–519.
20. Стехин А.И., Кунилов В.И., Олешкевич О.И. Техногенные месторождения цветных и благородных металлов в Норильском районе // Недра Таймыра. Вып. 1. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. — С. 85–93.
21. Жаров Ю.Н. и др. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. — М.: Недра, 1996. — 238 с.
22. Шулепина З.М., Анфилатова Н.В., Ковалева Е.Н. и др. Техногенные ресурсы России: Справочник. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. — 199 с.

1. Aksenov E.M., Sadykov R.K., Aliskerov V.A. et al. Technogenic deposits — problems and prospects of involving in economic circulation. *Razvedka i okhrana nedr.* 2010. No 2, pp. 17–20. (In Russian).
2. Borisenko L.F., Delitsyn M., Polubabkin V.A., Uskov D. Integrated use of titanomagnetite ores. *Laboratory and technological research of raw materials. Overview.* Moscow: JSC «Geoinformmark». 1997. 65 p. (In Russian).
3. Greiver T.N., Gurskaya L.I., Petrov G.V. Resource potential of PGE in chromite ores of the Polar Urals and prospects for their integrated use. *Polar Urals, development strategy.* Tyumen. 2004. Pp. 154–159. (In Russian).
4. Gurskaya L.I. Platinometallnoe orudnenie chernoslantsevoogo tipa i kriterii ego prognozirovaniya [Black shale type PGE mineralization and criteria for its forecasting]. Ed. by D.V. Rundquist. St. Petersburg: VSEGEI Press. 2000. 208 p.
5. Gurskaya L.I., Dodin D.A. Mineral resources of platinum group metals: prospects of expansion. *Region. geologiya i metallogeniya.* 2015. No 64, pp. 84–93. (In Russian).
6. Dodin D.A., Govorov L.K., Izoitko V.M. et al. A new unconventional type of platinum raw material, technogenic (internal structure, platinum potential, processing technology). *Platinum in geological formations of Siberia. Abstr. of Russian Workshop, September 20–21, 2001.* Krasnoyarsk: KNIIGiMS. 2001. 184 p. (In Russian).
7. Dodin D.A., Izoitko V.M., Govorov L.K., Kovalenko L.N. Mineralogy of superlarge technogenic deposits of platinum group metals. *Modern methods of mineralogical and chemical research as a base to reveal the new types of ores and technologies of their integrated development: Proceedings of the annual meeting of the Russian Mineralogical Society.* St. Petersburg, October 3–5. 2006. Pp. 89–92. (In Russian).
8. Dodin D.A., Chernyshov N.M., Yatskevich B.A. Platinometallnye mestorozhdeniya Rossii [Russian PGE deposits]. St. Petersburg: Nauka. 2000. 755 p.
9. Koryaksko-Kamchatskiy region — novaya platinonosnaya provintsiya Rossii: Sb. nauch. rabot [Koryak-Kamchatka Region, a new platinum province of Russia: Coll. scientific works]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory. 2002. 383 p.
10. Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Beloglazov I.N. et al. Platinovye metally v gipergennykh nikelovykh mestorozhdeniyakh i perspektivy ikh promyshlennogo izvlecheniya [Platinum metals in supergene nickel deposits and prospects for industrial extraction]. St. Petersburg: Nedra. 2006. 188 p.
11. Mormil S.I., Salnikov V.L., Amosov L.A. et al. Tekhnogennyye mestorozhdeniya Srednego Urala i otsenka ikh vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [Technogenic deposits in the Middle Urals and assessment of their impact on the environment]. Moscow: NIA-Priroda. 2002. 206 p.
12. Petrov G.V., Boduen A.Ya., Mardar I.I. Precious metal resources in technogenic targets of Russian mining and metallurgical complex. *Successes of modern science.* 2013. No 3, pp. 145–148. (In Russian).
13. Petrov O.V., Gurskaya L.I., Veselovsky N.N. Forecasting and prospecting of PGE ores in the Fedorov-Pana tundra of the Kola Peninsula. *Region. geologiya i metallogeniya.* 2010. No 41, pp. 42–50. (In Russian).
14. Razin L.V., Bashlykova T.V. Simulation of modern procedure for cost-effective recovery of valuable metals from technogenic platinum placers of the Urals. *Russian platinum: Coll. scientific. pr.* Moscow: JSC «Geoinformmark». 1999. Vol. IV, pp. 242–246. (In Russian).
15. Rosenblum A.K., Petrov S.V., Borozdin A.P. Technological properties of dumps at Kondyor-Uorgalan mine concentration factory (Khabarovsk Territory). *Proceedings of the XV Youth Conf., Dedicated to the 100th Anniversary of the Corresponding Member of the USSR AS K.O. Kravtsov.* St. Petersburg. 2014. Pp. 209–213. (In Russian).
16. O sostoyanii i ispolzovanii mineralno-syryevykh resursov Rossiyskoy Federatsii: Gosdoklad [Towards the state and use of mineral resources in the Russian Federation: State Report]. Gosdoklad. MPR. Moscow. 2014. 381 p.

17. Samoylov A.G., Shatkov V.A. Experience in the development of technogenic platinum group metals placer in the Norilsk mining and ore district. *Mineral resources of Russia (Economics and Management)*. 2000. No 1, pp. 45–48. (In Russian).
18. Seleznev S.G., Stepanov N.A. Dumps of Allarechensk sulphide copper-nickel deposit as a new geological and commercial type of technogenic deposits. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2011. No 5, pp. 32–40. (In Russian).
19. Seredin V.V. Metal content of coals: formation conditions and development prospects. *Russian coal base*. Moscow: JSC «Geoinformmark». 2004. Vol. VI, pp. 453–519. (In Russian).
20. Stekhin A.I., Kunilov V.I., Oleshkevich O.I. Technogenic deposits of base and precious metals in the Norilsk District. *Mineral resources of Taimyr*. St. Petersburg: VSEGEI. 1995. Iss. 1. Pp. 85–93. (In Russian).
21. Zharov Yu.N. et al. Tsennye i toksichnye elementy v tovarnykh uglyakh Rossii: Spravochnik [Valuable and toxic elements in Russian commercial coals: Reference book]. Moscow: Nedra. 1996. 238 p.
22. Shulenina Z.M., Anfilatova N.V., Kovaleva E.N. et al. Tekhnogennyye resursy Rossii: Spravochnik [Russian technogenic resources: Reference book]. Moscow: JSC «Geoinformmark». 2001. 199 p.

Гурская Людмила Ивановна — канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ ¹. <lyudmila_gurskaya@vsegei.ru>
Снежко Ольга Николаевна — канд. геол.-минер. наук, вед. геолог, МФ ВСЕГЕИ ². <olga_krutkina@vsegei.ru>
Васильев Сергей Павлович — канд. техн. наук, зам. директора, МФ ВСЕГЕИ ².
Молчанов Анатолий Васильевич — доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ ¹. <anatoly_molchanov@vsegei.ru>

Gurskaya Lyudmila Ivanovna — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI ¹. <lyudmila_gurskaya@vsegei.ru>
Snezhko Olga Nikolaevna — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Geologist, Moscow branch VSEGEI ². <olga_krutkina@vsegei.ru>
Vasiliev Sergej Pavlovich — Candidate of Technical Sciences, Deputy Director, Moscow branch VSEGEI ².
Molchanov Anatoly Vasilievich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the entire Department, VSEGEI ¹. <anatoly_molchanov@vsegei.ru>

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.

² Московский филиал Всероссийского научно-исследовательского института им. А.П. Карпинского (МФ ВСЕГЕИ). Ул. Маршала Тухачевского, 32/А, Москва, 123154, Россия.

Moscow branch A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (MB VSEGEI). 32/A Marshala Tuhachevskogo Street, Moscow, 123154, Russia.