

- technological mineralogy seminar, Magnitogorsk, 22–24 April 2014. Under the editorship of V. V. Shchiptsov. Petrozavodsk : Karelia Science Center RAS, 2015. 171 p.
5. *Progressive methods of concentration and complex processing of natural and technogenic mineral raw materials (Plaksin readings-2014): materials of international meeting, 16–19 September 2014.* Editor: V. A. Chanturiya. Almaty : JSC «Center of Earth Sciences, Metallurgy and Beneficiation», 2014. 624 p.
 6. Reznik I. D., Ermakov G. P., Shneerson Ya. M. Nickel : in three volumes. Volume 2: Oxidized nickel ores. Characteristics of ores. Pyrometallurgy and hydrometallurgy of oxidized nickel ores. Moscow: LLC «Nauka i tekhnologii», 2001. 468 p.
 7. Sannikova O. V., Medvedev A. S. Recycling tailings of nickel enterprises processing oxide-bearing ores by ammonia-carbonate technology. *Metallurg.* 2010. No. 7. pp. 72–77.
 8. Bazhenova O. V., Medkov M. A., Yudakov A. A., Chirikov A. Yu., Medvedev A. S. About the methods of waste recycling of oxidized nickel ores. Stable development. *Rational natural use : collection of proceedings of international conference.* Tula, 2010. pp. 32–34.
 9. Bazhenova O. V., Medvedev A. S., Medkov M. A., Chirikov A. Yu. Methods of hydrometallurgical processing of anthropogenic wastes of oxidized nickel ores. *IV International congress "Non-ferrous metals-2012": collection of reports.* Krasnoyarsk, 2012. pp. 80–82.
 10. Quast K., J. Connor N., Skinner W. et al. Preconcentration strategies in the processing of nickel laterite ores. Part 1: Literature review. *Mineral Engineering.* 2015. Vol. 79. pp. 261–268.
 11. Aiglsperger T., Proenza J. A., Lewis J. F. et al. Critical (RE, Sc, PGE) in Ni laterites from Cuba and the Dominican Republic. *Ore Geology Reviews.* 2016. Vol. 73, Part 1. pp. 127–147.
 12. Farokhpay S., Filippov L. Challenges in processing nickel laterite ores by flotation. *International Journal of Mineral Processing.* 2016. Vol. 151. pp. 59–67.
 13. Senanayake G., Childs J., Akerstrom B. D., Pugaev D. Reductive acid leaching of laterite and metal oxides — A review with new data for Fe(Ni,Co)OOH and alimonitic ore. *Hydrometallurgy.* 2011. Vol. 110. pp. 13–23.

УДК 549.27:549.28

БЛАГОРОДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЕЛАНСКОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

С. П. НАГАЕВА¹, руководитель научно-исследовательской минералогической лаборатории, SPNag@yandex.ru

А. С. СИЗЫК¹, зам. руководителя научно-исследовательской минералогической лаборатории

С. В. ПЕТРОВ², доцент, канд. геол.-минерал. наук

¹ СП ЗАО «ИВС», Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Приведены результаты изучения вещественного состава проб руд Еланского месторождения. Дано описание выявленных минеральных форм благородных металлов (собственные минеральные формы металлов платиновой группы, золота, серебра). Приведен минеральный баланс благородных металлов.

Ключевые слова: медно-кобальт-никелевые руды, минеральный состав, минералы золота, серебра, металлы платиновой группы.

DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.03

Введение

Металлы платиновой группы (МПГ) являются ценнейшими полезными ископаемыми. Россия располагает крупной, но постепенно истощающейся минерально-сырьевой базой МПГ [1]. Одной из перспективных платиноносных провинций является Воронежская [1–13].

В 1960–1970-х годах в Воронежском регионе был выявлен ряд сульфидных платиноидно-медно-кобальтово-никелевых месторождений и проявлений, которые в тот период рассматривались в качестве резервной минерально-сырьевой базы цветных и благородных металлов. В настоящий момент для долгосрочного социально-экономического развития и расширения производственного комплекса Центрального федерального округа РФ важнейшее сульфидные медно-никелевые месторождения, сосредоточенные в пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ), приобретают важнейшее значение.

Выявленная рудоносная провинция медно-никелевых руд по своим характеристикам является конкурентоспособной в сравнении с разрабатываемыми месторождениями в Норильском районе, на Кольском полуострове, в Красноярском крае и Иркутской области, в том числе из-за явных преимуществ ресурсной минеральной базы, расположенной в центральной части страны [2]. В

пределах ВКМ выделяются два основных различных по содержанию и ресурсам металлов типа месторождений [1]:

Мамонский — преимущественно бедные вкрапленные руды, связанные с высокомагнезиальными ультрамафитами перидотит-габбро-норитовой формации (Нижнемамонское, Подколodновское, Юбилейное и др.);

Еланский — со сплошными и вкрапленными рудами, приуроченными к телам субвулканических мафитов ортопироксенит-норит-диоритовой формации (Еланское, Ёлкинское, Центральное и др.).

Методы исследований

Минераграфические исследования проб проведены с использованием поляризационного микроскопа Leica DM4500P, оснащенного видеокамерой Leica DFC490. Обработку результатов оптических исследований проводили с помощью специализированных программ «Минерал С7».

С применением гравитационных и магнитных методов из проб руд были получены продукты для детального минералогического изучения. Анализ полученных продуктов проводили в брикетированных однослойных аншлифах. Аншлифы и искусственные брикеты изготавливали на специальном шлифовально-полировальном оборудовании в шлифовальной мастерской СП ЗАО «ИВС».

Микрозондовый анализ минералов в аншлифах-брикетах выполняли с использованием аналитического комплекса на базе сканирующего электронного микроскопа VEGA 3LMU, оснащенного системой энергодисперсионного и волнодисперсионного микроанализа. Содержание платиноидов в минералах определено на электронно-зондовом микроанализаторе JEOL JXA-8320 (ИГГД РАН).

Химический анализ выполняли в испытательном аналитическом центре ООО «Институт Гипроникель» (Санкт-Петербург). Содержание благородных металлов оценивали в Региональном аналитическом центре «Механобр Инжиниринг Аналит» (РАЦ «МИА», Санкт-Петербург).

Результаты исследований

Еланское месторождение расположено в Новохоперском районе Воронежской области. Оно относится к новому, ранее неизвестному, высоконикелистому платиноидно-медно-кобальтовому типу [5, 9]. Рудоносные зоны расположены в меланократовых и мезократовых разновидностях амфиболизированных, биотитизированных, хлоритизированных норитов, в меньшей степени лейкократовых метасоматически измененных диоритах. Рудные тела сложены преимущественно вкрапленными рудами с маломощными залежами массивных и брекчированных руд, которые залегают на глубине 250–300 м под осадочным чехлом. Количественно на месторождении резко преобладают вкрапленные руды (62,6 %), прожилково-вкрапленные (31,7 %), массивные имеют ограниченное развитие — 5,7 %. Среди вкрапленных руд выделяют густовкрапленные и гнездово-вкрапленные руды.

Основными полезными компонентами в рудах Еланского месторождения являются никель, кобальт, медь, попутными — золото, серебро, платиноиды, селен и теллур. Отличительной чертой месторождения является высокое соотношение Cu/Ni, которое колеблется от 6 до 12. В зависимости от природного типа в рудах Еланского месторождения массовая доля никеля колеблется от 0,81 % (вкрапленные руды) до 5,13 % (массивные руды), меди — от 0,12 % (вкрапленные руды) до 0,39 % (массивные руды).

Во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах суммарное содержание МПГ — 0,3 г/т, золота — 0,14 г/т и серебра — 2,8–3,2 г/т. Массивный тип руд отличается более низкими содержаниями: по сумме МПГ — не более 0,2 г/т, золоту — 0,08 г/т, серебру — 2,6 г/т.

Главными рудными минералами во всех типах руд Еланского месторождения

являются пирротин, пентландит, халькопирит [4]. Сумма рудных минералов колеблется от 6,3 % во вкрапленных рудах до 64,5 % в массивных. Для всех типов характерно преобладание пирротина над пентландитом и пентландита над халькопиритом. Отличительной чертой руд месторождения является распространение редкой, но относительно равномерной вкрапленности арсенидных и сульфоарсенидных минералов никеля, кобальта и железа (минералы группы герсдорфит-кобальтин, никелин, маухерит и др.). Редкие минералы представлены марказитом, пиритом, виоларитом, аргентопентландитом, брейтгауптитом, ульманнитом, кубанитом, сфалеритом, галенитом, молибденитом, самородным золотом, теллуридами серебра и висмута и минералами элементов платиновой группы (ЭПГ). Для всех типов руд характерным является присутствие в них графита (от 0,2 % во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах до 0,14 % в массивных рудах). Основными породообразующими минералами являются плагиоклазы, амфиболы, пироксены, слюды, кварц, второстепенную роль играют хлорит, тальк, кальцит. Среди аксессуарных минералов диагностированы апатит, ильменит, магнетит, гематит, монацит, хромшпинелиды.

Пирротин является главным рудным минералом, содержание которого в различных типах руд значительно меняется: 3,4 % во

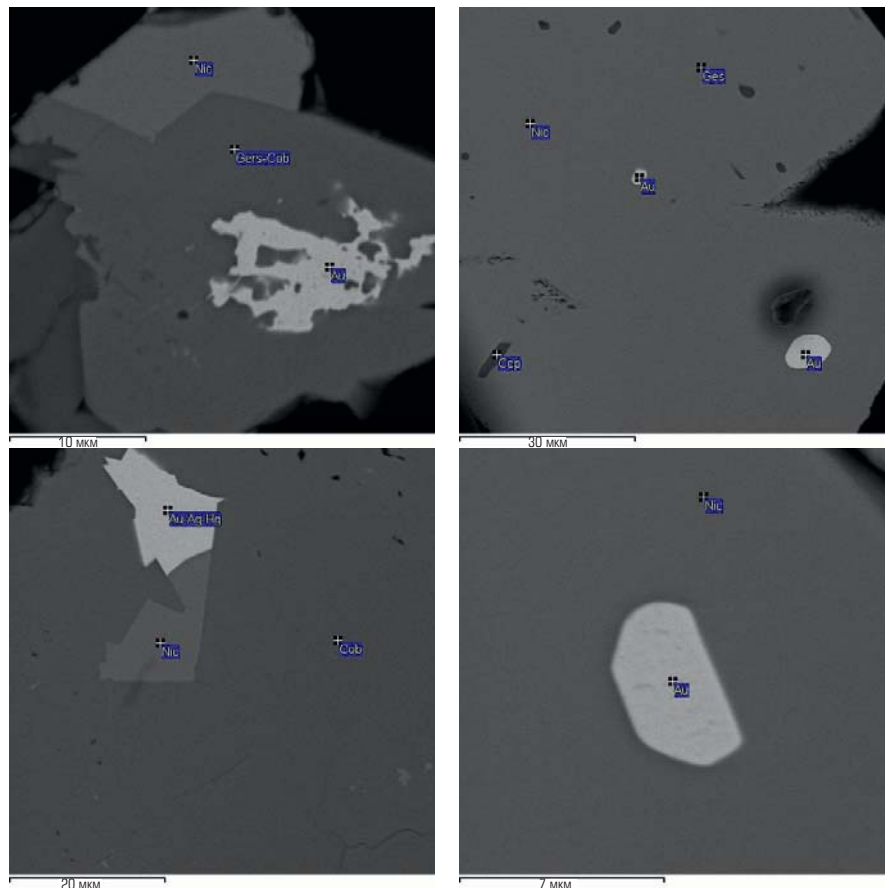


Рис. 1. Морфология самородного золота. Изображение BSE:

Ges — гессит; Ni — никелин; Gers — герсдорфит; Cob — кобальтин; Gers-Cob — минералы группы герсдорфит-кобальтин; Csp — халькопирит; Mauch — маухерит; Breith — брейтгауптит; Pn — пентландит; Po — пирротин

вкрапленных рудах, 11,2 % в прожилково-вкрапленных, 46,7 % в массивных. Пирротин относится к моноклинной и гексагональной модификациям в примерно равных соотношениях.

Минерал встречается в виде зернистых разновидностей, входит в состав полиминеральных вкрапленников, реже образует мономинеральные. Достаточно часто пирротин является основным в сульфидных вкрапленниках. Размер выделений пирротина варьирует в широких пределах: от десятков микрон до нескольких миллиметров. Пирротин образует ксеноморфные по отношению к пентландиту зерна.

Во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах среднее содержание химических элементов в пирротине следующее, %: 59,5 Fe; 0,7 (до 1,3) Ni; 39,8 S. Пирротины в массивных рудах характеризуются меньшим содержанием никеля — от 0,27 до 0,86 % (среднее 0,49 %). Кроме того, они более железистые (60,8 %).

Пентландит является основным минералом, содержащим никель и кобальт. В зависимости от природного типа содержание минерала составляет от 2,3 до 13 %. Он образует мономинеральные вкрапления и входит в состав полиминеральных агрегатов совместно с пирротинном, реже — халькопиритом.

Микроанализ пентландита показал, что содержание никеля в минерале колеблется от 33,3 до 41,5 %, железа — 25,7–40,6 %,

серы — 32,6–34,4 %. Содержание кобальта достигает 2,48 % (среднее 1,5 %).

Основным медным минералом является халькопирит, содержание которого во вкрапленных и прожилково-вкрапленных рудах составляет 0,3–0,5 % и около 1% в массивных. Во всех рудах халькопирит образует зерна неправильной формы, тонкую вкрапленность в породообразующих минералах. Достаточно часто он наблюдается в сростании с пирротинном и пентландитом, обычно находясь в краевых частях сульфидных вкрапленников.

Сульфиды железа (пирит, марказит) — второстепенные минералы. Как правило, они являются продуктами замещения пирротина. Наибольшее распространение наблюдается в массивных рудах.

Сульфоарсениды Co, Ni имеют сквозное распространение в рудах Еланского месторождения. Встречаются минеральные разновидности от герсдорфита до кобальтина, а также минеральные индивиды промежуточного состава — кобальтистый герсдорфит и никелистый кобальтин. Чаще всего минералы этой группы образуют минеральные агрегаты совместно с арсенидами никеля.

Исследования элементного состава сульфоарсенидов показали, что в минералах этой группы наблюдаются широкие колебания никеля (от 4,47 до 33,92 %) и кобальта (от 0,68 до 27,72 %). В

минералах всегда наблюдается изоморфная примесь железа — от 0,63 до 5,8 %. В некоторых зернах установлена примесь сурьмы (до 2 %) и меди (1,4 %). Медь является характерной примесью для никелистого кобальтина.

Арсениды Ni в руде представлены никелином и маухеритом. Минералы этой группы часто встречаются совместно с сульфоарсенидами.

Средний состав никелина, %: 43,95 Ni; 0,55 Co; 0,96 Fe; 0,17 S; 1,34 Sb; 55,11 As. Средний состав маухерита, %: 48,77 Ni; 1,1 Co; 0,54 Fe; 0,13 S; 0,37 Sb; 49 As.

Сульфоантимониды представлены ульманнитом, антимониды — брейтгауптитом. Встречаются во всех типах руд Еланского месторождения, всегда в ассоциации с арсенидами и сульфоарсенидами никеля.

Исследования вещественного состава руд Еланского месторождения позволяют сделать следующие выводы:

- руды относятся к высоконикелистым маломедистым, являются комплексными, что выражается

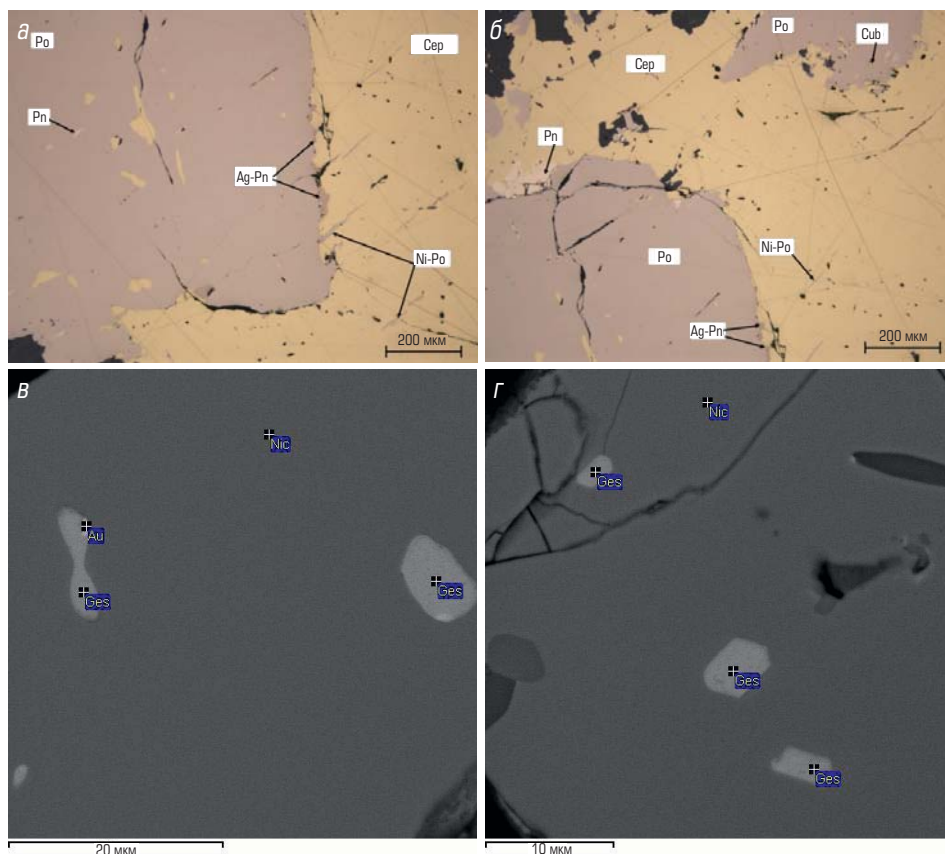


Рис. 2. Морфология минералов серебра. Изображения в отраженном свете (а, б) и BSE (в, г):

Ges — гессит; Nic — никелин; Gers — герсдорфит; Cob — кобальтин; Gers-Cob — минералы группы герсдорфит-кобальтин; Сер — халькопирит; Mauch — маухерит; Breith — брейтгауптит; Pn — пентландит; Po — пирротин

в присутствии, кроме Ni, Co и Cu, попутных полезных компонентов: Au, Ag, Se, Te и ЭПГ; к вредным примесям в рудах относятся As, Sb, Bi, Pb;

- на месторождении выделяются вкрапленные (преобладают), прожилково-вкрапленные и массивные природные типы руд, в которых отмечают широкое колебание содержаний Ni, Cu, Co;

- основная форма нахождения Ni и Cu сульфидная, главным носителем никеля и кобальта является пентландит, часть никеля сосредоточена в пирротине.

К благоприятным минералого-технологическим свойствам руд можно отнести то, что главные полезные минералы — пентландит и халькопирит — развиты преимущественно в виде самостоятельных вкраплений зернистых агрегатов и сульфидных прожилков несложной, часто близкой к изометрической форме, с преимущественно четкими границами срастания с породообразующими минералами и пирротинном. Значительная часть полезных минералов имеет допустимые размеры выделений для извлечения их уже на ранних стадиях измельчения руды.

К неблагоприятным свойствам руды можно отнести следующие:

- преобладание неравномерной вкрапленности рудных минералов с широким диапазоном размеров их выделений, что может усложнять схему рудоподготовки;

- многообразие форм образования сульфидов, заключающееся в основном в разнообразии сочетаний срастания их с различными породообразующими минералами, развитие полиминеральных сульфидных агрегатов;

- зависимость морфологии и размеров сульфидных обособлений от текстурно-структурных особенностей руд; так, в зонах переотложенной сульфидной минерализации происходит формирование полисульфидных агрегатов и слоистых силикатов, что может усложнить их разделение;

- развитие сульфоарсенидов и арсенидов кобальта, никеля, что приводит к повышенному содержанию мышьяка в рудах и, соответственно, во флотационных концентратах.

Благородные металлы — золото, серебро, МПГ являются важнейшими попутными компонентами в рудах Еланского

месторождения, извлечение которых может повысить рентабельность производства при освоении месторождения.

Проведенные в СП ЗАО «ИВС» исследования обогатимости проб руд Еланского месторождения показали, что при флотационном обогащении извлечение суммы МПГ в коллективный концен-

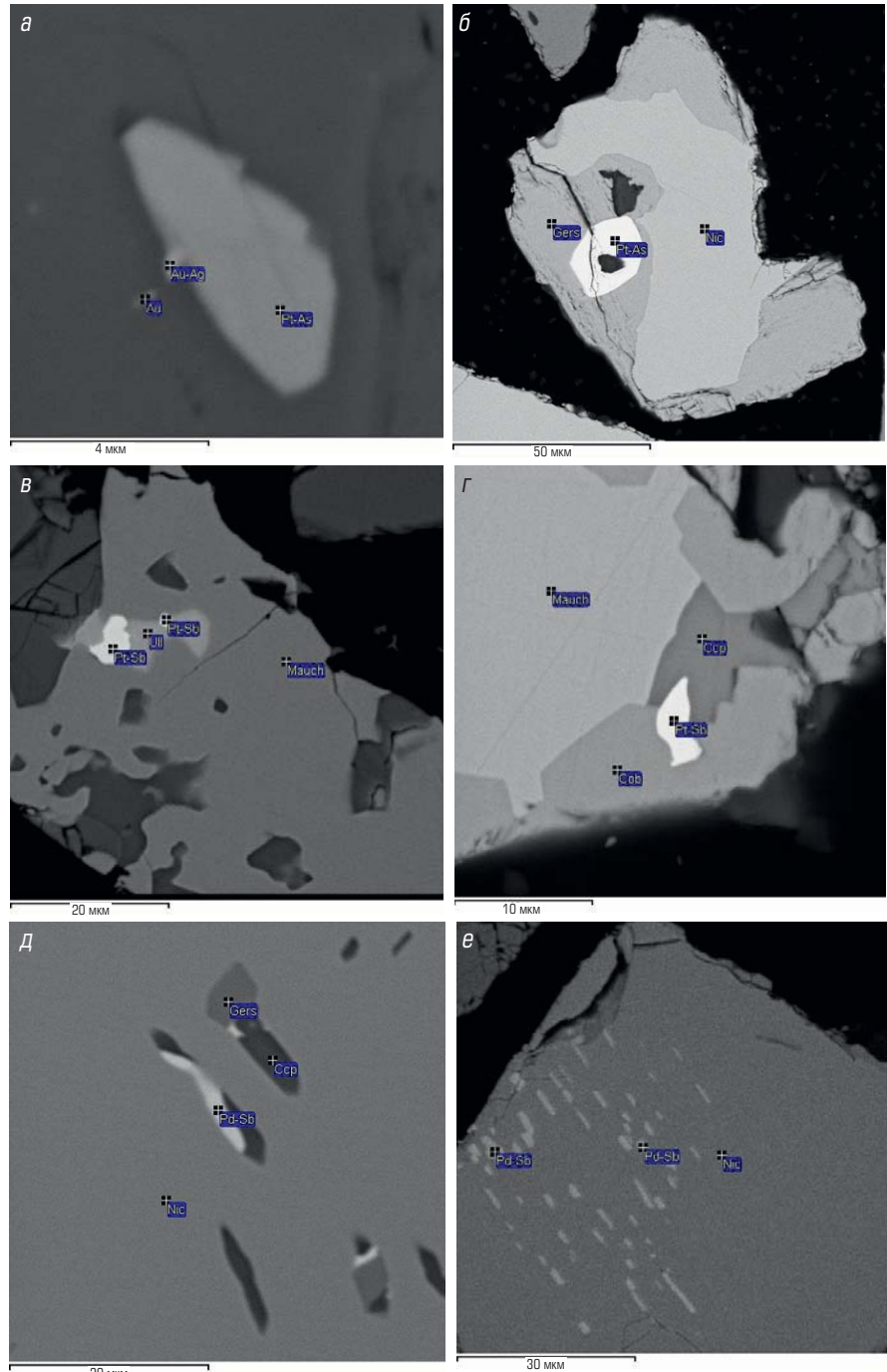


Рис. 3. Морфология минералов ЭПГ. Изображение BSE:

а — кристалл сперрилит в ассоциации с самородным золотом в герсдорфите; *б* — кристалл сперрилит в герсдорфите, который замещает никелин; *в* — геверсит с ульманитом в маухерите; *г* — геверсит в ассоциации с кобальтином и халькопиритом по периферии выделения маухерита; *д* — садберит в ассоциации с халькопиритом и герсдорфитом в виде включений в никелине; *е* — мелкие пластинчатые выделения садберита в никелине

Табл. 1. Содержание платины и палладия в арсенидных и сульфоарсенидных минералах, г/т

Минерал	Pd	Pt	Pt+Pd
Никелин	30	1420	1450
	110	1850	1960
	90	2490	2580
	0	1050	1050
Среднее*	46	1422	1468
Кобальтин	190	50	240
	0	560	560
	0	1590	1590
	0	1660	1660
Среднее**	300	880	1180
Герсдорфит	82	1153	1235
Герсдорфит	50	1590	1640

* По 4 анализам.

** По 5 анализам.

Таблица 2. Примерный минеральный баланс благородных металлов в рудах Еланского месторождения, %

Минерал	Au	Ag	Pd	Pt
Кобальтин			0,5	7,2
Герсдорфит			0,2	5,0
Никелин			0,3	8,9
Маухерит			0,2	4,4
Аргентопентландит		43,3		
Сперрилит				35,0
Садбериит			32,0	
Геверсит				33,8
Самородное золото	100	1,7		
Гессит		10,5		
Сумма	100	55,5	33,2	94,2

Примечание. Содержание металлов в маухерите принято для расчета аналогичным никелину.

трат составило от 40,3 до 65,3 %. Извлечение золота несколько выше этих значений — 59,3–72,3 %, а серебра еще выше — 73,5–90,1 %. Примеси благородных металлов в концентратах никеля и меди являются благоприятным показателем, который может существенно повысить ценность этих продуктов. Вследствие этого выполнено первое исследование по изучению распределения благородных металлов в рудах Еланского месторождения.

Минеральные формы нахождения **золота** — самородное золото. Формы выделения золотин — ксеноморфные, реже наблюдаются в виде ромбододекаэдров (**рис. 1**). Размер частиц не превышает первых десятков микрон. Выделения самородного золота встречены исключительно в никелине и сульфоарсенидах Ni-Co, очень редко можно наблюдать включения самородного зо-

лота в гессите, который ассоциирует с никелином. Состав золота неоднороден: концентрации Au 64,1–82,72 % (масс.). Основная примесь в золоте — серебро, но в одном зерне встречена ртуть — 10,25 % (масс.).

Серебро находится в аргентопентландите, самородном золоте, гессите (**рис. 2**).

Аргентопентландит встречается в рудах в незначительных количествах. Обычно его проявления приурочены к участкам, обогащенным халькопиритом. Содержание серебра в минерале — 13,2 % (масс.).

Гессит в пробах наблюдается в виде зерен неправильной формы, иногда в виде изометрических кристаллов. Размер зерен не превышает 10 мкм. Включения гессита наблюдаются чаще всего в никелине.

Минералы платиновой группы представлены арсенидами платины и антимонидами платины и палладия. Минерализация приурочена к арсенидам и сульфоарсенидам Ni и Co (**рис. 3**). Иногда в ассоциации с минералами платины и палладия наблюдаются самородное золото и халькопирит. Сперрилит (PtAs₂) встречается в виде изометрических кристаллов в герсдорфите размером до 20–25 мкм. Формы проявления геверсита (PtSb₂) — ксеноморфные зерна, которые совместно с халькопиритом, ульманнитом, кобальтином образуют сростания с маухеритом. Садбериит (PdSb) образует вытянутые включения толщиной в несколько микрон (иногда совместно с халькопиритом и герсдорфитом) в никелине.

Кроме выявленных форм собственно минералов МПГ, характерной особенностью руд является присутствие постоянной примеси платиноидов в сульфоарсенидах и арсенидах железа, никеля и кобальта.

Для определения минерального баланса благородных металлов в рудах Еланского месторождения измерили их содержание в отдельных минералах.

Результаты исследований показали повышенные концентрации платины и палладия в арсенидах и сульфоарсенидах (**табл. 1**). Содержание платины постоянно фиксируется на уровне 0,1–0,2 % (масс.) а палладия на пределе обнаружения на порядок меньше.

При построении минерального баланса благородных металлов использованы данные о содержании минералов в рудах Еланского месторождения, концентрация платиноидов в арсенидных и сульфоарсенидных фазах приводится по прямым измерениям и с учетом литературных данных [3]. При построении минерального баланса выяснилось, что золото и платина сосредоточены практически полностью в минеральной форме (**табл. 2**). Палладий и серебро при расчете баланса имеют значительную невязку; так, палладий только на треть сосредоточен в собственных минералах и сульфоарсенидах, а у серебра чуть более половины металла приходится на долю аргентопентландита, гессита и самородного золота.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что значительная доля этих металлов рассеяна в сульфидах цветных металлов (пентландите, халькопирите) и пирротине и требует дополнительных аналитических исследований.

Выводы

Впервые установлены минеральные формы металлов платиновой группы для Еланского месторождения ВКМ. Среди минералов присутствуют простые арсениды и антимониды МПГ, кристаллизующиеся при высоких температурах, вероятно, вместе с основной массой рудных минералов.

Минеральные балансы благородных металлов свидетельствуют о высокой степени рассеяния большинства металлов, в рудах присутствуют как минеральные формы, так и примесные. Для золота и платины преобладают минеральные формы, а для серебра и палладия — примесные, причем значительная доля


этих металлов сосредоточена в сульфидах цветных металлов — пентландите, халькопирите и пирротине.

Для руд весьма характерна примесная форма платиноидов в арсенидных и сульфидарсенидных фазах, с ними связано около четверти платины в рудах.

При обогащении руд благородные металлы в основном переходят во флотационные концентраты, очевидно, что их содержание будет пропорционально примеси мышьяка. При проведении операций, направленных на снижение доли вредной примеси мышьяка во флотационных концентратах, будет наблюдаться снижение содержания благородных металлов в них, и прежде всего платины.

Библиографический список

1. Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. Л. Платинометалльные месторождения России. — СПб.: Наука, 2000. — 755 с.
2. Беневольский Б. И. Состояние и пути развития минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов России // Разведка и охрана недр. 2011. № 5. С. 28–36.
3. Додин Д. А., Додина Т. С., Золоев К. К., Коротеев В. А., Чернышов Н. М. Платина России: состояние и перспективы // Литосфера. 2010. № 1. С. 3–36.
4. Маракушев А. А., Паняк Н. А., Маракушев С. А. Сульфидное рудообразование и его углеводородная специализация. — М., ГЕОС, 2014. — 120 с.
5. Чернышов Н. М. Благородные металлы в сульфидных кобальт-медно-никелевых рудах Еланской группы месторождений Воронежского региона (закономерности распределения, геолого-экономический потенциал, перспективы освоения) // Регион: системы, экономика, управление. 2011. № 2(13). С. 59–84.
6. Чернышов Н. М. Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 3. С. 220–236.
7. Чернышов Н. М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералого-

- геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) // Вестник Воронежского университета. Сер.: Геология. 1996. № 1. С. 114–132.
8. Чернышов Н. М., Чернышова М. Н. Платиноносные и золото-платиноносные формации Воронежского кристаллического массива при различных геодинамических режимах формирования докембрийской литосферы // Литосфера, 2012. № 1. С. 122–146.
 9. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж: ВГУ, 2004. — 448 с.
 10. Haldar S. K. Platinum-Nickel-Chromium: Resource Evaluation and Future Potential Targets, IGC International Congress on New Paradigms of Exploration and Sustainable Mineral Development on Vision 2050, Dhanbad, India, 2011. P. 67–82.
 11. Haldar S. K. Platinum-Nickel-Chromium Deposits. Geology, Exploration and Reserve Base. 1st Edition. — Elsevier, 2016. — 322 p.
 12. Piña R., Gervilla F., Barnes S.-J., Ortega L., Lunar R. The Role of Arsenide Melts as Collectors of Platinum-group Elements in Ni-Cu Magmatic Sulfide Deposits // Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. 2014. No. 19.
 13. Manor M. J., Scoates J. S., Nixon G. T., Ames D. E. Platinum-group mineralogy of the Giant Mascot Ni-Cu-PGE deposit, Hope, B.C. — Geological Fieldwork, British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey, 2013. Paper 2014-1. P. 141–156. 

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 11, pp. 14–19
DOI: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.11.03

Percentage of noble metals in Elanskoe copper–nickel deposit

Information about authors

S. P. Nagaeva¹, Head of Mineralogy Research Laboratory, SPNag@yandex.ru

A. S. Sizykh¹, Deputy Head of Mineralogy Research Laboratory

S. V. Petrov², Associate Professor, Candidate of Geologo-Mineralogical Sciences

¹ IVS Joint Venture, Saint-Petersburg, Russia

² Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

Gold, silver and platinum group metals (PGM) are highly valuable minerals. Russia possesses substantial though gradually depleting reserves of PGM. One of the promising platinum-bearing provinces is the Voronezh Region. Noble metals are the most important associated components in Elanskoe deposit ore, and their extraction may enhance profitability of the deposit development.

As regards preparability of Elanskoe deposit ore samples according to the research undertaken by IVS, flotation recovery of PGM in bulk concentrate makes from 40.3 to 65.3%. Gold recovery is somewhat higher, 59.3–72.3%, and even higher is silver recovery, from 73.5 to 90.1%. Admixture of noble metals in nickel and copper concentrates is a favorable sign, which can essentially increase value of these products. For this reason, it was studied how noble metals were distributed in ore of Elanskoe deposit.

The Mineralogy Research Laboratory, IVS, analyzed samples of Cu–Ni ore of Elanskoe deposit using methods of gravity and magnetic concentration. The resultant material was taken for the detailed exploration and detection of noble minerals. The analysis was performed on one-layer polished sections and briquettes. The polished sections and briquettes were manufactured on a special grinding-and-polishing machine and then were examined using high-end polarization microscope Leica DM4500P with digital camera Leica DFC490. The optical research findings were processed using specialized program Mineral S7.

Microprobe analysis of the polished section and briquettes was implemented with scanning electron microscope VEGA 3LMU (Mineralogy Research Laboratory, IVS) equipped with the system of energy-dispersive and wave-dispersive microanalysis. The content of platinumoids in minerals was determined on electron probe microanalyzer JEOL JXA-8320 (Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS). The analysis of all products recovered has for the first time shown mineral forms of occurrence of platinum group metals, gold and silver, and offered a detailed description of base metallic minerals. On the ground of the measured contents of elements, the mineral register balance of noble elements has been compiled.

Keywords: copper-cobalt-nickel ore, mineral compositions, gold, silver and platinum group metals.

References

1. Dodin D. A., Chernyshov N. M., Yatskevich B. L. Platinum-metal deposits of Russia. Saint Petersburg : Nauka, 2000. 755 p.
2. Benevol'skiy B. I. State and ways of development of mineral-resource base of noble and non-ferrous metals in Russia. *Razvedka i okhrana neдр*. 2011. No. 5. pp. 28–36.
3. Dodin D. A., Dodina T. S., Zoloev K. K., Koroteev V. A., Chernyshov N. M. Russian platinum : state and prospects. *Litosfera*. 2010. No. 1. pp. 3–36.
4. Marakushev A. A., Paneyakh N. A., Marakushev S. A. Sulfide ore formation and its hydrocarbon specialization. Moscow : GEOS, 2014. 120 p.
5. Chernyshov N. M. Noble metals in sulfide cobalt-copper-nickel ores of Elanskaya group of deposits of Voronezh region (regularities of distribution, geology-economic potential, mastering prospects). *Region: sistemy, ekonomika, upravlenie*. 2011. No. 2(13). pp. 59–84.
6. Chernyshov N. M. Elanskiy type of sulfide copper-nickel deposits and geology-genetic model of their formation (Central Russia). *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*. 1995. Vol. 37, No. 3. pp. 220–236.
7. Chernyshov N. M. A new type of gold-platinum-metal mineralization in stratified black-shale complexes in Voronezh crystalline massif (regularities of placing, mineralogical-geochemical peculiarities and geological-genetic model of formation). *Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya*. 1996. No. 1. pp. 114–132.
8. Chernyshov N. M., Chernyshova M. N. Platinum-bearing and gold-platinum bearing formations of Voronezh crystalline massif with various geodynamic modes of formation of pre-cambrian lithosphere. *Litosfera*. 2012. No. 1. pp. 122–146.
9. Chernyshov N. M. Platinum-bearing formations of Kursk-Voronezh region (Central Russia). Voronezh : Voronezh State University, 2004. 448 p.
10. Haldar S. K. Platinum-Nickel-Chromium: Resource Evaluation and Future Potential Targets. *IGC International Congress on New Paradigms of Exploration and Sustainable Mineral Development on Vision 2050, Dhanbad, India, 2011*. pp. 67–82.
11. Haldar S. K. Platinum-Nickel-Chromium Deposits. Geology, Exploration and Reserve Base. 1st Edition. Elsevier, 2016. 322 p.
12. Piña R., Gervilla F., Barnes S.-J., Ortega L., Lunar R. The Role of Arsenide Melts as Collectors of Platinum-group Elements in Ni-Cu Magmatic Sulfide Deposits. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*. 2014. No. 19.
13. Manor M. J., Scoates J. S., Nixon G. T., Ames D. E. Platinum-group mineralogy of the Giant Mascot Ni-Cu-PGE deposit, Hope, B.C. Geological Fieldwork, British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey, 2013. Paper 2014-1. pp. 141–156.