

Оценка инвестиционной привлекательности платиноносных и медно-никелевых объектов Мончегорского рудного района в современных условиях

Investment appeal assessment of Pt-rich and Cu-Ni deposits of Monchegorsky ore district in current conditions

Рогизный В. Ф., Куликов Д. А., Карпукхина М. В.,
Черемисин А. А., Хромов В. М.

Rogizny V. F., Kulikov D. A., Karpukhina M. V.,
Cheremisin A. A., Khromov V. M.

Рассмотрена возможность освоения и инвестиционная привлекательность платинометаллических объектов Мончегорского рудного района. Для этих объектов по результатам оценки рассмотрения ТЭО в ГКЗ, а также апробации в ЦНИГРИ к концу 2020 г. запасы утверждены. При сложившейся конъюнктуре минерального сырья (в том числе высокой стоимости Pd) наибольший интерес для освоения представляют месторождение Вуручуайвенч в составе четырёх участков (Пласт «З30», Вуручуайвенч, Южносопчинский, Арваренч), рудопоявление Ниттис-Кумужья-Травяная, а также участок Лойпишнюн. Потенциальные объекты разработки по запасам и качеству руды, близости к пунктам её переработки удешевляют технические решения при их совместном освоении. В статье приведены решения по вскрытию, подготовке и отработке платинометаллических объектов с использованием современного горного оборудования на открытых (ОГР) и подземных (ПГР) горных работах, конвейерного транспорта руды, а также утилизации хвостов обогатительной фабрики (ОФ) для закладки подземных выработок. Выполненные экономические расчёты показывают целесообразность освоения перечисленных объектов Мончегорского рудного района.

Ключевые слова: платинометаллические объекты, инвестиционная привлекательность, вскрытие и отработка участков ОГР и ПГР, использование хвостов ОФ в закладку.

Development potential and investment attractiveness of PGM deposits (Monchegorsky ore district) are discussed. By the late 2020, the reserves of these deposits were approved based on results of a feasibility study review assessment in the State Reserve Commission and TsNIGRI approval. In current mineral market conditions (including high Pd price), the most attractive development projects are Vuruchuaivench deposit comprising 4 areas (Plast 300, Vuruchuaivench, Yuzhnosopchinsky and Arvarench), Nittis-Kumuzhya-Travyanaya occurrence and Loipishnyun area. In terms of reserves, ore grades and proximity to processing plants, these potential mining projects are less expensive if developed concurrently. The paper presents recommendations for PGM deposit opening, development and mining using advanced mining equipment in open-pit and underground mining operations, ore conveying and processing plant tailings disposal to infill underground workings. Economic estimates were made supporting development viability of the above deposits within Monchegorsky ore district.

Keywords: PGM deposits, investment attractiveness, area opening and mining, processing plant tailings use as infill material.

Для цитирования: Рогизный В. Ф., Куликов Д. А., Карпукхина М. В., Черемисин А. А., Хромов В. М. Оценка инвестиционной привлекательности платиноносных и медно-никелевых объектов Мончегорского рудного района в современных условиях. Руды и металлы. 2021. № 1. С. 42–56. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10003.

For citation: Rogizny V. F., Kulikov D. A., Karpukhina M. V., Cheremisin A. A., Khromov V. M. Investment appeal assessment of Pt-rich and Cu-Ni deposits of Monchegorsky ore district in current conditions. Ores and metals, 2021, № 1, pp. 42–56. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10003.



Общие сведения. Мончегорский медно-никелевый район – один из старейших рудных районов России. В течение длительного времени здесь отрабатывалось месторождение жильных руд Ниттис-Кумужья-Травяная (НКТ), которое являлось сырьевой базой комбината «Североникель» в г. Мончегорске. Запасы верхних горизонтов богатых крутопадающих тонких жил на глубину до 200–400 м разрабатывались в период с 1936 по 1975 г., обеспечивая потребности комбината в сырье. В настоящее время ОАО «Комбинат Североникель» перешло на переработку фаянштейна из Печенги и Норильска, а также лома цветных металлов.

В 2008 г. ОАО «Кольская ГМК» были завершены поисково-оценочные работы на участке Вуручайвенч, а запасы платинометаллических руд категорий $C_1 + C_2 \Sigma [Pt + Pd]$ в количестве 40 т поставлены на баланс в ГКЗ (протокол от 25.04.2008 № 1628-оп). В ТЭО участок Вуручайвенч был намечен к отработке комбинированным способом – приповерхностная часть двумя карьерами с последующей доработкой запасов глубоких горизонтов подземным способом (ПГР). В 2013 г. завершены оценочные работы на трёх других рудных участках: Пласте «330» (подземные работы), Южносопчинском и Арваренч (карьеры). Эти участки в ТЭО вместе с участком Вуручайвенч объединены в рудное поле месторождения Вуручайвенч (Карпенко И. А., Петраш Н. Г., Рогизный В. Ф. и др., 2012). Их запасы категорий $C_1 + C_2 \Sigma [Pt + Pd]$ в количестве 105 т утверждены в ГКЗ (протокол от 06.12.2013 № 3377).

Поисковые работы на малосульфидные руды в Мончегорском рудном районе 2015–2017 гг. были проведены АО «Росгеология»; в результате были оценены два крупных рудопоявления платинометаллических руд – НКТ (до горизонта -500 м) и Нюд-Морошковое. Прогнозные ресурсы категорий $P_1 + P_2 \Sigma [Pt + Pd]$ в количестве 163 т, подтверждающие значительные перспективы объектов района, апробированы в ФГБУ «ЦНИГРИ» (Куликов Д. А., Черемисин А. А., Карпухина М. В., Рогизный В. Ф. и др., 2017).

В оценке ФГБУ «ЦНИГРИ» при освоении этих объектов строительство ГОКа и общей обогатительной фабрики (ОФ) намечается у север-

ного склона г. Сопчуайвенч, где перекрещиваются пути выдачи руды двух крупных рудных объектов с подземными горными работами – Пласта «330» ($\approx 45,7$ млн т) и НКТ ($\approx 60,5$ млн т). Перечисленные объекты, связанные с расслоенными интрузивами ультрабазитов по запасам и качеству руды, доступности и близости к пунктам переработки, рассматриваются в статье как объекты-лидеры МПГ Мончегорского района [4].

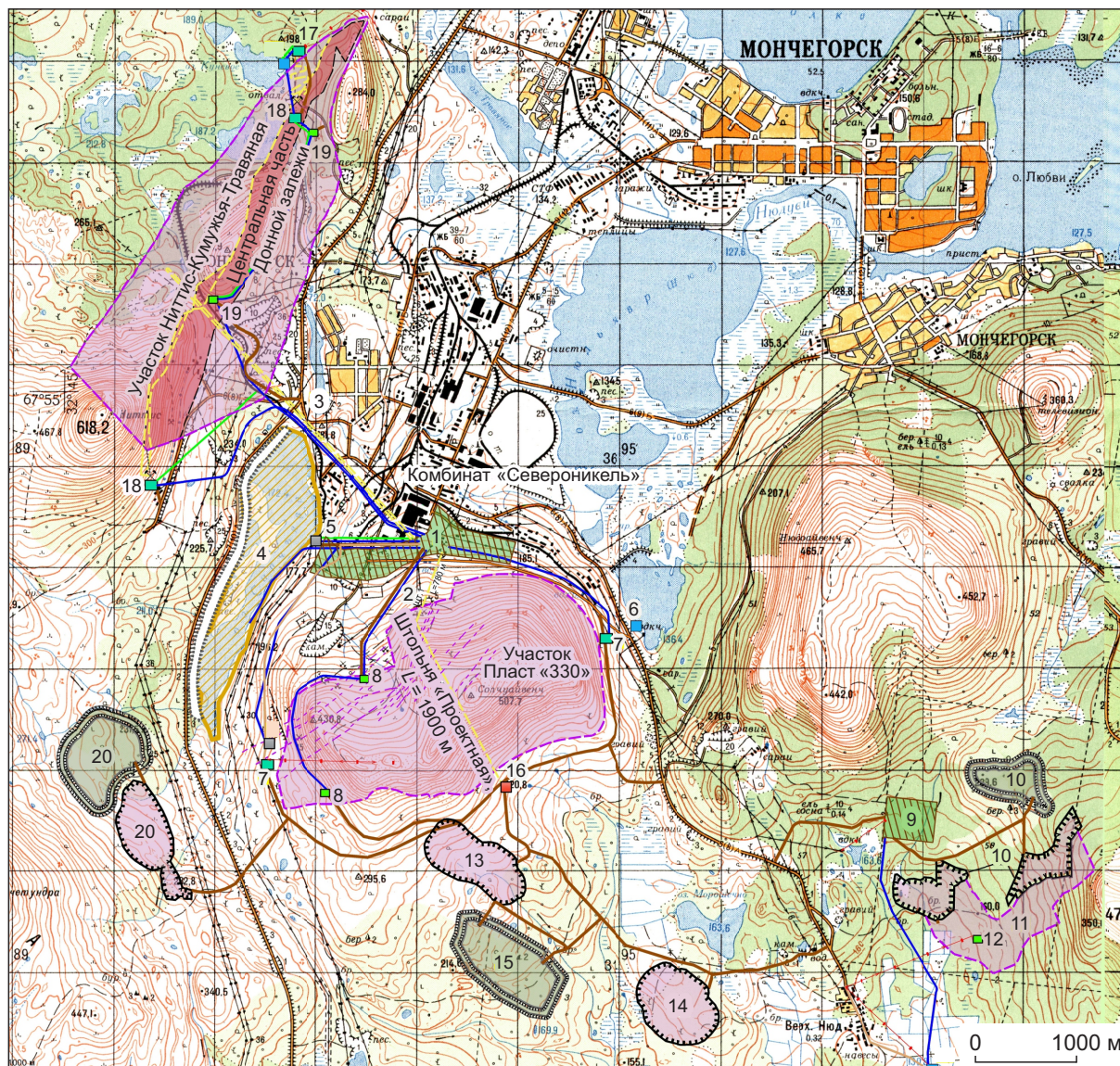
Следует также отметить, что в конце 2020 г. в результате выполненных АО «Росгеология» работ по рудопроявлению Поаз (этот участок расположен восточнее анализируемого в статье района) ЦНИГРИ были апробированы ресурсы МПГ категорий $P_1 + P_2$ в количестве свыше 300 т Pd. Наличие этих ресурсов выявляет ещё одного рудного лидера, что увеличивает инвестиционную привлекательность Мончегорского рудного района.

Основные параметры рудных лидеров МПГ (за исключением рудопроявления Поаз) представлены в табл. 1, схема расположения объектов потенциального ГОКа – на рис. 1.

Расчёт производственной мощности ГОКа и ОФ для запасов и апробированных ресурсов никеля и МПГ выполнен по формуле Тэйлора, скорректированной Лонгом в 2009 г., и представлен (при 360 рабочих днях в году) в табл. 2.

Отличительными особенностями рассматриваемых месторождений и участков Мончегорского рудного района являются благоприятные климатические условия, развитая инфраструктура и близость намечаемых к освоению объектов к ОФ и последующему переделу. Их краткая характеристика приводится ниже в порядке намеченного освоения.

Участок Пласт «330». Был обнаружен в 1932–1935 гг. в 1 км южнее промплощадки комбината «Североникель» в массиве г. Сопчуайвенч. Согласно ТЭО-2012 на участке преобладает вкрапленное платино-медно-никелевое оруденение, которое представлено одним крупным пластом средней мощностью 3,31 м, протяжённостью по длинной оси 3,5, по короткой – 1,8 км (Карпенко И. А., Петраш Н. Г., Рогизный В. Ф. и др., 2012). Пласт залегает в виде пологой мульды среди пироксенитов-бронзититов с углами



падения крыльев 5–15°. Он состоит из тонких переслаивающихся оливинсодержащих пород с ореолом бедной сульфидной вкрапленности. Практически на всём протяжении выходит на дневную поверхность, повторяя формы рельефа.

В довоенное время (с 1935 г.) было пройдено ≈ 70 тыс. м³ выработок, частично сохранившихся до настоящего времени: Капитальная штольня № 1 (горизонт 180 м; $L = 780$ м; $S = 7 \times 6$ м²), другие выработки меньших сечений.

Большим меридиональным и Аномальным сбросами шахтное поле делится на три участ-

ка, которые залегают на разной глубине и характеризуются следующими параметрами: Западный ($S = 1515,2$ тыс. м²; $m_{cp} = 4,31$ м); Клин ($S = 371,9$ тыс. м²; $m_{cp} = 4,46$ м); Восточный ($S = 1968$ тыс. м²; $m_{cp} = 3,53$ м, ранее был представлен ресурсами P_1). Наибольшей глубиной залегания характеризуется Восточный участок – 415,39 м. Большой меридиональный сброс прослежен с поверхности на 2,5 км; простирание близко к меридиональному с падением на восток (80–60°), амплитуда 80–140 м. Аномальный сброс выражен на поверхности зоной смя-

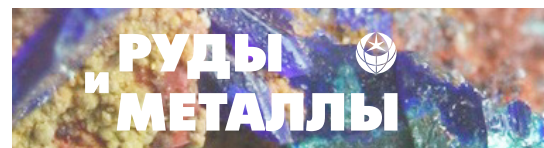


Рис. 1. Карта месторождений и рудопроявлений Мончегорского рудного района:

экспликация объектов ГОКа: 1 – промплощадка ОФ с порталами вскрывающих выработок подземных рудников, 2 – штольня № 1 рудника Пласт «330», 3 – трасса АТУ и КУ рудника НКТ, 4 – хвостохранилище ОФ, 5 – насосная станция оборотного водоснабжения ОФ, 6 – насосные станции технического водоснабжения объектов ГОКа, 7 – промплощадки Запад и Восток участка Пласт «330», 8 – закладочные комплексы участка Пласт «330», 9 – промплощадка участка Вуручуайвенч, 10 – карьеры и отвал участка Вуручуайвенч, 11 – подземный рудник на участке Вуручуайвенч, 12 – закладочный комплекс участка Вуручуайвенч, 13 – карьер участка Южносопчинский, 14 – карьер участка Арваренч, 15 – отвал карьеров Южносопчинский и Арваренч, 16 – дробильно-перегрузочный узел для руды участков Вуручуайвенч, Южносопчинский и Арваренч, 17 – промплощадка Северного наклонного съезда НКТ, 18 – стволы шахт № 5(бис) и № 6 НКТ, 19 – закладочные комплексы НКТ, 20 – карьер и отвал участка Лойпишнюн

Fig. 1. Map of deposits and occurrences within Monchegorsky ore district

mine/plant complex facilities explication: 1 – processing plant site with underground mine working portals, 2 – adit 1 of Plant 330 mine, 3 – NKT mine, 4 – processing plant's tailings pond; 5 – processing plant pump station of reverse water supply, 6 – pump stations of technical water supply as part of mine/plant facilities, 7 – West and East sites within Plast 330 area, 8 – Plast 330 infill complexes, 9 – Vuruchuaivench area industrial site, 10 – Vuruchuaivench pits and stockpile, 11 – underground mine at Vuruchuaivench, 12 – Vuruchuaivench complex, 13 – Yuzhnosopchinsky pit, 14 – Arvarench pit, 15 – Yuzhnosopchinsky and Arvarench stockpiles, 16 – ore crushing and haulage facilities (Vuruchuaivench, Yuzhnosopchinsky and Arvarench areas), 17 – site of Severny ramp (NKT), 18 – shafts 5 and 6 (NKT), 19 – infill complexes (NKT), 20 – Loipishnyun pit and stockpile

тия, видимая мощность 15 м. На глубине подземными горными выработками не встречен. Амплитуда сброса – 80 м относительно западной части массива.

Вскрытие участка Пласт «330» проектируется Главной конвейерной выработкой (ГКВ), включающей Капитальную штольню № 1, конвейерный уклон «Север» к ОФ, подземный к дробильному комплексу (ДК), а также грузовые и порожняковые штреки (в последующем добавляется конвейерный бремсберг «Юг»). Конвейерные выработки оснащаются ленточным конвейером ($B = 1200$ мм) для транспорта руды к ОФ. Схема вскрытия показана на рис. 2.

Намечается последовательная отработка тектонически обособленных участков Пласта «330» с закладкой. В первую очередь отрабатывается Западный участок, запасы которого лучше разведаны, отличаются повышенной продуктивностью и имеют подходы выработки. Часть запасов у выходов пласта на поверхность, у сбросов, оставляются в предохранительных и охранных целиках в качестве временно неактивных (отрабатываются по локальным про-

ектам на завершающей стадии отработки). Во вторую очередь отрабатываются запасы Восточного участка (после доразведки P_1) и участка Клин.

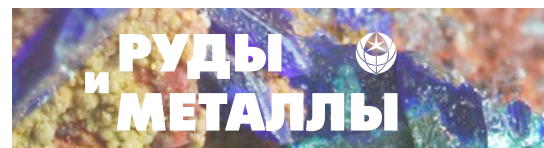
С учётом горнотехнических условий участка Пласт «330» применяются два подварианта систем разработки с выемкой руды камерами по восстанию с комбинированной (пастовая + породная) закладкой: для участков шахтного поля с углами падения $\alpha \leq 0-15^\circ$ и с углами падения $\alpha > 15^\circ$ [2, 3]. Транспортные выработки (штреки), ориентированные по длинной стороне эллипса (профиль А–В), разделяют поле Западного участка на две примерно равные части – северо-западную и юго-восточную. По короткой стороне шахтное поле делится на панели шириной по 100 м, которые, в свою очередь, делятся на блоки, отрабатываемые в отступающем порядке. Аналогичное деление шахтного поля на панели и порядок отработки предусматриваются для участков Восточный и Клин.

Базовая система разработки с выемкой руды камерами по восстанию с комбинированной закладкой описана в [4]. Применение за-

1. Основные параметры объектов МПГ Мончегорского рудного района

1. The main parameters of PGM deposits, Monchegorsky ore district

Объект	Тип минерализации	Борт	Запасы руды, тыс. т.	Содержания				Запасы/ресурсы				Квалификация запасов/ ресурсов	
				Ni, %	Cu, %	Pt, г/т	Pd, г/т	Ni, тыс. т	Cu, тыс. т	Pt, т	Pd, т		
Месторождение «Вуручайвенч»													
Участок ОГР + ППР Вуручайвенч	Рифовый горизонт вкрапленных малосульфидных руд	4 г/т Pd _{усл.} – баланс, 1 г/т – забаланс	10420	0,20	0,271	0,39	2,897	21,18	28,28	4,04	30,19	34,23	C ₁ + C ₂
Участок ППР Пласт «330»	Пластовая и придонные залежи вкрапленных Ni-МПГ руд	0,3 % Ni _{усл.}	45622	0,42	0,21	0,17	0,72	192,9	95,6	7,77	32,8	40,57	C ₁ + C ₂
Участок ОГР Южносопчинский	Малосульфидные платинометалльные руды	1,5 г/т Pd _{усл.}	10005	0,12	0,11	0,31	1,1	11,9	11,0	3,12	11,0	14,12	C ₂
Участок ОГР Арваренч		1,75 г/т Pd _{усл.}	17600	0,13	0,17	0,157	0,71	22,5	29,9	2,76	12,5	15,26	C ₂
Итого, месторождение Вуручайвенч			83647	0,29	0,197	0,21	1,02	248,5	164,8	17,69	86,5	104,2	МПГ, Cu, Ni кат. C ₁ + C ₂
Рудопроявление НКТ	Жильные, вкрапленные, донные и штокерковые Ni руды	1 % Ni _{усл.}	60486	0,45	0,38	0,28	0,79	273,0	229,0	16,89	47,5	64,37	P ₁ + P ₂
Участок Лойпишнюн	Малосульфидные платинометалльные руды	0,5/0,8 г/т Pd _{усл.}	12530	0,08	0,08	0,69	1,02	10,5	10,6	8,61	12,7	21,31	C ₂
Всего			156663	0,34	0,258	0,276	0,923	532	404,4	43,2	144,7		



2. Расчёт производственной мощности рудных объектов

2. Estimate of deposit production capacity

Месторождения, участки	Геологические запасы, Q, тыс. т	Степень	Коэффициент	Производительность	Производительность, т/год	
				т/сутки	расчётная	принятая
Пласт «330»	45 422	0,562	0,297	5972,3	2150,0	2500*
Вуручайвенч	10 420	0,562	0,297	2610,9	939,9	≈ 500 + 750
Южносопчинский	10 005	0,562	0,297	2552,0	918,7	500
Арваренч	17 600	0,562	0,297	3505,5	1261,9	1250
НКТ, условные запасы	60 486	0,562	0,297	6967,7	2508,4	≈ 2500
Лойпишнюн	12 530	0,562	0,297	2896,0	1042,6	≈ 1000
Итого	155 935	0,562	0,297	11 945,1	6581,2	6500

Примечание. * По участку Пласт «330» производительность увеличена с учётом упрощённой схемы вскрытия и благоприятных условий для ведения ПГР.

кладки на базе хвостов обогащения позволяет существенно уменьшить затраты на строительство хвостохранилищ при широком использовании подземных камер для размещения хвостов ОФ и/или сухом их складировании. Следует отметить как преимущество принятой схемы вскрытия Пласта «330» то, что главная конвейерная выработка может быть продлена до южного склона г. Сопчуайвенч и использована для конвейерного транспорта руды с карьеров Южносопчинский и Арваренч на ОФ, при этом существенно снижаются затраты на автотранспорт.

Участок Вуручайвенч. Участок располагается на восточном фланге Мончегорского plutона в краевой части г. Вуручайвенч. На дневной поверхности он прослежен на протяжении 2,1 км, площадь ~ 3 км², при этом по падению габбронориты прослежены на 3 км и не оконтурены. Рудные тела представляют собой пласты и мелкие линзы, согласно залегающие с вмещающими породами с падением на юго-восток от 5–10° до 20–30°, $m_{cp} \sim 3,5–4,5$ м. Рудное тело выдержано по мощности и содержанию условного металла – палладия. Плагноклазиты отчетливо выделяются макроскопически, представляя собой светлую породу крупнопятнистой текстуры. Серией поперечных тектонических нарушений, сбросов/взбросов с амплитудами от 15–20 до 150 м, участок Вуручайвенч раз-

бит на три блока: Западный, Центральный, Восточный, при этом в Западном блоке сосредоточено 47,1 % запасов (по руде), а в Центральном – 52,6 %.

По условиям залегания участок разрабатывается комбинированным способом, при этом приповерхностные запасы (~ 30 %) отрабатываются двумя карьерами, которые показаны на рис. 1.

Запасы глубоких горизонтов (ПГР) вскрываются двумя автотранспортными уклонами (АТУ) с площадок карьеров № 1 и № 2, а также вентиляционно-ходовыми восстающими (рис. 3). Для очистной выемки применяется камерно-столбовая система разработки с конфигурацией камер под обычное или низкопрофильное оборудование с последующей пастовой/твердеющей закладкой [4].

Анализ результатов подсчёта запасов указывает на перспективы расширения участка Вуручайвенч с увеличением глубины работ.

Участок Южносопчинский располагается в 0,7 км от проектируемого портала конвейерного бремсберга «Юг» (участок Пласт «330», южный склон г. Сопчуайвенч). Здесь намечено строительство дробильно-перегрузочного комплекса, обеспечивающего дробление руды с участков Южносопчинский и Арваренч для её передачи конвейерным транспортом на ОФ. Карьеры и отвалы показаны на рис. 1.

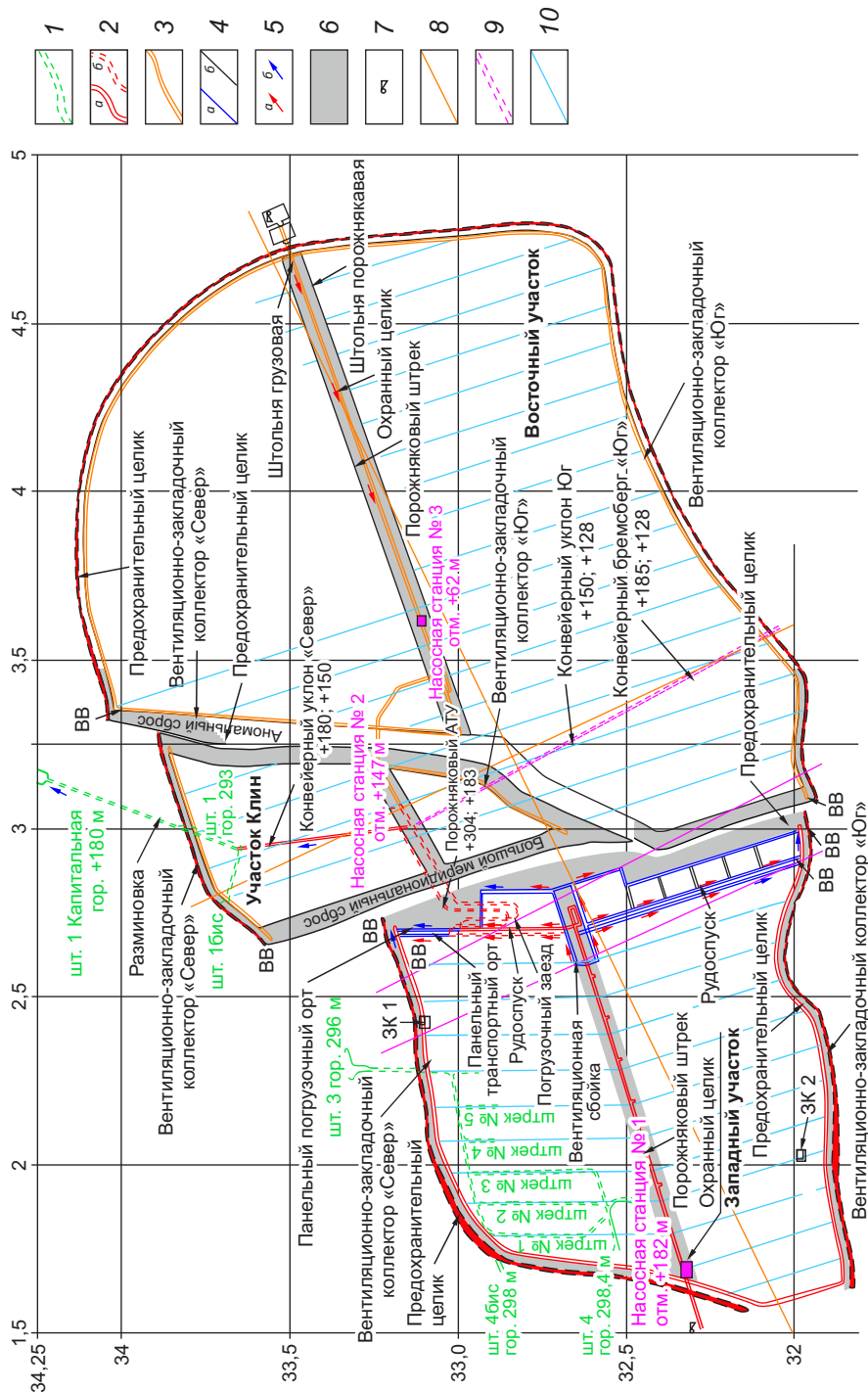


Рис. 2. Схема вскрытия участка Пласт «330»:

1 – существующие выработки; проектируемые выработки ГРП: 2 – I очереди (а – рудные, б – полевые), 3 – II очереди отработки; 4 – проектируемые выработки ГРП (а) и нарезные I очереди отработки (б); 5 – направление движения свежего (а), загрязнённого (б) воздуха; 6 – предохранительные и охранные целики; 7 – главные вентиляторные установки; 8 – линии профилей; 9 – транспортные выработки других частей месторождения; 10 – ширина очистных панелей

Fig. 2. Scheme of Plast 330 area opening

1 – existing workings; projected workings; 2 – stage I (a – ore, b – field), 3 – mining stage II; 4 – projected workings (a) and development workings of mining stage I (b); 5 – pathways of fresh (a), polluted (b) air; 6 – protective pillars; 7 – main ventilators; 8 – profile lines; 9 – transport workings of other deposit parts; 10 – width of stopping panels



Площадь Южносопчинского участка $\sim 1,1 \text{ км}^2$, протяжённость на дневной поверхности – 1,4 км. Рудные тела характеризуются сложной морфологией с чередованием рудных и безрудных участков. Проведёнными буровыми работами рудоносный горизонт прослежен до глубины 350–400 м. Основная часть разреза представлена габброноритами мощностью до 250–300 м с подчинённым количеством маломощных (от первых метров до 10–20 м) горизонтов габбро-пегматитов и пироксенитов.

По геологическим особенностям, вещественному составу руд и условиям их залегания участок идентичен месторождению Вуручуайвенч, что стало основанием для подсчёта запасов по тем же кондициям (оконалированы 12 рудных тел, которые прослежены до глубины 300 м и не оконалированы по падению). Протяжённость отдельных рудных тел достигает 1300 м, по падению – 500–600 м, мощность колеблется от 1 до 27 м. Угол падения рудных тел $20\text{--}30^\circ$, реже $40\text{--}50^\circ$. Положение Южносопчинского карьера на момент окончания отработки и геологический разрез по профилю 27 представлены на рис. 4.

Участок Арваренч располагается в 2,2 км от Южносопчинского. На западе он ограничен Юго-Западным сбросом, на востоке – Меридиональным. На участке установлено малосульфидное оруденение, связанное со слабонаклонной к юго-востоку рудной залежью средней мощностью 82 м в габброноритах. Ограниченным объёмом бурения, выполненного для оценки на глубину, зоны сульфидной минерализации с платинометалльным оруденением в 2000 г. объединены в Главную рудную зону. Рудные тела выделяются по данным опробования, характеризуются сложной морфологией, чередованием рудных и безрудных участков.

В связи с недостаточной изученностью участка, сближенностью рудных тел оконалирование проведено до глубины 250–300 м в обобщённом контуре с применением в подсчёте запасов коэффициента рудоносности. Рудная зона состоит из нескольких (от 4 до 6) сближенных субпараллельных рудных тел, мощность которых изменяется от 0,8 до 69,7 м. По простиранию рудные тела прослеживаются на 1100–

1900 м, по падению на 250–700 м. По падению рудная зона не оконалирована. Карьер Арваренч на момент завершения отработки подобен Южносопчинскому, поэтому в статье он не представлен.

Участок Лойпишнюн Мончетундровского месторождения располагается приблизительно в 4 км от дробильного комплекса на южном склоне г. Сопчуайвенч (см. рис. 1). Он представлен малосульфидным платинометалльным оруденением с мелкой сульфидной вкрапленностью, которая приурочена к тонкорасслоенной верхней части норитовой зоны. На участке условно выделены верхняя и нижняя залежи с весьма невыдержанным оруденением. Залегание рудных тел субсогласно общей расслоенности пород, с крутыми ($\sim 65\text{--}85^\circ$) углами падения на юго-запад и с азимутом по простиранию $\sim 320^\circ$.

Внутреннее строение линзовидных рудных тел, залегающих субсогласно общей расслоенности, сложное – с раздувами и пережимами мощности, пустыми прослоями, качество невыдержанное. При средней мощности рудных тел в первые метры размеры по простиранию изменяются в интервале 30–400 м, по падению – 30–200 м, преобладают мелкие рудные тела.

Согласно ТЭО-2017 участок предполагается отработать открытым способом, при этом границы ОГР определены с применением компьютерного блочного моделирования и программного комплекса Micromine. Контур карьера в предельном положении заверены сопоставлением граничного и контурного коэффициентов вскрыши. Расчёт максимальной производственной мощности по добыче руды выполнен с использованием формулы Тейлора и составил 1000 тыс. т руды в год, потери определены в $\sim 3,8\%$, а разубоживание руды $\sim 11,7\%$.

Рудопроявление Ниттис-Кумужья-Травяная. Как отмечено выше, запасы крутопадающих тонких жил на верхних горизонтах НКТ разрабатывались в период с 1936 по 1975 г. До разведкой в 1996–2001 гг. были уточнены характеристики Донной залежи НКТ, с которой связаны условные запасы руды. Эту залежь намечается вскрывать спаренными наклонными выработками – конвейерным (КУ) и автотранспортным уклонами ($\alpha \sim 8^\circ$; $L = 2,6 \text{ км}$), порта-

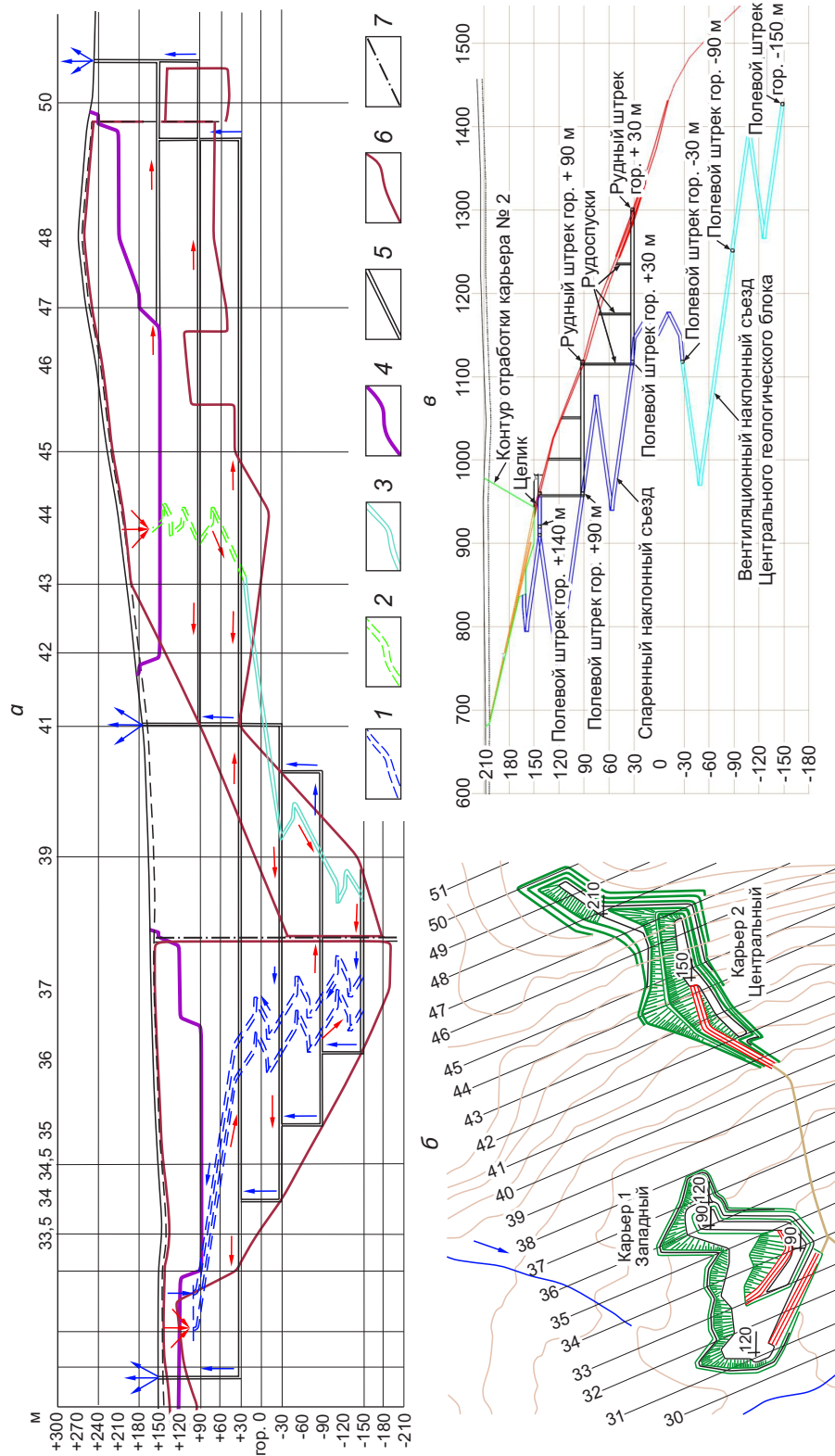


Рис. 3. Схема вскрытия запасов подземного рудника Вуручуайвенч (а – проекция на вертикальную плоскость, б – положение карьеров на участке на конец их отработки, в – схема вскрытия на характерном разрезе по р. п. 44, Центральный блок):

наклонные съезды: 1 – Западного участка, 2 – Центрального; 3 – вентиляционный съезд Центрального участка; 4 – контур отработанных карьеров № 1 и № 2; 5 – вентиляционно-ходовые восстающие (с механическим подъёмом); 6 – контур рудного тела; 7 – геологические разломы

Fig. 3. Scheme of underground Vuruchuaivench mine reserves opening (a – vertical projection, b – position of pits within a mining site at the end of their mining, c – opening scheme at a typical section, Central block):

ramps: 1 – West area, 2 – Central; 3 – ventilation ramp of Central area; 4 – outline of mined pits 1 and 2; 5 – ventilation raises (mechanically hoisted); 6 – orebody contour; 7 – geological faults

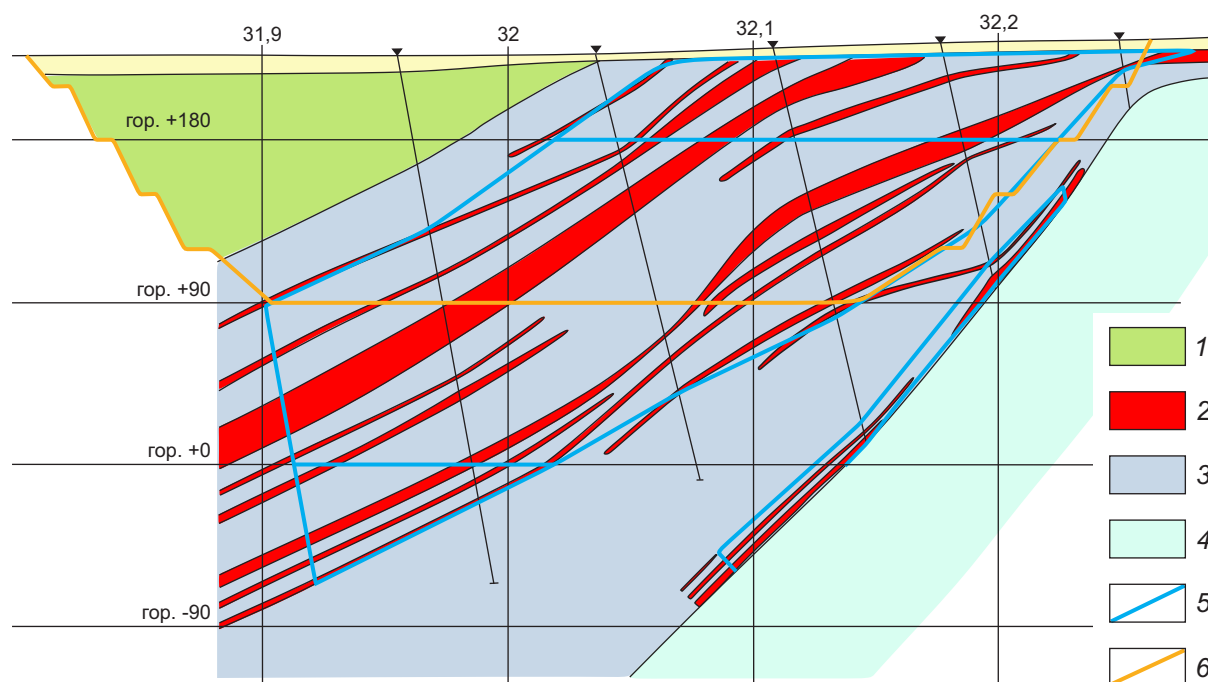


Рис. 4. Положение контура Южносопчинского карьера на момент окончания отработки по геологическому профилю 27:

1 – габбро; 2 – рудные тела; 3 – пироксены; 4 – габбронориты рассланцованные; 5 – подсчётные блоки; 6 – контур карьера

Fig. 4. Position of Yuzhnosopchinsky pit outline at the end of mining across geological profile 27:

1 – gabbro; 2 – ore bodies; 3 – pyroxen; 4 – gabbro-norites laid; 5 – calculated blocks; 6 – career contour

лы которых размещаются у ОФ на склоне г. Сопчуайвенч (см. рис. 1, объекты 1 и 3).

Залежь в сечении имеет серповидную форму с плоской Центральной частью и наклонными крыльями, Восточным и Западным. Ось залежи погружается с севера на юг на протяжении 3,5–4,0 км до глубины 500 м.

Сперва вовлекаются в отработку ресурсы – условные запасы вкрапленных руд Центральной части Донной залежи, при этом подготовка и очистная выемка проектируются камерной системой разработки с комбинированной закладкой (если над участками Центра расположены жильные зоны, выемка камер Донной залежи ведётся в две стадии).

Отработка крутопадающих жил намечается с использованием малогабаритных (узких, $B \sim 1$ м) машин: бурильные установки с гидро-

перфоратором, а погрузочно-доставочные машины с современным приводом хода (аккумуляторным, дизельным).

Затем приступают к отработке Восточного крыла вкрапленных руд. Наконец, после удлинения главных уклонов на запад, а также строительства Западного рудоспуска и перегрузочного узла отрабатывается Западное крыло [4].

Таким образом, в НКТ предложены системы разработки для двух типов оруденения, мало-мощного жильного крутопадающего и вкрапленного пологозалегающего: для жил – восходящими слоями с закладкой и/или поэтажно-камерная выемкой с закладкой; для вкрапленных руд – камерная и камерно-столбовая с пастовой/твердеющей закладкой.

Изложенные выше схемы вскрытия и намеченный порядок вовлечения объектов Монче-

3. Сводный календарный график отработки эксплуатационных запасов месторождений Лойпишнюн и рудопроявления

3. General schedule of mining reserves exploitation within Vuruchuaivench deposit (Plast 330, Vuruchuaivench,

Годовая производственная мощность по руде, тыс. т

1. Пласт «330», ПГР	160	500	1000	1500	2000	2500	2500	2500	2500	2500
2. Вуручуайвенч, ОГР		90	150	250	500	500	500	500	500	232
3. Вуручуайвенч, ПГР			0	130	250	500	750	750	750	750
4. Южносопчинский, ОГР						100	200	250	250	500
5. Арваренч, ОГР										
6. Ниттис-Кумужья-Травяная, ПГР	0	0	73	240	480	1000	2000	2500	2500	2500
7. Карьер Лойпишнюн, ОГР										18

Всего ОГР и ПГР

Показатели, единицы измерения	За срок отработки	Года отработки									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Руда, тыс. т	166 478	160	590	1223	2120	3230	4600	5950	6500	6500	6500
Ni, т	541 426	641	2186	4625	7817	11 618	16 489	21 443	23 669	23 669	23 417
Pt, кг	42 357	26	121	249	467	769	1114	1511	1664	1664	1631
Pd, кг	147 548	109	623	1207	2351	3995	5538	7109	7547	7547	6993
Средние содержания металлов											
Ni, %	0,325	0,399	0,371	0,378	0,369	0,360	0,358	0,360	0,364	0,364	0,360
Pt, г/т	0,254	0,161	0,205	0,203	0,220	0,238	0,242	0,254	0,256	0,256	0,251
Pd, г/т	0,886	0,680	1,056	0,987	1,109	1,237	1,204	1,195	1,161	1,161	1,076

горского рудного района в отработку учтены в календарном графике, при этом эксплуатационные запасы пересчитаны с учётом показателей потерь и разубоживания, которые утверждены в ТЭО и апробированы ЦНИГРИ.

В первую очередь намечено освоение участка Пласт «330» (≈ 60 млн т руды, 192,9 тыс. т Ni и 32,8 т Pd), начиная с Западного участка. При его вскрытии, подготовке и очистной выемке на южном склоне г. Сопчуайвенч строится портал конвейерного бремсберга «Юг», а также ДК для приёма руды с участков Вуручуайвенч, Южносопчинский и Арваренч, обеспечивающих эффективный транспорт руды к ОФ (см. рис. 1, объект 16).

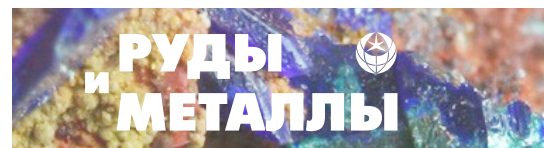
Во вторую очередь вовлекается в отработку участок Вуручуайвенч с повышенным содержанием Pd ≈ 2,9 г/т: вначале карьеры № 1 и

№ 2, а позже – подземный рудник, с конвейерным транспортом руды к ОФ через ДК. Затем вводятся в эксплуатацию карьеры Южносопчинский и Арваренч с выдачей руды автосамосвалами к ДК и далее на ОФ.

В последующие годы отрабатываются запасы карьера Лойпишнюн.

В первые годы освоения объектов ГОКа параллельно намечена проходка вскрывающих выработок НКТ: КУ и АТУ, наклонного вентиляционного ствола на севере, а также выработок в Центре Донной залежи. Подземный рудник выходит на проектную производительность на 8-й год и завершает отработку запасов до глубины 500 м за 36 лет [4].

При отработке запасов подземных рудников применяются камерные и камерно-целиковые системы разработки с твердеющей/пас-



Вуручайвенч (участки Пласт «330», Вуручайвенч, Южносопчинский, Арваренч), Ниттис-Кумужья-Травяная

Yuzhnosopchinsky and Arvarench areas), Loipishnyun deposit and Nittis-Kumuzhya-Travyanaya occurrence

Годовая производственная мощность по руде, тыс. т										Отработаны за 20 лет	Отработаны после 20 лет
2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	42 660	14 554
116										3338	0
750	750	750	620	308						7058	0
500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	6300	3709
									0	0	18 145
2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	36 293	20 839
134	250	250	380	692	1000	1000	1000	1000	1000	6724	6857
Всего ОГР и ПГР											
Года отработки										За 20 лет	После 20 лет
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1–21	21–44
6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	6500	102 373	64 105
23 251	23 085	23 085	22 910	22 493	22 080	22 080	22 080	22 080	22 080	360 797	180 629
1642	1652	1652	1677	1734	1792	1792	1792	1792	1792	26 533	15 824
6722	6450	6450	6192	5576	4966	4966	4966	4966	4966	99 240	48 308
Средние содержания металлов											
0,358	0,355	0,355	0,352	0,346	0,340	0,340	0,340	0,340	0,340	0,352	0,282
0,253	0,254	0,254	0,258	0,267	0,276	0,276	0,276	0,276	0,276	0,259	0,247
1,034	0,992	0,992	0,953	0,858	0,764	0,764	0,764	0,764	0,764	0,969	0,472

товой закладкой на основе хвостов обогащения, при этом большая часть хвостов размещается в отработанных выработках, снижая деформации поверхности, а также размер дефицитной площади под хвостохранилище. С учётом намеченной производительности ОФ намечается строительство пяти закладочных комплексов на площадях подземных рудников.

Сводный календарный график отработки объектов Мончегорского рудного района, привлечённых к настоящей оценке, предусматривает последовательное вовлечение в отработку запасов с учётом их доступности, а также качества руд для последующей переработки на ОФ по флотационной схеме. Общая производственная мощность ГОКа и ОФ с учётом очередности ввода объектов в эксплуатацию определена в 6500 тыс. т в год (табл. 3).

Экономические и финансовые показатели. В основу расчётов положены запасы по пяти объектам, утвержденные ГКЗ, по одному объекту – ресурсы, апробированные ЦНИГРИ в соответствии с календарным графиком ведения горных работ.

Переработку руды предусматривается производить на ОФ, расположенной на участке Пласт «330», с годовой производительностью по руде 6,5 млн т по флотационной схеме. В результате будет получен коллективный концентрат, содержащий платиноиды, кобальт, медь, никель и золото, который направляется на дальнейшую металлургическую переработку. В качестве товарной продукции рассматриваются палладий, платина, никель, медь, кобальт, золото. Суммарный вес стоимости палладия, платины, никеля в общей стоимости товарной про-

4. Результирующие финансовые показатели эксплуатации платинометалльных руд Мончегорского рудного района в современных условиях

4. Resulting economics of Monchegorsky ore district PGM ores mining in current conditions

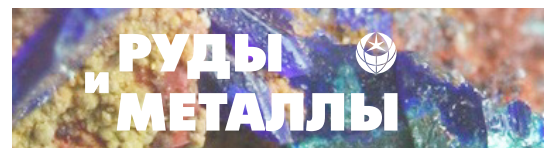
Показатели	Ед. изм.	Всего по 6 объектам
Эксплуатационные запасы:		
руда	тыс. т	166 478
платина + палладий	т	190
никель	тыс. т	541
Годовая производительность по руде	тыс. т	6500
Выпуск металлов за весь срок эксплуатации:		
платина + палладий	т	138
никель	т	327
Срок обеспеченности предприятия запасами	лет	44
Инвестиционные расходы за 20-летний период отработки запасов	млн руб.	48 572
Инвестиционные расходы за весь период отработки запасов	млн руб.	59 739
Стоимость товарной продукции:		
- за 20-летний период эксплуатации, всего	млн руб.	564 862
в том числе:		
платина + палладий	млн руб.	270 729
никель	млн руб.	194 425
- за весь период эксплуатации, всего	млн руб.	854 252
в том числе:		
платина + палладий	млн руб.	406 135
никель	млн руб.	291 831
Извлекаемая ценность 1 т руды		
- средняя за 20 лет	руб.	5518
- за весь период эксплуатации	руб.	5131
Эксплуатационные расходы за 20-летний период отработки	млн руб.	320 958
Эксплуатационные расходы за весь срок отработки запасов	млн руб.	489 978
Затраты на 1 руб. товарной продукции	руб.	0,57
Доход предприятия за 20-летний период эксплуатации	млн руб.	183 625
Доход предприятия за весь период эксплуатации	млн руб.	294 335
Внутренняя норма доходности	%	38 %
Срок окупаемости первоначальных капитальных вложений (с начала строительства)		
чистой прибылью + амортизация (без учёта дисконтирования/с учётом дисконтирования)	лет	7,07/7,4

дукции составляет 82 %, поэтому в табл. 4 для наглядности приведены данные только по этим металлам.

Цены на полезные компоненты приняты как средние сложившиеся на мировом рынке за 2019 г.: палладий – 3209 руб./г, платина – 1797 руб./г, никель – 892 тыс. руб./т, медь – 386 тыс. руб./т, кобальт – 2050 тыс. руб./т, золо-

то – 2902 руб./г [5, 6]. Инвестиционные и эксплуатационные расходы определены на основе выполненных ранее ТЭО кондиций с использованием соответствующих индексов-дефляторов.

Результирующие финансовые показатели эксплуатации объектов платинометалльных руд Мончегорского рудного района рассчитаны



по методике, рекомендованной ГКЗ [1]: денежный доход за 20-летний период эксплуатации – 183 625 млн руб., за весь период эксплуатации – 294 335 млн руб.; внутренняя норма доходности – 38 %; размер инвестиционных вложений – 59 739 млн руб., которые окупаются за семь лет (без учёта дисконтирования) (см. табл. 4).

Выводы и рекомендации:

- в результате выполненной укрупнённой геолого-экономической оценки платинометалльных объектов Мончегорского рудного района можно утверждать, что в современных условиях месторождение Вуручайвенч (с участками Пласт «330», Южносопчинский, Арваренч), а также рудопроявление НКТ и участок Лойпишнюн в общем ГОКе могут быть отработаны высокорентабельно и представляют коммерческий интерес;
- в составе объектов имеется участок Пласт «330» с упрощённым доступом к руде, а также

обогащённый металлами платиновой группы участок Вуручайвенч ($\Sigma[\text{Pt} + \text{Pd}] \approx 3,29$ г/т, в том числе $\text{Pd} \approx 2,9$ г/т), что позволяет ожидать быстрой окупаемости капитальных вложений;

- рекомендуется выполнить доразведку глубоких горизонтов месторождения Вуручайвенч с подсчётом запасов;
- оценить состояние разведочного ствола, который был пройден на массив жильной Сопчи ниже Пласта «330», а также возможности селективной отработки этого жильного массива с использованием современного проходческого и малогабаритного оборудования;
- выполнить отдельно ТЭО кондиций для рудопроявления Ниттис-Кумужья-Травяная;
- на основе дополнительных данных разведки перечисленных объектов с учётом новых сведений о рудопроявлении Поаз разработать ТЭС долгосрочного развития Мончегорского рудного района.

Список литературы:

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Госстроем РФ от 21.06.1999, № ВК 477.
2. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. ВНТП 13-2-93 : утверждены Комитетом РФ по металлургии (протокол от 27.01.93, № 1) по согласованию с Госгортехнадзором РФ (протокол от 13.12.92, № 4). – СПб. : Институт «Гипроруда», 1993. – 203 с.
3. Нормы технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки. ВНТП 37-86 : утверждены протоколом Минцветмета СССР от 12.02.1986, № 48. – Л. [СПб.] : Институт «Гипроруда», 1986. – 212 с.
4. Рогизный В. Ф., Куликов Д. А., Мигачёв И. Ф., Донец А. И. Вскрытие и отработка платино-палладиево-медно-никелевых руд участка Ниттис-Кумужья-Травяная // Руды и металлы. – 2020. – № 4. – С. 11–21.
5. Цена Дайджест. – М., Цена-информ, 2017–2019.
6. Цены российского и мирового товарных рынков. М. : ВНИКИ, 2017–2019.

References:

1. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov [Methodical recommendations for assessing the effectiveness of investment projects], Ministerstvo ekonomiki RF, Ministerstvo finansov RF, Gosstroj RF (ed.) 21.06.1999, № VK 477.
2. Normy tekhnologicheskogo projektirovaniya gornodobyvayushchikh predpriyatii s podzemnym sposobom razrabotki. VNTP 13-2-93 [Technological design standards of mining enterprises with an underground method of development. VNTP 13-2-93], Komitet RF po metallurgii (protokol ot 27.01.93, № 1), Gosgortekhnadzor RF (protokol ot 13.12.92, № 4) (ed.), St. Petersburg, Institut “Giproruda” Publ., 1993, 203 p.
3. Normy tekhnologicheskogo projektirovaniya rudnikov tsvetnoi metallurgii s podzemnym sposobom razrabotki. VNTP 37-86 [Norms of technological design

of non-ferrous metallurgy mines with underground development. VNTP 37-86], Mintsvetmet SSSR (ed.), 12.02.1986, № 48, St. Petersburg, Institut “Giproruda” Publ., 1986, 212 p.

4. Rogiznyi V. F., Kulikov D. A., Migachev I. F., Donets A. I. Vskrytie i otrabotka platino-palladiovo-medno-nikelevykh rud uchastka Nittis-Kumuzh'ya-Travya-

naya [Opening and mining of Pt-Pd-Cu-Ni ores, Nittis-Kumuzhiya-Travyanaya area], *Rudy i Metally* [Ores and Metals], 2020, No 4, pp.11–21. (In Russ.).

5. Tsena Daidzhest, Moscow, Tsena-inform Publ., 2017–2019.
6. Tseny rossiiskogo i mirovogo tovarnykh rynkov, Moscow, VNIKI Publ., 2017–2019.

Авторы

Рогизный Валерий Фёдорович

кандидат технических наук
ведущий научный сотрудник
rogizny@tsnigri.ru

Куликов Данила Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделением минерально-сырьевой базы
kulikov@tsnigri.ru

Карпукхина Мария Викторовна

ведущий научный сотрудник
karpukhina@tsnigri.ru

Черемисин Алексей Аркадьевич

кандидат геолого-минералогических наук

Хромов Василий Михайлович

ведущий инженер
hromov@tsnigri.ru

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов», г. Москва

Authors

Rogizny Valery Fedorovich

PhD
leading researcher
rogizny@tsnigri.ru

Kulikov Danila Alekseevich

PhD
Head of mineral base department
kulikov@tsnigri.ru

Karpukhina Maria Viktorovna

leading researcher
karpukhina@tsnigri.ru

Cheremisin Alexey Arkadyevich

PhD

Khromov Vasily Mikhailovich

leading engineer
hromov@tsnigri.ru

FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting
for Base and Precious Metals,
Moscow, Russia