

на Рекинникской площади (центральная часть Пусторецкого прогиба, Камчатский край) с целью подготовки объектов под параметрическое бурение» [10]. Работы в транзитной зоне рекомендуется проводить после получения результатов сейсморазведки 2Д на шельфе и в наземной части Пусторецкого прогиба.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агапитов, Д.И. Нефтегазоносность осадочных бассейнов северо-западной части Тихоокеанского пояса / Д.И. Агапитов, В.Е. Архипов, О.К. Баженова и др. — М.: Изд-во МГУ, 1991. — 112 с.
2. Андиева, Т.А. Топливо-энергетическая сырьевая база Дальневосточного экономического района России. Перспективы и пути освоения. Часть III. Главные объекты и перспективы развития геологоразведочных работ на нефть и газ в Притихоокеанском субрегионе / Т.А. Андиева, Д.И. Агапитов, Г.Л. Берсон и др. — СПб.: ВНИГРИ, 1998. — 241 с.
3. Белонин, М.Д. Разведочный потенциал Западной Камчатки и сопредельного шельфа (нефть и газ) / М.Д. Белонин, Ю.Н. Григоренко, Л.С. Маргулис и др. — СПб.: Недра, 2003 — 120 с.
4. Гладенков, Ю.Б. Нижний палеоген Западной Камчатки (стратиграфия, палеогеография, геологические события) / Ю.Б. Гладенков, А.Е. Шанцер, А.И. Челебаева и др. — М.: ГЕОС, 1997. — 367 с.

5. Гладенков, Ю.Б. Решения рабочих Межведомственных региональных стратиграфических совещаний по палеогену и неогену восточных районов России — Камчатки, Корякского нагорья, Сахалина и Курильских островов / Ю.Б. Гладенков, Б.А. Сальников, А.К. Боровцев и др. — Объяснительная записка к стратиграфическим схемам. — М.: ГЕОС, 1998. — 147 с.
6. Гладенков, Ю.Б. Проявление фаз тектогенеза в кайнозой северо-западного обрамления Пацифики / Ю.Б. Гладенков // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2013. — № 4. — С. 117–123.
7. Иванов, В.В. Осадочные бассейны Северо-Восточной Азии / В.В. Иванов. — М.: Наука, 1985. — 198 с.
8. Итоги деятельности в сфере недропользования по Камчатскому краю за 2010 г. // Горный вестник Камчатки. — 2011. — № 1. — С. 11–29.
9. Кудрявцева, Е.И. Нефти Камчатки и их геохимическая характеристика / Е.И. Кудрявцева, З.А. Андреева, А.И. Богомолов и др. / Геология и нефтегазоносность Камчатки. Л.: ВНИГРИ, 1980. — С. 112–127.
10. О деятельности горнодобывающих предприятий Камчатского края за 2015 г. // Горный вестник Камчатки. — 2016. — № 1. — С. 27–52.

© Петровская Н.А., Грецкая Е.В., 2017

Петровская Наталья Анатольевна // petnat@dmng.ru  
Грецкая Елена Владимировна // E.Gretskaya@dmng.ru

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК: 553.411.048 (571.53)

Цымбалист С.И., Рябкин В.К., Литвинцев Э.Г.,  
Тигунов Л.П., Ратнер В.Б. (ФГБУ «ВИМС»)

### РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД УЧАСТКА РУДНЫЙ ЧИНЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Полученные положительные результаты показывают принципиальную возможность применения методов предварительного обогащения непосредственно к рудам, содержащим благородные металлы, открывая путь для проведения широкомасштабных технологических исследований данного вида сырья. **Ключевые слова:** предварительное обогащение, рентгенорадиометрическая сепарация, сепарация руд, благородные металлы, халькопирит, пирротин, пентландит.*

Tsymbalist S.I., Ryabkin V.K., Litvintsev E.G.,  
Tigunov L.P., Ratner V.B. (VIMS)

RATIONAL TECHNOLOGY PRE-SKY RADIOMETRIC ENRICHMENT COPPER SULPHIDE PLATINUM METAL ORE AREA ORE DEPOSITS CHINEYSKOYE

*These positive results show the fundamental possibility of the use of pre-concentration methods to ores containing precious metals, opening the way for large-scale technological research of this type of raw material. **Keywords:** roughing, X-ray radiometric separation, ore separation precious metals, chalcopyrite, pyrrhotite, pentlandite.*

При переработке комплексных руд заметная роль должна отводиться методам радиометрического обогащения. Их применение особенно актуально для бедных

руд, к которым следует отнести комплексные медно-сульфидные платинометалльные руды участка Рудный Чинейского месторождения.

Чинейское месторождение расположено в Каларском районе Читинской области в 40–45 км от станции Новая Чара (БАМ) и 15–20 км к югу от Удоканского медного месторождения. Оно приурочено к одноименному интрузиву габброноритов позднепротерозойского возраста, прорывающему раннепротерозойские слабо метаморфизованные карбонатно-терригенные отложения удоканской серии. С Чинейским интрузивом связано 2 типа руд: ванадийсодержащие титаномагнетитовые, локализующиеся в железистой серии средней части разреза интрузива (участок Магнитный) и благороднометалльные медно-сульфидные, приуроченные к контактовой серии (участок Рудный).

Участок Рудный расположен в восточной части интрузива и охватывает его пологозалегающую апофизу, вытянутую в северо-восточном направлении. Площадь апофизы 1,9 км<sup>2</sup>. Мощность от 20–40 м на востоке и до 270 м на западе. Медно-сульфидное оруденение локализовано в контактовой зоне габброидов. По текстуре, составу и условиям локализации оруденение разделяется на эндо- и экзоконтактовое. Рассматриваемым ниже технологическим испытаниям подвергались эндоконтактовые руды, которые прослеживаются практически по всей площади участка Рудный и выделены как единая рудная залежь № 4 пластообразной формы с мощностью от 3,0 до 39 м. Залегание залежи субпараллельно залеганию подошвы габброидов [1], которые характеризуются мелко- и среднезернистой структурой, беспорядочной, иногда пятнистой текстурой за счет неравномерного распределения породообразующих минералов и присутствия ксенолитов метаосадочных пород. Коли-

чественно минеральный состав изменчив даже на небольших расстояниях: плагиоклаз 20–50 %, пироксен 10–25 %, роговая обманка 5–15 %, биотит 5–15 %, кварц 10–30 %, калишпат 10–30 %, титаномагнетит 0–5 %, сульфиды 0–5 %. Оруденение гнездово-вкрапленное, его степень равномерности определяется развитием аутометасоматического перераспределения сульфидов. Последние образуют рассеянную вкрапленность и мелкие от 2–5 мм до 10 мм гнезда [2, 3].

По минеральному составу эндоконтактовые руды относятся к пирит-пирротин-халькопиритовому типу. Основной полезный компонент — медь, почти полностью концентрируется в сульфидах (85–95 %) и главным образом в халькопирите (65–90 %). Другие минералы меди представлены борнитом, ковеллином, купритом, халькозином, валлериитом, кубанитом, самородной медью, дигенитом тетраэдритом. В небольших количествах медь отмечается в пентландите, виоларите, кобальтине, пирите, пирротине, никелине, бравоите, медистой платине. Из гипергенных медных минералов в рудах обнаружены малахит, азурит, хризоколла, халькантит, брошантит. Среднее содержание меди в эндоконтактовых рудах 0,52 %. Попутные полезные компоненты — *Pt, Pd, Au, Ag, Ni, Co*.

Минералы благородных металлов в подавляющем большинстве образуют мелкие включения в рудообразующих сульфидах и арсенидах. Золото образует самостоятельные минеральные формы в виде самородного золота и интерметаллидов с серебром (электрум, кюстелит) в сульфидах. В единичных случаях золото отмечено в виде включений в силикатных породах. Среднее содержание золота в рудах 0,16 г/т.

Наиболее часто встречающимся минералом серебра является аргентопентландит, образующий сростки с халькопиритом. Отмечается в виде самородных образований и соединений с селеном и теллуром (наумманит, гессит). Среднее содержание серебра — 2,88 г/т.

Платина представлена такими минеральными формами как сперрилит и медистая платина. Палладий в виде соединений с теллуром, висмутом, сурьмой и мышьяком образует включения в халькопирите, пирротине, борните, пентландите, арсенидах и сульфарсенидах никеля и кобальта. Средние содержания в рудах — *Pt* — 0,2–0,3 г/т, *Pd*—0,89 г/т.

Никель и кобальт присутствуют в руде в малых количествах. Они образуют собственные минералы: миллерит, пентландит, герсдорфит, никелин, кобальтин, кобальт-пирит и др.) и рассеиваются в главных и редких рудообразующих сульфидах. Собственно в сульфидной форме выделяется 30 % никеля и 40 % кобальта.

Детальный анализ парагенетических ассоциаций сульфидов и вторичных силикатов показал, что повышенные концентрации рудных минералов образуются совместно с развитием актинолита и мелкочешуйчатого биотита средней стадии кислотного выщелачивания. С этой ассоциацией связано увеличение количества халькопирита и образование в рудах широкого спектра слабо распространенных и редких минералов, в том числе: сульфидов и арсенидов никеля и кобаль-

та, галенита, сфалерита, минералов палладия, золота, серебра.

В 2011 г. ФГУП «ВИМС» проводилось технологическое изучение трех лабораторных проб эндоконтактовых руд, характеризующих Восточный, Западный и Юго-западный фланги залежи № 4 массой 400, 560 и 240 кг соответственно. Из них, наиболее представительная проба № 18с как по массе, так и по содержанию основного и попутных компонентов. Проба представляет средние медно-сульфидные руды. Она сложена контактовыми габбро-диоритами (60–70 %) и гибридными породами зоны инъецирования и мигматизации биотит-кварц-полевошпатовых роговиков, а также в небольшом количестве (9 %) скарнированными карбонатными породами. На этой пробе были получены наиболее интересные результаты технологических исследований с применением предварительного крупнокускового радиометрического обогащения методами рентгенорадиометрической (РРС) и магнитометрической (ММС) сепарации.

Экспериментальные работы по оценке радиометрической обогатимости включали следующие этапы: изучение неравномерности (контрастности) руды; выбор и оценка эффективности признака разделения; экспериментальное определение технологических показателей радиометрической сепарации и наработку продуктов для последующего обогащения.

Изучение неравномерности (контрастности) проводилось на представительной выборке объемом 100 кусков с определением показателей по основному (*Cu*) и наиболее ценным попутным компонентам (*Pd, Pt, Au, Ag*). Для количественной оценки контрастности использовался показатель *M*, предложенный В.А. Мокросовым [4]. Указанный показатель для перечисленных компонентов изменялся в пределах от 0,70 до 0,91. Соответственно руда данной пробы отнесена к категории контрастных.

На предварительном этапе исследований при выборе признака разделения изучались корреляционные связи между содержаниями основного (*Cu*) и попутных (*Pd, Pt, Au, Ag* и *Co, Ni, Fe*) компонентов. Сравнение коэффициентов корреляции (табл. 1) показало, что традиционные парные связи *Au, Pd, Pt, Ag* с *Ni* и *As* не значимы,

**Таблица 1**  
Результаты оценки корреляционных связей между содержаниями основных, попутных и других рудных компонентов

Элемент	<i>Au</i>	<i>Pd</i>	<i>Pt</i>	<i>Ag</i>	<i>Co</i>	<i>Cu</i>	<i>Fe</i>	<i>Ni</i>
Коэффициент корреляции, доли ед.								
<i>Au</i>	1							
<i>Pd</i>	0,48	1						
<i>Pt</i>	0,35	0,61	1					
<i>Ag</i>	0,16	0,52	0,12	1				
<i>Co</i>	0,15	0,25	0,15	0,25	1			
<i>Cu</i>	0,02	0,68	0,25	0,74	0,42	1		
<i>Fe</i>	0,05	0,32	0,20	0,38	0,15	0,40		
<i>Ni</i>	0,10	0,24	0,12	0,36	0,88	0,51	0,37	1

Таблица 2

Результаты оценки корреляционных связей между содержаниями основных, попутных и других рудных компонентов пробы П-18с после выделения магнитной фракции

Элемент	Au	Pd	Pt	Ag	Co	Cu	Fe	Ni
Коэффициент корреляции, доли ед.								
Au	1							
Pd	0,83	1						
Pt	0,66	0,71	1					
Ag	0,54	0,56	0,35	1				
Co	0,15	0,20	0,05	0,26	1			
Cu	0,76	0,79	0,56	0,76	0,45	1		
Fe	0,72	0,77	0,49	0,73	0,55	0,82		
Ni	0,20	0,21	0,07	0,36	0,88	0,52	0,44	1

Таблица 3

Эффективность признака разделения кусковой фракции руды крупностью –100 +50 мм по  $\eta(Cu)$ ,  $\eta(Ni)$ , комбинации  $\eta(Cu)$  и  $\alpha$ ,  $\Delta Qm$ ,  $\Delta Qv$

Метод сепарации	Признак разделения	Эффективность признака разделения, Эп				
		Cu	Pd	Pt	Au	Ag
PPC	$\eta(Cu)$	0,89	0,70	0,49	0,23	0,69
	$\eta(Ni)$	0,53	0,72	0,57	0,78	0,41
	$\eta(Fe)$	0,44	0,48	0,59	0,77	0,34
	$\eta(Cu)$ , $\alpha$	0,77	0,78	0,89	0,97	0,68
ММС	$\alpha$	0,29	0,46	0,51	0,72	0,31
ИРМ	$\Delta Qm$	0,09	0,38	0,53	0,60	0,15
	$\Delta Qv$	0,07	0,11	0,11	0,23	0,20

а связи с Fe слабо значимы. Для Cu отмечается устойчивая связь с Pd и Ag при весьма слабой корреляционной связи с Au и Pt.

В процессе детального изучения физических свойств кусков выборки было установлено, что во фракции с высокой магнитной восприимчивостью ( $\alpha$ ), содержащей магнетит, присутствуют куски с повышенными содержаниями благородных металлов при низком содержании меди. После выделения магнитной фракции в отдельный титаномагнетитовый продукт коэффициенты корреляции между содержаниями благородных металлов и меди в немагнитной фракции оказываются достаточно высокими (табл. 2), что дало основание для

Таблица 4

Технологические показатели рентгенорадиометрической сепарации пробы П-18с

Продукт	$\gamma$ , %	Содержание					Извлечение, %				
		Cu, %	Pd, г/т	Pt, г/т	Au, г/т	Ag, г/т	Cu	Pd	Pt	Au	Ag
Хвосты	22,23	0,14	0,28	0,08	0,05	0,34	6,13	5,84	6,35	4,92	6,45
Обогащенный продукт	<b>77,78</b>	<b>0,62</b>	<b>1,29</b>	<b>0,32</b>	<b>0,29</b>	<b>1,41</b>	<b>93,9</b>	<b>94,19</b>	<b>93,68</b>	<b>95,11</b>	<b>93,58</b>
В том числе:											
Концентрат PPC	62,4	0,66	1,34	0,33	0,28	1,5	80,28	78,57	78,31	74,25	79,65
Концентрат МС (магнитная фракция)	1,88	0,03	1,19	0,26	0,92	0,25	0,12	2,46	2,14	8,49	0,46
Отсев (немашинный класс)	13,5	0,51	1,06	0,26	0,24	1,18	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5
<b>Исходная руда</b>	<b>100</b>	<b>0,51</b>	<b>1,06</b>	<b>0,26</b>	<b>0,24</b>	<b>1,18</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

использования при крупнокусковом обогащении признака разделения по параметру  $Cu + Fe_{\text{магн}}$ .

Выбор методов сепарации и формирование разделительных признаков с оценкой их эффективности проводились на той же выборке кусков с использованием специально приспособленной, моделирующей геометрию камеры сепаратора, измерительной аппаратуры, условно называемой «аппаратурой признака разделения» (АПР). Оценивалась эффективность рентгенорадиометрического (PPC), магнитометрического (ММС) и индукционного радиорезонансного (ИРМ) методов сепарации.

При испытании PPC определялась эффективность разделения по меди  $\mathcal{E}_n[\eta_{Cu}]$ , никелю  $\mathcal{E}_n[\eta_{Ni}]$  и железу  $\mathcal{E}_n[\eta_{Fe}]$ ; при испытании ММС — эффективность разделения по удельной магнитной восприимчивости  $\mathcal{E}_n[\alpha]$ , при испытании ИРМ — эффективность разделения по двум параметрам:  $\Delta Qm$  — изменение добротности контура за счет магнитной составляющей и  $\Delta Qv$  — изменение добротности контура за счет электропроводности кусков. Установлено, что наиболее высокую эффективность разделения по меди ( $\mathcal{E}_n = 0,77$ ) и благородным металлам ( $\mathcal{E}_n = 0,68–0,97$ ) обеспечивает комбинация методов PPC по  $\eta_{Cu}$  и ММС по  $\alpha$  (табл. 3).

Испытания всей кривой пробы крупностью –100+20 мм проводились по комбинированной схеме с PPC на сепараторе СРФ-1-100 производства ООО «СибРадос» с последующей перемешкой хвостов PPC на магнитном барабанном сепараторе СМБ 1-59/14 производства НПР «Продэкология». В результате из руды, содержащей 0,51 % Cu и 2,74 г/т суммы благородных металлов, выделены отвальные хвосты, представленные немагнитной фракцией магнитной сепарации (МС) с весьма незначительными потерями в них ценных компонентов (4,92–6,45 %) (табл. 4).

Получен обогащенный продукт, включающий: концентрат PPC, содержащий 0,66 % Cu и 3,35 г/т суммы благородных металлов при выходе 62,4 %; магнитную фракцию МС, содержащую 0,03 % Cu и 2,62 г/т суммы благородных металлов, а также отсев (–20 мм). Поскольку сепарация производилась на кривом материале, в расчете технологических показателей выход мелкого класса — 20 мм (отсева) принимался по справочным данным для пород этой крепости [5], а содержания ценных компонентов на уровне содержаний в исходной руде.

На основании полученных данных исследований разработана рациональная схема предварительного обогащения комплексных платинометалльных медно-сульфидных руд участка Рудный Чинейского месторождения, включающая РРС в голове процесса и последующую перемычку полученных хвостов с помощью магнитной сепарации. Предложенная технология обеспечивает выделение кондиционных хвостов, содержащих 0,14 % меди и 0,75 г/т суммы благородных металлов, при их выходе 22,23 %. Получен обогащенный продукт, содержащий 0,62 % меди и 3,31 г/т суммы благородных металлов при извлечении 93,9 % и 93,6–95,1 % с коэффициентами обогащения 1,22 и 1,23. Таким образом, наряду с заметным сокращением объемов дальнейшей переработки существенно повышается качество руды при относительно небольших потерях труднообогатимой части полезных компонентов.

Проведенные исследования являются составной частью работы, выполненной ВИМСом по разработке ТЭО разведочных кондиций для подсчета запасов руд данного месторождения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гонгальский, Б.И. Месторождения Чинейского массива/ Месторождения Забайкалья, Т.1, кн. 1 / Б.И. Гонгальский, Н.А. Криволицкая, Н.Г. Голева. — Чита-Москва, 1995. — С. 20–29.
2. Гонгальский, Б.И. Строение, состав и формирование Чинейского анортозит-габброноритового массива в Северном Забайкалье / Б.И. Гонгальский, Н.А. Криволицкая, Г.С. Арискин // Геохимия, № 7. — Наука, 2008. — С. 691–720.
3. Гонгальский, Б.И. Чинейский расслоенный массив / Б.И. Гонгальский, Н.А. Криволицкая. — Наука. Новосибирск, 1993. — С. 178–192.
4. Мокроусов, В.А. Теоретические основы радиометрического обогащения радиоактивных руд / В.А. Мокроусов, Г.Р. Гольбек, О.А. Архипов. — М.: Недра, 1968. — С. 35–55.
5. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / Под ред. О.С. Богданова, В.А. Олевского, 2-е изд. — М.: Недра, 1982. — С. 105–112.

© Коллектив авторов, 2017

Цымбалист Сергей Игоревич // ooox1@yandex.com  
Рябкин Виктор Константинович // rmo-vims@mail.ru  
Литвинцев Эдуард Георгиевич // rmo-vims@mail.ru  
Тигунов Леонид Петрович // vims@df.ru  
Ратнер Вадим Борисович // rmo-vims@mail.ru

УДК 550.8.822:621.9.025.7

Трушин С.И.<sup>1</sup>, Осецкий А.И.<sup>1</sup>, Черепанов А.В.<sup>1</sup>,  
Корнеев А.В.<sup>2</sup> (1 — АО «Полиметалл УК»,  
2 — АО «Урал-МПГ», АО «Полиметалл УК»)

#### ПОИСКИ РУДНОЙ ПЛАТИНЫ НА УРАЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Рассмотрен вопрос применения нестандартного бурового инструмента для бурения скважин диаметром 224 мм и получения крупноразмерного керна с целью подтверждения дополнительной геологической информации о более устойчивом, равномерном распределении платины в пределах ожидаемого рудного тела. **Ключевые слова:** россыпные месторождения, рудная платина, бурение скважин большого диаметра.

Trushin S.I.<sup>1</sup>, Osetskiy A.I.<sup>1</sup>, Cherepanov A.V.<sup>1</sup>, Korneev A.V.<sup>2</sup>  
(1 — Polymetal Management, 2 — Ural-MPG, Polymetal Management)

#### SEARCHES IN THE URALS PLATINUM ORE WITH LARGE DIAMETER WELLS

The question was considered about using nonstandard drilling tool for drilling holes with a diameter of 224 mm and receiving large size core for confirmation extra geological information about more sustainable, equal distribution within the expected ore body. **Keywords:** placer deposits, platinum ore, large size well-drilling.

С началом промышленной добычи платины на Урале из россыпей неоднократно предпринимались попытки установить их коренные источники. Основные работы были сосредоточены в районах г. Нижний Тагил и пос. Ис, где разрабатывались наиболее крупные россыпные месторождения.

Первые рудопроявления платины были обнаружены в пределах Нижнетагильского ультрабазитового массива в 1892 г. Несколько позднее эти находки привели к разработке первого (и на сегодня — единственного) коренного месторождения Господская Шахта.

Комплексное изучение потенциально платиноносных территорий в начале XX в. проводили А.Н. Заварицкий (1928), а также А.А. Иностранцев, А.А. Краснопольский, Л. Дюпарк, Н.К. Высоцкий, А.Г. Бетехтин и др. К выявлению новых объектов эти работы не привели, поэтому интерес к рудной платине Урала несколько угас, хотя попытки ее поисков предпринимались в течение всего столетия.

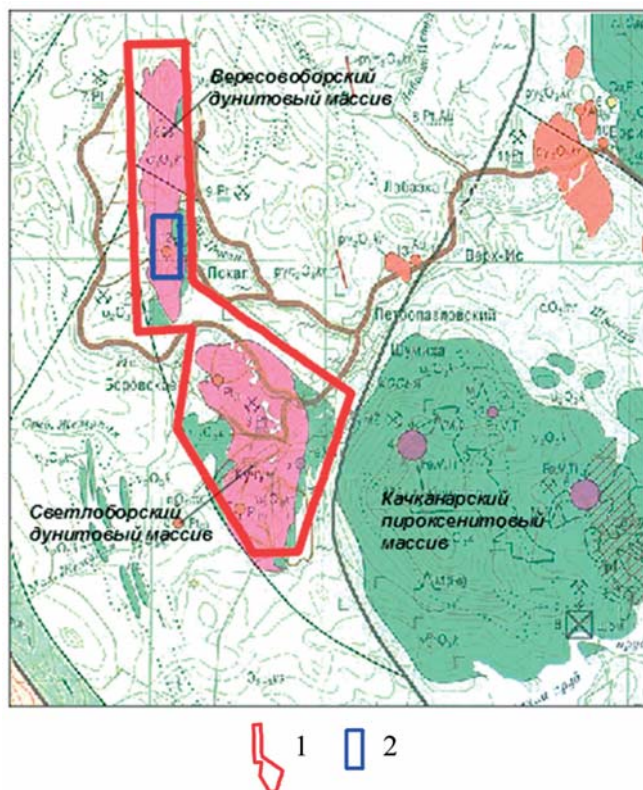


Рис. 1. Схема расположения Светлоборской лицензионной площади (1) и Вересовоборского участка (2)