

На правах рукописи

Никифорова Виктория Сергеевна



**ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ДУНИТАХ СВЕТЛОБОРСКОГО ДУНИТ-
КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО МАССИВА,
СРЕДНИЙ УРАЛ**

*Специальность 25.00.09 - Геохимия, геохимические методы
поисков полезных ископаемых*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, доцент

Таловина Ирина Владимировна

Официальные оппоненты:

Толстых Надежда Дмитриевна

доктор геолого-минералогических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория петрологии и рудоносности магматических формаций, ведущий научный сотрудник

Якубович Ольга Валентиновна

кандидат геолого-минералогических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра геохимии, доцент

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского»

Защита диссертации состоится 12 марта 2021 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.04 Горного университета по адресу: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 12 января 2021 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



ГУЛЬБИН
Юрий Леонидович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Большинство коренных месторождений платины и платиносодержащих россыпей Урала на данный момент являются отработанными, поэтому поиск новых альтернативных источников платиновых металлов становится одной из важнейших геолого-поисковых задач.

Зональные дунит-клинопироксенитовые массивы Платиноносного пояса Урала (ППУ), к которым относится один из крупнейших в мире россыпеобразующих массивов Светлоборский массив, являются наиболее перспективными объектами для поиска и разведки промышленно значимого платинового оруденения на Урале.

Коренная платиновая минерализация Светлоборского массива изучалась выдающимися исследователями: Н.К. Высоцким, А.А. Иностранцевым, А.Н. Заварицким, А.Г. Бетехтиным и др. Ими впервые было изучено геологическое строение как Нижнетагильского и Светлоборского массивов, так и всего Платиноносного пояса Урала, пробурены первые структурные скважины, отражающие влияние вторичных процессов на исходные неизмененные породы.

Степень разработанности темы исследования. В пределах Светлоборского массива геологоразведочными работами последних лет установлено наличие коренного платинометального оруденения рудной формации платиноносных дунитов (рудопроявление Высоцкого). Тем не менее, вопросы локализации, а также условий формирования платинометального оруденения в пределах зональных дунит-клинопироксенитовых массивов ППУ в настоящий момент полностью не решены.

В последнее время появились данные о связи коренного платинового оруденения в дунитах зональных массивов урало-аляскинского типа с жильными телами горнбленидитов и клинопироксенитов (Телегин, 2009ф), поэтому изучение геохимических характеристик как коренных, так и жильных пород Светлоборского массива позволит установить закономерности

изменения состава пород, а также понять процессы, приводящие к концентрации элементов платиновой группы в дунитах.

Цель работы. Выявление особенностей распределения главных и редких элементов в дунитах Светлоборского массива, в том числе в дунитах рудопроявления Высоцкого, и установление геохимических поисковых признаков коренного оруденения формации платиноносных дунитов в зональных дунит-клинопироксенитовых массивах Платиноносного пояса Урала.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения следующих **задач**:

1. Выявление особенностей распределения главных и редких элементов и проведение сравнительного анализа геохимических характеристик дунитов Светлоборского массива и дунитов платинометального рудопроявления Высоцкого.

2. Исследование минералого-петрографических и геохимических особенностей жильных пород Светлоборского массива, а также установление их влияния на изменение химического состава дунитов.

3. Изучение вторичных литохимических ореолов рассеяния редких элементов, в том числе элементов платиновой группы, в элювиально-делювиальных отложениях, связанных со Светлоборским массивом на примере рудопроявления Высоцкого.

4. Выявление геохимических поисковых признаков коренного платинового оруденения в платиноносных дунитах зональных дунит-клинопироксенитовых массивов Платиноносного пояса Урала на примере Светлоборского массива при геохимических поисках по первичным и вторичным ореолам.

Научная новизна

1. Установлено, что дуниты рудопроявления Высоцкого характеризуются тенденцией к накоплению некоторых главных элементов (Ti, Al, Ca), а также ряда редких совместимых (V, Ni, Co, Cr, Mn) и несовместимых (Cu, Zn, Mo, W, Rb, Sr, Y, Zr, Th, Hf, PЗЭ) с дунитами элементов, также характерных для жильных пород массива.

2. Выявлены особенности распределения главных и редких элементов в жильных породах (диопсидитах, мономинеральных и

плагноклазовых горнблендитах) и развитых по ним серпентинитовых, хлоритовых и флогопит-вермикулитовых метасоматитах. По уменьшению содержания MgO и увеличению содержания Al_2O_3 , CaO, Fe_2O_3 и щелочных компонентов жильные породы образуют следующую последовательность: диопсидиты – мономинеральные горнблендиты – плагноклазовые горнблендиты; метасоматиты образуют следующий ряд: серпентиновые – хлоритовые – флогопит-вермикулитовые метасоматиты. При этом для горнблендитов характерны максимальные содержания Zn, Mo и W, а для диопсидитов – максимальные содержания Cu и V.

3. Установлено, что в дунитах рудопроявления Высоцкого платина входит в состав двух ассоциаций – «дунитовой» (Cr, Ni, Co, Mn) и «горнблендитовой» (Zn, W, P), которые могут выступать в качестве индикаторов платинометаллического оруденения.

4. Установлено, что во вторичных литохимических ореолах рассеяния в элювиальных отложениях рудопроявления Высоцкого Светлоборского массива платина формирует положительные аномалии над зонами развития жильных пород в дунитах, к которым приурочены положительные аномалии Pd, Ni, Co, Mn, Cr и отрицательные – Ba и Sr.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Индикаторные ассоциации элементов, характерные для изученных платинометаллических рудопроявлений Светлоборского массива, могут использоваться при геохимических поисках новых платиновых объектов на зональных массивах урало-алаянского типа на Урале.

Методология и методы исследования. В основу работы положен оригинальный каменный материал, собранный автором во время полевых работ на объекте исследования. Также были использованы данные Ю.М. Телегина, директора ООО «Проспектор», проводившего поисковые работы на Светлоборском массиве в период 2003–2013 гг.

Методами оптической и электронной микроскопии изучено более 100 шлифов и аншлифов. В Центральной лаборатории ВСЕГЕИ методами рентгено-флуоресцентного анализа (РФА) и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) определены содержания главных и редких элементов в дунитах.

Методом РФА в лаборатории Фрайбергской горной академии (ФГА, Германия) определены содержания главных и редких элементов в жильных породах.

Литохимические пробы элювиальных отложений и пробы керна по 20 скважинам анализировались на Pt, Pd, Au пробирным анализом с атомно-абсорбционным окончанием в лаборатории SGS Lakefield Research Africa (ЮАР) и спектральным анализом на ряд редких элементов в ОАО «Уральская центральная лаборатория» (Екатеринбург).

Термический анализ проводился на установках фирмы NETZSCH термической лаборатории ФГА (Германия) и в лаборатории Института химии силикатов (Санкт-Петербург). Диагностика минеральных фаз была проведена на рентгеновских порошковых дифрактометрах URD-6 Seifert FPM и HZG-4 Seifert FPM в лабораториях ФГА (Германия).

Микрорентгеноспектральные анализы проводились на электронно-зондовом микроанализаторе Cameca SX 100 в Институте геологии и геохимии УрО РАН (Екатеринбург) и на растровом электронном микроскопе JEOL JSM 6400 (ФГА, Германия).

Содержание редких и редкоземельных (REE) элементов в оливине определялись методом вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS) на ионном микрозонде Cameca IMS-4f (ЯФ ФТИАН, Ярославль).

На защиту выносятся следующие положения:

1. Индикаторами платинометального оруденения в дунитах Светлоборского массива являются накапливающиеся совместно с платиной элементы двух ассоциаций: «дунитовой» (Cr, Mn, Ni, Co) и «горнблендитовой» (Zn, W, P), вместе составляющих рудную геохимическую ассоциацию. В состав безрудной «клинопироксенитовой» ассоциации входят V, Cu и Pb.

2. Формирование рудной «горнблендитовой» ассоциации Pt-Zn-W-P в дунитах происходит в результате процессов гидротермально-метасоматического воздействия, связанного с жильными породами, главным образом горнблендитами и диопсидитами, приводящего к значительному увеличению

содержания в дунитах Светлоборского массива несовместимых для них элементов: Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Y, Hf, Th и PЗЭ.

3. Поисковыми признаками платинометальной минерализации в дунитах Светлоборского массива по вторичным ореолам рассеяния являются положительные аномалии индикаторных элементов Pt-Pd-Ni-Co-Mn-Cr в перекрывающих элювиально-делювиальных отложениях, пространственно совпадающие с отрицательными аномалиями Ba и Sr.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена представительностью каменного материала, использованием аналитических данных, полученных по сертифицированным методикам в аккредитованных лабораториях, представительностью использованных выборок геохимических данных, корректным применением методов математической статистики и графического представления информации, непротиворечивостью геологической информации и полученных автором результатов.

Работа была поддержана именованными грантами Правительства Санкт-Петербурга (2015, 2016) и совместным грантом Министерства образования и Германской службы академических обменов DAAD (стипендия «Михаил Ломоносов», 2014–2015 гг.).

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на ряде конференций: Freiberg – St. Petersburg Colloquium of Young Scientists (Фрайберг, Германия, 2014, 2015), научной конференции студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (Горный университет, Санкт-Петербург, 2014), XXV молодежной конференции, посвященной памяти чл.-корр. АН СССР К.О. Кратца (Санкт-Петербург, 2014), VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2014), VIII научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2015), XIX международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки» (Пенза, 2018), XII Международной научно-практической конференции «Наука и инновации в XXI веке: актуальные вопросы,

открытия и достижения» (Пенза, 2019), XII Russian-Germany Raw Materials Forum (Санкт-Петербург, 2019).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования, анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования, участии в полевых работах, проведении лабораторных исследований, обработке и интерпретации полученных аналитических данных.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 4 статьях, опубликованных в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 1 статье, опубликованной в издании, входящем в международные базы данных и системы цитирования (Web of Science, Scopus).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и содержит 190 страниц, 73 рисунка и 34 таблицы. Список литературы включает 148 наименований.

Благодарности. Автор благодарит своего научного руководителя, д.г.-м.н. И.В. Таловину за постоянное внимание, консультации и содействие в работе. Автор благодарен директору ООО «Проспектор» Ю.М. Телегину за предоставленные материалы, возможность отбора проб и ценные советы. Автор благодарит д.г.-м.н. С.Г. Скублова за замечания, помощь в проведении исследований и ценные консультации. Автор признателен проф. д-ру Г. Хайде и коллективу Института минералогии Фрайбергской горной академии за помощь в проведении исследований. Особая благодарность д.г.-м.н. О.М. Прищепе и коллективу кафедры геологии нефти и газа за всестороннюю помощь и поддержку.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты

теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе описывается история формирования Светлоборского массива, а также дана характеристика его геологического строения.

Во второй главе представлено описание минералого-петрографических особенностей дунитов и жильных пород.

В третьей главе приведена их геохимическая характеристика.

В четвертой главе описаны литохимические ореолы рассеяния элементов платиновой группы и редких элементов в перекрывающих Светлоборский массив элювиальных отложениях на примере рудопроявления Высоцкого.

В пятой главе рассматривается коренное платинометальное оруденение и закономерности его локализации в пределах Светлоборского массива.

Заключение отражает обобщенные выводы по результатам исследований в соответствии с целью и решаемыми задачами.

Краткая характеристика геологического строения Светлоборского массива

Светлоборский массив находится на границе Среднего и Северного Урала, в пределах западной части Тагило-Магнитогорского прогиба, вблизи зоны его сопряжения с Центрально-Уральским поднятием. Массив относится к формации дунит-клинопироксенитовых зональных массивов и входит в цепочку концентрически-зональных массивов Платиноносного пояса Урала (Иванов, 1997).

В плане Светлоборский дунит-клинопироксенитовый массив представляет собой тело линзовидной формы, площадью около 20 км², вытянутое в субмеридиональном направлении. Строение массива зональное: дунитовое ядро площадью около 14 км² окружено клинопироксенитовой оболочкой шириной от 250 м до 1,5 км (рисунок 1).

Особенностью Светлоборского массива является широкое развитие жил диопсидитов и горнблендитов значительной

протяженности по простиранию и падению (от 1 до 5 м), а также единичными телами хромитов.

Жильные породы наиболее часто встречаются в приконтактовых с клинопироксенитовой оболочкой зонах, где они образуют дайковые поля, кусты и штокверки. Жилы тесно ассоциируют с серпентиновыми, хлоритовыми и флогопит-вермикулитовыми метасоматитами, которые образуют самостоятельные маломощные жильные тела или развиваются по телам магматических жильных пород (рисунок 2).

В пределах массива известно несколько рудопроявлений платиновых металлов, наиболее перспективным из которых является рудопроявление Высоцкого, расположенное в юго-западной части массива в зоне контакта дунитового ядра массива с клинопироксенитовой оторочкой (Телегин, 2011, 2013). Эта зона характеризуется максимальной интенсивностью пластических и разрывных деформаций, а также широким развитием жильных пород.

Платиновая минерализация представлена преимущественно изоферроплатиной (90%) и туламинитом (до 10%) с незначительной долей сульфидов и арсенидов платины. Установлено, что платина в рудах очень тонкая (0,01–0,07 мм). В пробах с содержаниями более 1,0 г/т присутствуют более крупные зерна платины размером 0,1–0,5 мм (Толстых, 2011; Степанов, 2019).

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Индикаторами платинометального оруденения в дунитах Светлоборского массива являются накапливающиеся совместно с платиной элементы двух ассоциаций: «дунитовой» (Cr, Mn, Ni, Co) и «горнблендитовой» (Zn, W, P), вместе составляющих рудную геохимическую ассоциацию. В состав безрудной «клинопироксенитовой» ассоциации входят V, Cu и Pb.

Несмотря на длительную историю изучения дунитов Платиноносного пояса Урала, в том числе Светлоборского массива, данные о распределении в них редких элементов к настоящему моменту очень ограничены (Высоцкий, 1923; Иванов, 1997; Ланда и др., 1998; Пушкарев и др., 2000). Автором в период 2013–2016 гг.

проводилось изучение химического состава дунитов и жильных пород массива, при этом по дунитам анализировалось два массива данных – дуниты Светлоборского массива и дуниты платинометального рудопроявления Высоцкого, которые, как выяснилось, существенно отличаются по своим геохимическим характеристикам.

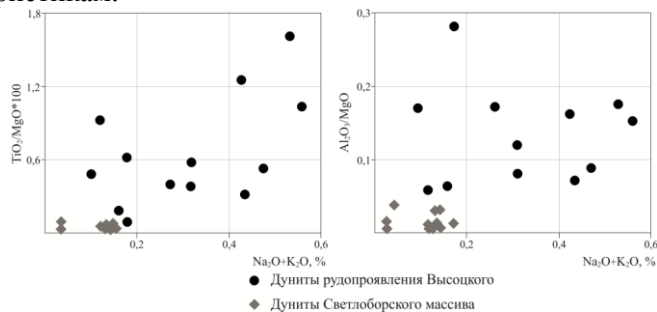


Рисунок 3 – Вариационные диаграммы составов дунитов

На основании изучения распределения главных элементов установлено, что дуниты рудопроявления Высоцкого относительно дунитов Светлоборского массива характеризуются повышенными содержаниями таких не свойственных дунитам компонентов, как TiO_2 , Al_2O_3 , CaO и Na_2O , что косвенно может служить признаком влияния внедрения даек на изменение химического состава дунитов (рисунок 3).

Таблица 1 – Содержания платины и элементов группы железа в дунитах Светлоборского массива, г/т

Дуниты	кол-во проб	Pt	V	Ni	Co	Cr	Mn
Светлоборский массив	19	0,01	14	140	41	1100	790
Рудопроявление Высоцкого	204	0,08	156	480	120	1700	1600
$K_{РПВ/СМ}$	-	8	11	2	3	1,5	2

Примечание. $K_{РПВ/СМ}$ – отношение содержания элемента в дунитах рудопроявления Высоцкого к содержанию в дунитах Светлоборского массива

Изучение редких элементов, в первую очередь элементов платиновой группы и совместимых с дунитами элементов группы железа, показало резкие отличия по содержанию этих элементов в

зонах платинометального оруденения массива. Наиболее детальные исследования по дунитам рудопроявления Высоцкого показали, что содержание платины в них по сравнению с дунитами Светлоборского массива увеличивается в среднем в 8 раз (до 0,08 г/т), V в 11 раз, а Cr, Mn, Ni и Co в 1,5–3 раза (таблица 1).

Повышенное содержание ванадия в дунитах рудопроявления Высоцкого (156 г/т) связано с близостью клинопироксеновой оболочки, а также наблюдается в дунитах из приконтактных зон с дайками и жилами диопсидитов, что характерно и для других массивов ППУ (Фоминых, 1967, 1978).

Обращает на себя внимание повышенное содержание никеля в дунитах рудопроявления Высоцкого (480 г/т), тогда как для дунитов Светлоборского массива, как и для многих концентрически-зональных массивов (Ланда, 1990), характерно содержание ниже мантийного уровня. Еще одной особенностью дунитов Светлоборского массива являются умеренное содержание хрома, что проявляется в слабом распространении хромититовых шпиров в пределах массива.

Проведенный анализ химического состава оливина и клинопироксена с помощью ионного микрозонда, показал, что прослеживается тенденция уменьшения содержания никеля в оливинах, что, вероятно, связано с переотложением никеля в сульфиды, при этом серпентинизация практически не меняет состав оливина (таблица 2).

Таблица 2 – Содержания химических элементов в оливине, г/т

	Светлоборский массив (среднее содержание)	Рудопроявление Высоцкого		
		Т. 3	Т. 4	Т. 5
Ni	1784	1524	1457	1588
Ti	14,7	24,4	19,8	19,6
V	11,6	15,1	15,7	16,4
Rb	0,773	1,212	1,538	1,475
Ba	0,103	1,023	0,230	0,097
Al	37	136	145	168

Корреляционный анализ дунитов рудопроявления Высоцкого (РПВ) показал, что платина входит в состав двух геохимических ассоциаций: «дунитовой», в которую входят совместимые Cr, Mn, Ni, Co, и «горнблендитовой», где она коррелирует с несовместимыми с дунитами Zn, P и W, максимальные содержания

которых в пределах массива по данным автора наблюдаются в мономинеральных и плагиоклазовых горнблендитах (таблица 3, рисунок 4).

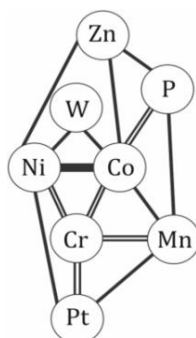
Таблица 3 – Матрица коэффициентов корреляций содержаний химических элементов в дунитах рудопроявления Высоцкого ($r_{\text{знач}} = 0,14$ для 95%-й вероятности, 204 пробы)

	Pt	Ni	Co	Cr	Mn	Zn	W	P
Pt	1,00	0,24	0,19	0,34	0,27	0,20	0,17	0,19
Ni	0,24	1,00	0,62	0,31	0,15	0,24	0,29	0,15
Co	0,19	0,62	1,00	0,31	0,27	0,23	0,27	0,31
Cr	0,34	0,31	0,31	1,00	0,31	0,10	0,15	0,23
Mn	0,27	0,15	0,27	0,31	1,00	0,14	0,15	0,27
Zn	0,20	0,24	0,23	0,10	0,14	1,00	0,16	0,23
W	0,17	0,29	0,27	0,15	0,15	0,16	1,00	0,17
P	0,19	0,15	0,31	0,23	0,27	0,23	0,17	1,00

Проведенный корреляционный анализ проб жильных пород показал, что платина имеет положительные коэффициенты корреляции с большинством элементов выделенных ассоциаций в мономинеральных (с Ni, Co, Zn и W), а также в плагиоклазовых горнблендитах (с Zn и W), что может говорить о едином процессе формирования, по крайней мере, части платинометалльного оруденения в дунитах рудопроявления Высоцкого и горнблендитах.

Кроме того, значимые положительные корреляционные связи платины с никелем и кобальтом наблюдаются в серпентиновых метасоматитах, что указывает на ее частичное перераспределение при серпентинизации.

Таким образом, дуниты Светлоборского массива и дуниты платинометалльного рудопроявления Высоцкого отличаются по содержаниям не только основных главных элементов (Ti, Al, Ca и Na), но и дополнительных элементов-индикаторов: совместимых (Cr, Mn, Ni, Co) и несовместимых (Zn, W и P) с дунитами, что может



Коэффициенты корреляции:
 — более 0,6
 — более 0,3
 — 0,2-0,3

Рисунок 4 – Схема ветвящихся связей, дуниты РПВ

служить важным поисковым признаком платинометального оруденения.

2. Формирование рудной «горнблендитовой» ассоциации Pt-Zn-W-P в дунитах происходит в результате процессов гидротермально-метасоматического воздействия, связанного с жильными породами, главным образом горнблендитами и диопсидитами, приводящего к значительному увеличению содержания в дунитах Светлоборского массива несовместимых для них элементов: Cu, Zn, Rb, Sr, Zr, Y, Hf, Th и РЗЭ.

Изучение геохимии редких элементов показало, что дуниты рудопроявления Высоцкого, в отличие от дунитов Светлоборского массива, характеризуются повышенными содержаниями целого ряда несовместимых с дунитами элементов (таблица 4).

Распределение этих элементов в дунитах носит крайне неравномерный характер. Содержание их увеличивается по направлению к контактам с жильными телами горнблендитов и диопсидитов, достигая в них максимальных значений, тогда как содержание платины последовательно увеличивается к контактам с дайками, а в самих дайках падает. Такая закономерность прослежена несколькими профилями опробования вдоль разведочных канав рудопроявления Высоцкого с интервалом опробования 1 м (рисунок 5).

Таблица 4 – Средние содержания несовместимых редких элементов в дунитах Светлоборского массива, г/т

Группа	Элемент	Светлоборский массив (СБ)	Рудопроявление Высоцкого (РПВ)	РПВ / СБ
Транзитные элементы	Cu	21	41	2
	Zn	71	140	2
	Mo	1,7	3,5	2
	W	2,4	5,0	2
Группа крупноионных литофилов	Rb	1,00	2,75	3
	Sr	4,55	42,81	9
Группа высокозарядных элементов	Y	0,34	4,37	13
	Zr	1,30	8,80	7
	Th	0,05	0,23	5
	Hf	0,05	0,25	5
Группа редкоземельных элементов	La-Eu	1,08	12,25	11
	Gd-Lu	0,18	2,06	11

Следствием контактово-метасоматического воздействия даек на ультрамафиты является также возникновение зональных оторочек и прожилково-штоковерковых зон серпентиновых, тальковых, тальк-карбонатных, хлоритовых и флогопит-вермикулитовых метасоматитов.

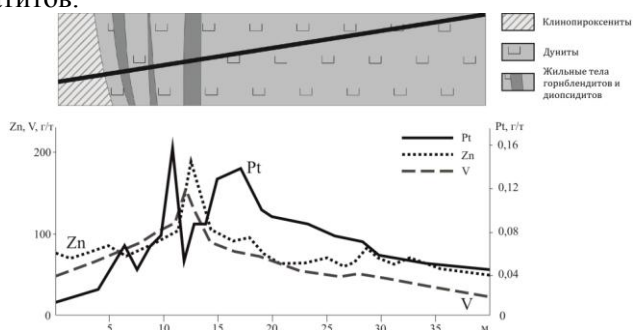


Рисунок 5 – Распределение содержания Pt, Zn и V вдоль профиля канавы

В результате довольно однородный дунитовый субстрат Светлоборского массива претерпевает существенное минералогическое преобразование и становится гетерогенным метасоматит-дунитовым, особенно в тектонически ослабленных зонах контакта дунитов и клинопироксеновой оболочки, где количество жильных пород достигает 30–50 % от общего объема пород и где наблюдаются мощные зоны брекчирования и трещиноватости.

В приконтактных с жильными породами зонах изменяется состав породообразующих минералов дунитов. В этих зонах появляются несвойственные жильным породам марганец-содержащие гастингсит, паргасит, рихтерит, такие акцессорные минералы, как апатит (содержащий редкоземельные элементы) и ксенотим, а также сульфиды меди, свинца и цинка и т.д.

Полученные данные позволяют предполагать, что присутствие группы несовместимых с дунитами редких элементов связано с влиянием жильных пород на дуниты Светлоборского массива. В процессе флюидно-контактового воздействия из жильных мономинеральных и плагиоклазовых горнблендитов и диопсидитов

в ультрамафитовый субстрат привносились характерные для них Cu, Zn, Mo, W, Rb, Sr, Y, Zr, Th, Hf и PЗЭ.

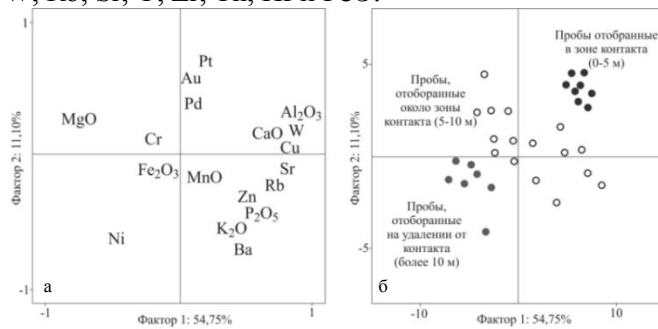


Рисунок 6 – а) диаграмма факторных нагрузок; б) диаграмма значений факторов для проб дунитов рудопроявления Высоцкого.

Положительные корреляционные связи платины с элементами жильных пород, как в дунитах, так и в самих горнблендитах, данные литохимического опробования вдоль канав и результаты факторного анализа свидетельствуют о связи платинометалльного оруденения и жильных пород массива, что привело к формированию в них «горнблендитовой» ассоциации элементов Pt–Zn–W–P (рисунок 6).

Это обстоятельство позволяет считать жильные породы важным поисковым критерием платиноносности дунитов и надежным внешним признаком зон платинометалльного обогащения в дунитах, что очень важно при условии наличия единичных хромититовых шпиров в пределах Светлоборского массива.

3. Поисковыми признаками платинометалльной минерализации в дунитах Светлоборского массива по вторичным ореолам рассеяния являются положительные аномалии индикаторных элементов Pt-Pd-Ni-Co-Mn-Cr в перекрывающих элювиально-делювиальных отложениях, пространственно совпадающие с отрицательными аномалиями Ba и Sr.

Территория Светлоборского массива практически полностью перекрыта сплошным чехлом четвертичных отложений мощностью 2–10 м, а на отдельных его участках развиты коры выветривания

мощностью до 25 м, что сильно осложняет проведение поисковых работ. Кроме того, дуниты массива характеризуются почти полным отсутствием хромититовых шлиров, являющихся на других массивах ППУ четким визуальным признаком наличия платинометалльного оруденения. Поэтому на территории Светлоборского массива, помимо прямого штуфного опробования коренных пород, для поиска коренного платинометалльного оруденения впервые для массивов ППУ была проведена литохимическая съемка, которая показала действенность данного метода и по результатам которой в итоге была выделена минерализованная зона рудопроявления Высоцкого (Телегин, 2009ф).

В пределах рудопроявления Высоцкого повышенные содержания платины во вторичных ореолах (рисунок 7) формируют несколько сближенных положительных аномалий, которые вытянуты в меридиональном направлении. Протяженность аномалий составляет от 200 до 600 м, при ширине около 400 м. Содержание платины в пределах северной и южной положительной аномалий превышает 0,23 г/т, что выше содержания платины в аномалиях в пределах всего Светлоборского массива. Положительные аномалии палладия пространственно совпадают с аномалиями платины, но проявлены слабее.

Отрицательные аномалии бария и стронция (рисунок 8) пространственно совпадают с положительными аномалиями платины. Аномалии бария вытянуты в субмеридиональном направлении и приурочены к дайкам горнблендитов и диопсидитов.

По значениям факторных нагрузок (рисунок 9) выделяются «дунитовая» (Pt, Pd, Ni, Co, Cr, Mn) и «горнблендитовая» (V, Ti, Cu, Zn, Pb, Ba) ассоциации. По данным литохимической съемки, пространственного распределения аномалий платины и других редких металлов и по результатам статистического анализа, наиболее информативными для поисков аномалий платиновых металлов являются данные по Cr, Ni, Co, Mn, которые можно считать индикаторными элементами платинометалльного оруденения в элювиально-деллювиальных отложениях Светлоборского массива.

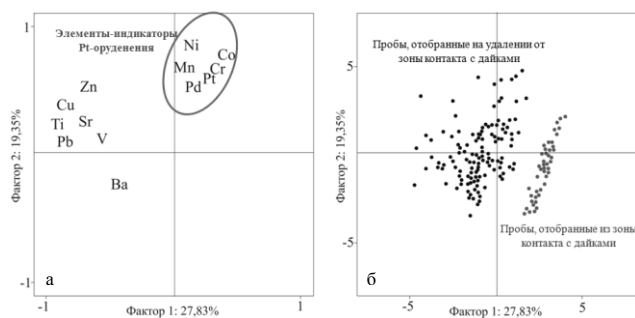


Рисунок 9 – а) диаграмма факторных нагрузок; б) диаграмма значений факторов для проб для проб элювиальных отложений рудопроявления Высоцкого Светлоборского массива

Проведение литогеохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния является целесообразным и может быть рекомендовано для других малоизученных массивов Платиноносного пояса Урала, например для Вересовоборского и Каменушинского, расположенных на небольшом удалении от Светлоборского массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой в результате проведенных минералого-геохимических исследований для платиноносных дунитов Светлоборского массива были описаны особенности распределения широкого круга главных и редких элементов, получены данные о содержании и характере распределения элементов платиновой группы в дунитах, жильных породах и в элювиально-делювиальных отложениях, пере-крывающих массив.

Установлено, что внедрение даек и жил горнблендитов и диопсидитов оказывает влияние на изменение химического состава и платиноносность дунитов, поэтому процесс внедрения даек и жил на Светлоборском массиве является важной геолого-генетической особенностью истории формирования массива.

В дунитах рудопроявления Высоцкого платина входит в состав двух ассоциаций – «дунитовой» (Cr, Ni, Co, Mn) и «горнблендитовой» (Zn, W, P), которые могут выступать в качестве индикаторов платинометального оруденения.

Во вторичных ореолах рассеяния поисковыми признаками платинометальной минерализации являются ореолы индикаторных элементов Pd, Ni, Co, Mn, Cr в элювиальных отложениях, проявленные на поверхности наложенными друг на друга положительными аномалиями.

Выявленные индикаторные ассоциации элементов, характерные для изученных платиноносных рудопроявлений Светлоборского массива, могут использоваться при литохимических поисках новых платиновых объектов по первичным и вторичным ореолам рассеяния на зональных массивах урало-аляскинского типа Платиноносного пояса Урала.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в изданиях из перечня ВАК

1. Гайфутдинова, А.М. Вторичные ореолы рассеяния элементов платиновой группы, золота и серебра Светлоборского дунит-клинопироксенитового массива, Платиноносный пояс Урала / А.М. Гайфутдинова, Ю.М. Телегин, И.В. Таловина, С.О. Рыжкова, **В.С. Никифорова** // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 312– 318.

2. Пилюгин, А.Г. Геохимические особенности платиноносных дунитов Светлоборского и Нижнетагильского массивов Платиноносного пояса Урала / А.Г. Пилюгин, А.М. Дурягина, И.В. Таловина, **В.С. Никифорова** // Записки Горного института. – 2015. – Т. 212. – С. 50– 61.

3. **Никифорова, В.С.** Жильные породы Светлоборского массива и их петрохимические характеристики / В.С. Никифорова, Н.И. Воронцова, А.М. Дурягина, И.В. Таловина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 236– 243.

4. **Никифорова, В.С.** Редкие элементы в жильных породах Светлоборского дунит-клинопироксенитового массива Платиноносного пояса Урала / В.С. Никифорова, А.М. Дурягина, Ю.М. Телегин, И.В. Таловина // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 2. – С. 244–252.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Web of Science, Scopus)

5. Putikov, O.F. Geoelectrochemical detection of PGE content anomalies within the Svetlyi Bor massif (Central Urals) / O.F. Putikov, N.P. Senchina, I.V., Talovina, A.M.Duryagina, Y.M. Telegin, **V.S. Nikiforova** // Russian Geology and Geophysics. – Vol. 58. – Issue 7. – 2017. – P. 815–821.

Публикации в прочих изданиях

6. Gayfutdinova, A.M. Distribution of trace elements in dunites of Svetloborsky massif, Central Urals / A.M. Gayfutdinova, A.G. Pilugin, **V.S. Nikiforova** // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg: TU Bergakademie. – 2013. – P. 12–15

7. **Nikiforova, V.S.** Rocks of dike-veined complex in the Svetloborsky massif, the Ural Platinum Belt / V.S. Nikiforova, A.M. Gayfutdinova // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg: TU Bergakademie. – 2014. – P. 75–79

8. Gayfutdinova, A.M. Distribution of Rare Earth elements in zonal profile of weathering crust of Svetloborsky and Nizhnetagilsky massifs, Middle Urals / A.M. Gayfutdinova, V.S. Nikiforova // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg: TU Bergakademie. – 2014. – P. 59–63.

9. **Никифорова, В.С.** Породы дайково-жильного комплекса Светлоборского массива Платиноносного пояса Урала / В.С. Никифорова, А.М. Дурягина // Сборник научных трудов по материалам VIII научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире». Пермь: ПГНИУ, 2015. – С.149–153.

10. **Nikiforova, V.S.** Features of the mineral composition of the dike-veined complex rocks of the Svetloborsky massif / V.S. Nikiforova, I.V. Talovina, A.M. Gayfutdinova // Scientific Reports on Resource Issues. – Freiberg: TU Bergakademie. – 2015. – P. 75–79.

11. Дурягина, А.М. Геохимические особенности платиноносных элювиальных образований Светлоборского и Нижнетагильского массивов / А.М. Дурягина, Г.А. Грошев, **В.С. Никифорова** // Сборник научных трудов по материалам X международного форума-конкурса студентов и молодых ученых «Проблемы недропользования», СПб. – 2015. – С. 15.

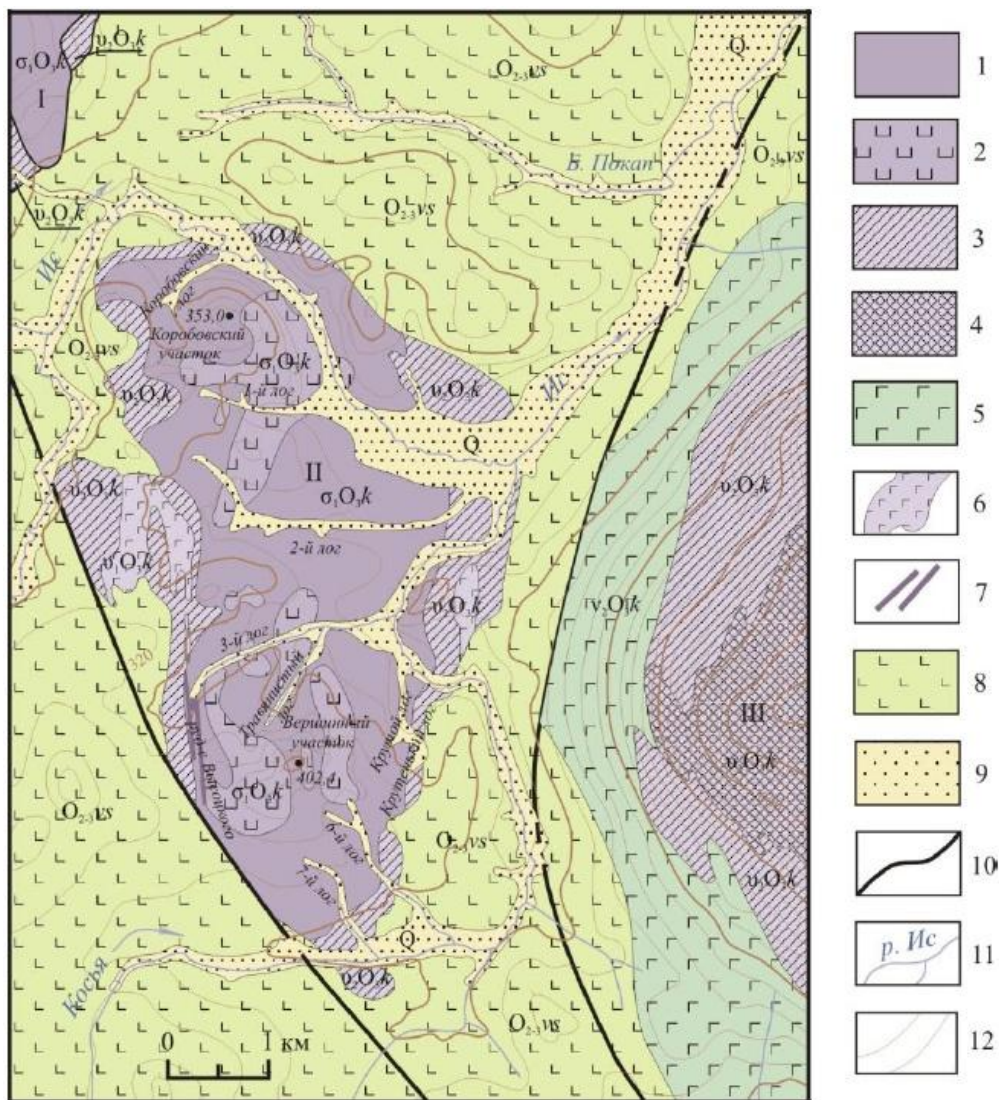


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта Светлоборского массива (Высоцкий, 1913; Иванов, 1997; Телегин, 2009; Пилогин, 2014)

1 – кытлымиты, зелёные сланцы выйской свиты среднего – верхнего ордовика; 2 – тонко- и мелкозернистые дуниты; 3 – средне- и крупнозернистые дуниты; 4 – клинопироксениты; 5 – титаномагнетитовые клинопироксениты; 6 – габбро; 7 – горнблендиты; 8 – россыпи платины; 9 – жилы хромититов; 10 – дайки горнблендитов и диопсидитов; 11 – тектонические нарушения; 12 – гидросеть.

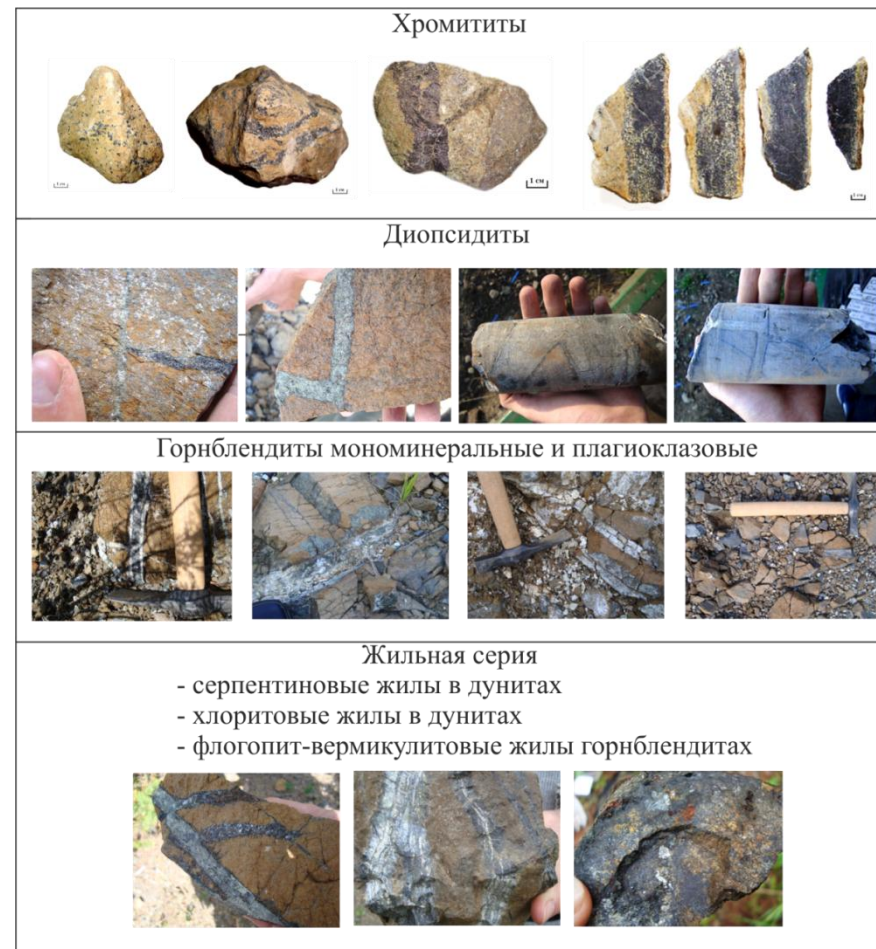


Рисунок 2 – Последовательность образования пород Светлоборского массива

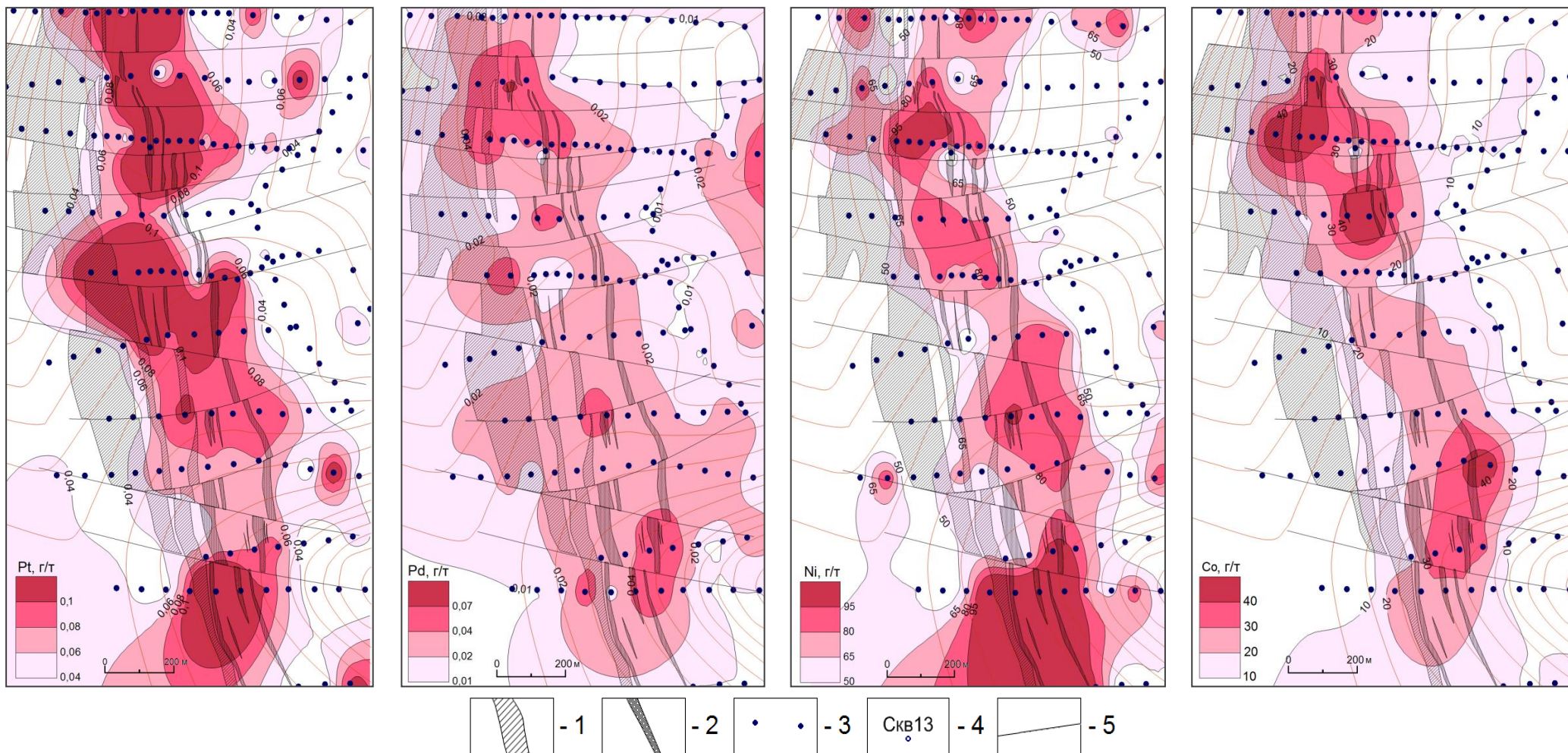


Рисунок 7 – Вторичные ореолы платины, палладия, никеля и кобальта

1 – клинопироксеновая оболочка, 2 – дайки горнблендитов и диопсидитов, 3 – точки отбора проб, 4 – скважины, 5 – тектонические нарушения.

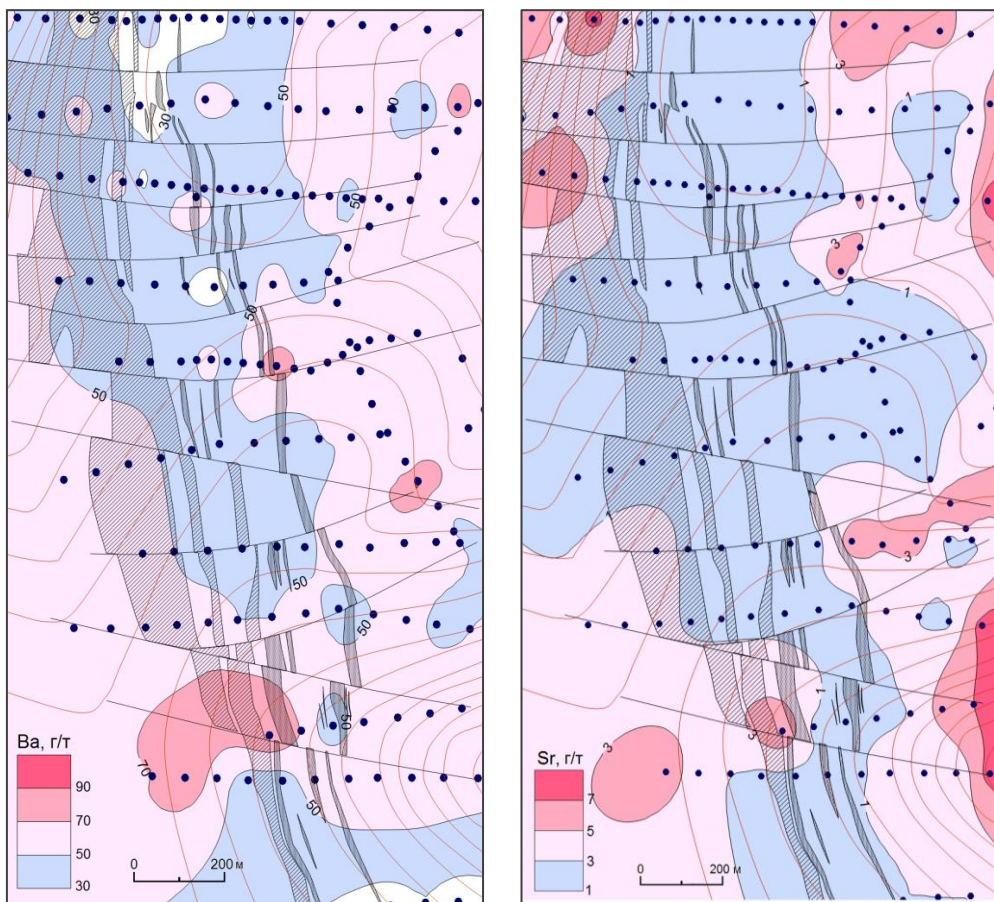


Рисунок 8 – Вторичные ореолы бария и стронция