

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПЛАТИНОИДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ГЕОЭЛЕКТРОХИМИИ В ПРЕДЕЛАХ СВЕТЛОБОРСКОГО МАССИВА (Средний Урал)

**О.Ф. Путиков, Н.П. Сенчина, И.В. Таловина, А.М. Дурягина,
Ю.М. Телегин*, В.С. Никифорова**

Санкт-Петербургский горный университет, 199106, Санкт-Петербург, 21 линия, д. 2, Россия

** ЗАО «Урал-МПГ», 620075, Екатеринбург, ул. Восточная, 56, Россия*

В пределах Светлоборского платиноносного массива (Средний Урал) выполнены опытно-методические работы термомангнитным геохимическим методом (ТМГМ) — одним из методов геоэлектрохимии. Проанализированы результаты наблюдений по двум профилям — поисковому и контрольному. Известное распределение концентрации платины вдоль канавы на контрольном профиле позволило подтвердить эффективность методики и выделить наиболее яркие показатели платиноносности по данным геоэлектрохимических исследований. Оценка полученных результатов позволила выделить перспективные участки, а также предположить наличие глубоких «слепых» рудных тел.

Геоэлектрохимия, ТМГМ, Светлоборский массив, элементы платиновой группы (ЭПГ).

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, Yu.M. Telegin, and V.S. Nikiforova

Experimental and methodological works were carried out by the thermomagnetic geochemical method (TMGM), one of geoelectrochemical methods, within the Svetlyi Bor platiferous massif (Central Urals). We have analyzed the results of observation along two (search and test) profiles. The known distribution of platinum contents along the ditch in the test profile confirmed the effectiveness of the used method and made it possible to recognize the best indicators of platinum from the geoelectrochemical research data. The obtained results helped to reveal PGE-promising areas and suggested the presence of deep-seated “blind” orebodies.

Geoelectrochemistry, TMGM, Svetlyi Bor massif, platinum group elements (PGE)

ВВЕДЕНИЕ

Высокий спрос автомобилестроения, электротехники, космонавтики и других областей промышленности на элементы платиновой группы (ЭПГ) и их уникальные свойства придает этим металлам стратегическое для развития страны значение. При этом россыпные месторождения, много лет бывшие важнейшим источником платиноидов, постепенно истощаются, уступая место в интересах геологоразведки коренным месторождениям.

Металлы платиновой группы (МПГ) характеризуются низкими кларками, высокой неравномерностью распределения в земной коре, в связи с чем при геохимических поисках коренных месторождений наряду с традиционными методами (определение МПГ в первичных и вторичных ореолах рассеяния, геохимические поиски по элементам-спутникам, а также магнито- и электроразведка) применяются более сложные, позволяющие выявлять рудные объекты с поверхности, используя высокочувствительный анализ специфических, подвижных и слабозакрепленных форм нахождения элементов [Лазаренков, 2001]. К числу таких геохимических методов относятся геоэлектрохимические методы поисков, которые в силу специфики физико-химической обработки проб редко применяются при поисках месторождений платиновых металлов, хотя имеется ряд примеров их использования ФГУ НПП «Геологоразведка» при проведении работ на территории Мурманской области, в Республике Карелия и во Вьетнаме с получением положительных результатов [Поликарпов и др., 2005]. Суть их заключается в выделении подвижной (либо вторично-закрепленной) формы изучаемого элемента и анализе ее содержания. Аномалии, полученные для подвижной формы, практически на порядок контрастнее аномалий валовых содержаний стандартной литогеохимии и отражают как приповерхностные, так и не выходящие на поверхность залежи. Возможность выявления «слепых» рудных тел возникает благодаря явлению

субвертикальной миграции в имеющих геоэлектрохимическую природу струйных ореолах рассеяния [Putikov, Wen, 2000; Путиков, 2009]. Традиционные литохимические методы, основанные на анализе валовых концентраций элементов в отбираемых пробах рыхлых отложений, зачастую не позволяют выявлять слабый сигнал от глубинного объекта из-за высокого и резко переменного геохимического фона [Ворошилов и др., 1987; Putikov, Wen, 1992]. Также важной особенностью геоэлектрохимических методов является более высокое соотношение аномалия/фон, что позволяет увереннее выполнять интерпретацию результатов.

Основоположником геоэлектрохимических методов поисков и разведки является Н.И. Сафронов [А. с., 1971]. В предложенном им в 30-х годах прошлого века и позже реализованном методе (частичного извлечения металлов — ЧИМ), извлечение ионов металлов происходило под действием постоянного электрического тока в подкисленную воду, залитую в пористый сосуд, установленный в рыхлый приповерхностный слой пород. В ходе последующего развития методики селективного анализа проб среди геоэлектрохимических методов с вещественной регистрацией выделились также метод диффузионного извлечения (МДИ), метод металлоорганических почвенных форм (МПФ) и термомагнитный геохимический метод (ТМГМ).

Термомагнитный геохимический метод основан на исследовании закономерностей распределения химических элементов, связанных с гидроксидами железа и марганца в почвах (или с железом- и марганецсодержащими минералами в горных породах). Метод был предложен в 1973 г. Н.А. Ворошиловым с соавторами, позже опробовано применение этого метода для поисков углеводородов [Патент, 1997]. Научной основой ТМГМ является теория о дальней миграции химических элементов в легкоподвижных формах нахождения с последующим закреплением и накоплением на путях транспортировки и вблизи дневной поверхности при взаимодействии их с железом- и марганецсодержащими минералами. В состав работ ТМГМ входят: полевой отбор проб, их магнетизирующий обжиг с выделением термомагнитной фракции; ее анализ на содержание элементов-индикаторов и измерение магнитной восприимчивости пробы до и после обжига [Ворошилов и др., 1966, 1987]. При этом аномально повышенные концентрации металлов, по данным геоэлектрохимии, как правило, приурочены к проекции концевых частей рудных тел на дневную поверхность. Значительное влияние на распределение аномальных зон оказывают тектонические процессы, что должно быть учтено при проведении работ. Опыт предшествующих исследований [Andropova et al., 1992; Путиков, 2009] позволил выполнить работы по обоснованной ниже методике.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СВЕТЛОБОРСКОГО ДУНИТ-КЛИНОПИРОКСЕНИТОВОГО МАССИВА

Светлоборский массив относится к Качканарскому интрузивному комплексу и входит в цепочку концентрически-зональных массивов платиноносного пояса Урала (рис. 1). Массив имеет позднеордовикский возраст и залегает среди зеленых сланцев среднего—верхнего ордовика [Иванов, 1997]. Форма массива линзовидная, вытянутая в субмеридиональном направлении, согласная с северо-западным простиранием вмещающих пород. Массив состоит из дунитового ядра и клинопироксенитовой оболочки. Центральную часть дунитового ядра слагают средне- и мелкозернистые дуниты. Мелкозернистые разновидности образуют несколько крупных полей в северной и южной половинах массива, среднезернистые — небольшие зоны на территории этих полей, а крупнозернистые разновидности имеют довольно ограниченное распространение. Периферийная часть ядра сложена тонкозернистыми дунитами, прорванными дайками клинопироксенитов, магнетитовых клинопироксенитов, хромдиопсидитов, флогопит-хромдиопсидитов пород, горнблендитов, горнблендит-пегматитов, апатитовых горнблендитов и иситов. Клинопироксенитовая оболочка прослежена почти по всей периферии массива.

По дунитам развивается маломощная прерывистая кора выветривания (до 10 м) и элювиально-делювиальные отложения (до 1.5—2 м). Хромитовые сегрегации на Светлоборском массиве встречаются редко: среди северного и южного поля средне- и мелкозернистых дунитов отмечаются две зоны развития жильных хромитов.

Платинометалльное оруденение Светлоборского массива представлено двумя типами: хромит-платиновым нижнетагильским [Лазаренков, Таловина, 2001; Пилюгин и др., 2013], приуроченным к хромититовым жилам центральной части дунитового ядра, и дунит-платиновым. Промышленно значимым в настоящее время является второй тип (рудопроявление им. Н.К. Высоцкого), по которому с 2005 г. ведутся активные поисково-разведочные работы [Телегин и др., 2009]. Платинометалльное оруденение локализовано в дунитах, непосредственно возле их контакта с клинопироксенитами оболочки. Платиноносная зона имеет ширину около 300 м и прослежена в субмеридиональном направлении вдоль контакта дунитов на 1.3 км. Серия близпараллельных даек горнблендитов, клинопироксенитов и иситов залегает согласно с внешним контактом дунита как по простиранию, так и по падению (восточное, с

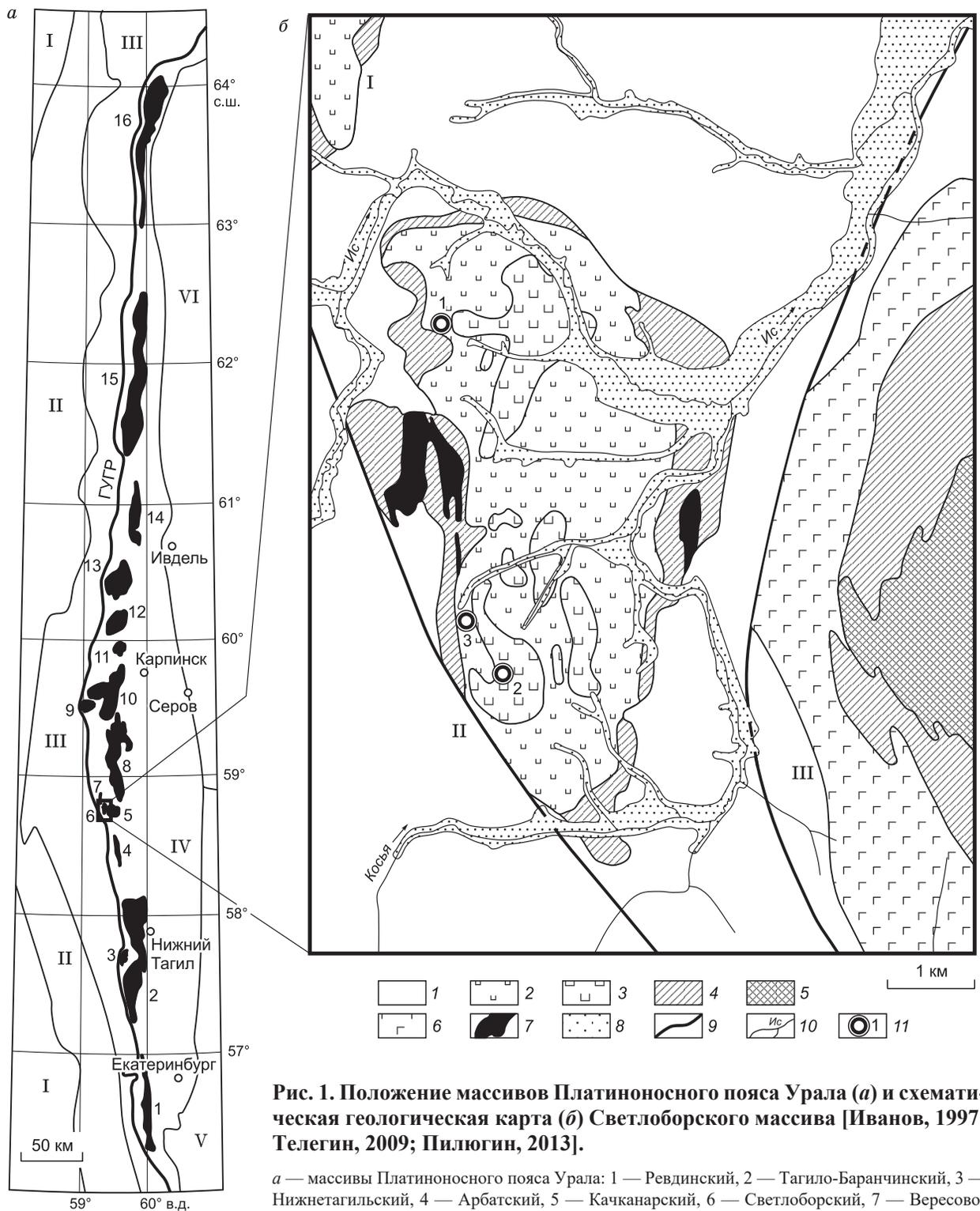


Рис. 1. Положение массивов Платиноносного пояса Урала (а) и схематическая геологическая карта (б) Светлоборского массива [Иванов, 1997; Телегин, 2009; Пилюгин, 2013].

а — массивы Платиноносного пояса Урала: 1 — Ревдинский, 2 — Тагило-Баранчинский, 3 — Нижнетагильский, 4 — Арбатский, 5 — Качканарский, 6 — Светлоборский, 7 — Вересовоборский, 8 — Павдинский, 9 — Косьвинский, 10 — Кытлымский, 11 — Княспинский, 12 — Кумбинский, 13 — Денежкинский, 14 — Помурский, 15 — Чистопский, Яллинг-Ньерский, 16 — Хорасюрский. ГУГР — Главный Уральский глубинный разлом.

Структурно-минерагенические мегазоны Уральской складчатой системы: I — Предуральский краевой прогиб, II — Западно-Уральская, III — Центрально-Уральская, IV — Тагило-Магнитогорская, V — Восточно-Уральская, VI — чехол Западно-Сибирской платформы.

б — I — Вересовоборский клинопироксенит-дунитовый массив, II — Светлоборский клинопироксенит-дунитовый массив, III — Качканарский габбро-клинопироксенитовый массив; 1 — кытлымиты, зеленые сланцы вьейской свиты среднего—верхнего ордовика; 2 — тонко- и мелкозернистые дуниты; 3 — средне- и крупнозернистые дуниты; 4 — клинопироксениты; 5 — титаномагнетитовые клинопироксениты; 6 — габбро; 7 — горнблендиты; 8 — платиноносные аллювиальные отложения; 9 — тектонические нарушения; 10 — гидросеть; 11 — некоторые рудопроявления платины: 1 — Борт Лога №1; 2 — Травянистый Лог, 3 — Высоцкого.

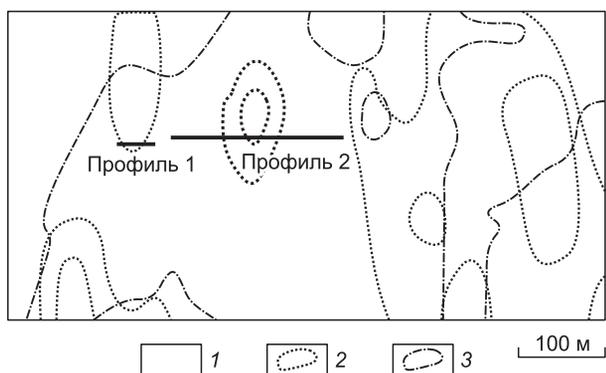


Рис. 2. Схема геологического строения, условных данных магниторазведки, литохимии по вторичным ореолам и профили наблюдения.

1 — дуниты мелкозернистые, 2 — аномалии платины по вторичным ореолам, 3 — аномалии магнитного поля.

углами 35—40°). Сами дайки подвержены сильным вторичным изменениям. Повышенные содержания платины (от 0.2 до 22.5 г/т) наблюдаются исключительно в дунитах, но минерализованные зоны контролируются дайками, прорывающими дуниты [Телегин и др., 2009].

Размер зерен платиноидов составляет в пределах рудной зоны Высоцкого 10—100 мкм, а в наиболее обогащенных участках до 1 мм. Они характеризуются ксеноморфным обликом и подвержены интенсивному окислению и вторичным изменениям, локализуются непосредственно в оливин-серпентиновой матрице без пространственной связи с хромшпинелидами. Характерны Pt-Fe сплавы, которые в некоторых зернах частично или полностью замещаются Pt-Fe-Cu сплавами. В парагенезисе с платиной часто встречаются сульфиды Ru, Os, Rh, реже отмечаются сульфоарсениды ЭПГ системы ирарсит-платарсит-холлингвортит и соединения Pd с Sb и As [Толстых и др., 2011].

Методика работ. В летний период 2013 г. в пределах рудопроявления Травянистый лог (участок Вершинный), локализованного в пределах Светлоборского массива, проведен отбор 40 проб из богатого гидроксидами железа горизонта для выделения вторичных «струйных» ореолов рассеяния (глубина отбора проб из подзолистых почв составляет 0.3—1.0 м) (рис. 2). Шаг отбора проб на участке с изученным распределением содержания платины (профиль 1) составил 2 м, исходя из размеров известной по данным проводимого ранее бороздowego опробования (со средним весом пробы 10 кг) аномальной зоны. Вес отобранной авторами пробы составил около 200 г, из которой посредством просеивания с размером ячейки 1 мм выделена мелкая фракция навеской 100 г. Данная часть пробы подвергалась магнетизирующему обжигу с последующей магнитной сепарацией, анализу терромагнитной фракции на содержание элементов-индикаторов и измерению магнитной восприимчивости пробы до и после обжига. Обжиг проб производился в керамическом тигле, в муфельной печи при температуре 800 °С в течение 20 мин. За это время происходит восстановление железосодержащих минералов (гидроксидов железа и марганца, несущих подвижные формы других элементов) до магнетита или маггемита. Далее пробы охлаждались и проводилась магнитная сепарация сухим способом с помощью ручного магнита А.Я. Сочнева [Патент..., 1949]. Шаг отбора проб на профиле 2 составил 10 м, для удобства сравнения масштабы на последующих графиках для профилей 1 и 2 отличаются.

Физико-химическая подготовка проб была проведена в лаборатории ООО «Геоэкохим», аналитические работы с применением химических методов, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir) и рентген-радиометрического анализа (Fe, Cr, Zn, Cu, Br, Sr, Mn, Ni, Ti, Co, Zr, Ba) выполнены аттестованными учреждениями — Испытательным аналитическим центром ООО «Институт Гипроникель» и ООО «Геоэкохим» (табл. 1).

Результаты работ. Средние содержания ЭПГ в пробах после обжига и другие статистические параметры представлены в табл. 1

Как видно из табл. 1, содержания ЭПГ характеризуются крайне высокой изменчивостью. Содержания платины в подвижной форме (в магнитной фракции рыхлых отложений) варьируют от 0.019 до 0.410 г/т.

Платина преобладает над всеми остальными ЭПГ и слабо коррелирует с родием ($k = 0.39$ при $k_{крит} = 0.39$ для 40 проб и 99 % вероятности) и иридием ($k = 0.46$). Сильных связей платины с хромом не

Таблица 1. Средние содержания ЭПГ в пробах после обжига, г/т

Элемент	Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум	Предел обнаружения
Pt	0.072	0.043	0.019	0.410	0.0002
Pd	0.015	0.006	0.001	0.121	0.0005
Rh	0.004	0.001	0.001	0.008	0.00007
Ru	0.004	0.003	0.000	0.009	0.0002
Ir	0.006	0.003	0.002	0.252	0.0001

Таблица 2. Коэффициенты корреляции I порядка подвижных форм ЭПГ с другими элементами в подвижной фракции (индекс-t) и в валовой пробе

Элемент	Pt-t	Pd-t	Rh-t	Ru-t	Ir-t	Элемент	Pt-t	Pd-t	Rh-t	Ru-t	Ir-t
	В подвижной фракции						В валовой пробе				
Fe-t	0.27	-0.29	0.25	0.65	0.14	Fe	0.17	-0.28	0.12	0.36	0.15
Cr-t	0.14	0.03	0.37	0.39	0.07	Cr	-0.12	0.26	0.29	-0.14	0.21
Zn-t	-0.12	0.01	0.16	-0.08	-0.14	Zn	-0.22	0.05	-0.11	-0.28	0.08
Cu-t	0.16	-0.17	-0.21	-0.01	-0.30	Cu	0.15	-0.22	-0.36	-0.17	-0.30
Br-t	-0.19	-0.33	-0.13	-0.21	-0.02	Br	0.08	0.30	-0.11	-0.44	-0.12
Sr-t	-0.04	0.10	-0.09	-0.45	-0.17	Sr	-0.04	0.05	-0.09	-0.39	-0.19
Mn-t	0.02	-0.23	0.16	0.52	0.03	Mn	-0.10	-0.18	0.11	0.18	0.01
Ni-t	0.05	-0.13	0.26	0.41	0.02	Ni	0.04	-0.11	0.32	0.27	0.13
Ti-t	-0.02	0.11	-0.02	-0.15	-0.06	Ti	-0.10	0.08	-0.25	-0.36	-0.20
Co-t	0.17	-0.13	0.25	0.47	0.16	Co	0.12	-0.21	0.22	0.24	0.26
Zr-t	-0.18	0.26	-0.27	-0.47	-0.14	Y	-0.23	0.30	-0.13	-0.50	-0.23
Ba-t	-0.06	-0.13	-0.11	-0.04	-0.05	Ba	-0.09	-0.06	-0.31	-0.22	-0.24
Pt-t	1	-0.06	0.39	0.22	0.46	Магнитная восприимчивость					
Pd-t	-0.06	1	0.41	-0.04	-0.01	До обжига	0.28	-0.12	0.34	0.55	0.28
Rh-t	0.39	0.41	1	0.47	0.54	После обжига	0.30	-0.22	0.24	0.57	0.30
Ru-t	0.22	-0.04	0.47	1	0.29						
Ir-t	0.46	-0.01	0.54	0.29	1						

Примечание. Количество проб составляет 40, жирным шрифтом выделены значимые по абсолютной величине коэффициенты: $k_{крит} = 0.39$ при 1 % вероятности ошибки.

наблюдается ни до, ни после обжига. Среди ЭПГ выделяется рутений по наибольшим коэффициентам корреляции с другими элементами. Значимые положительные коэффициенты корреляции характеризуют связи подвижных и слабозакрепленных форм платиноидов между собой и с железом, марганцем, никелем после обжига, а также с магнитной восприимчивостью (табл. 2). С элементами до обжига коэффициенты корреляции малозначимы для всех ЭПГ, за исключением рутения.

Сопоставление коэффициентов корреляции второго порядка [Методические указания..., 1970] для подвижных форм позволяет четко разделить группу, содержащую проанализированные металлы, на две подгруппы, в одну из которых вошли палладий (сопутствуют Au, Zr, Ti, Br, Y), а в другую — платина, родий, рутений и иридий (им сопутствуют Co, Ni, Zn).

Также определен коэффициент изменения средней концентрации элементов в пробах под действием термомагнитной обработки ($k_{обж}$), рассчитываемый как отношение содержания элемента в пробе после обжига к содержанию элемента до обжига, что позволяет выделить более контрастно участки накопления подвижных форм в «сложных» случаях с неоднородным геологическим строением верхней части разреза. Для всех элементов этот коэффициент больше единицы (табл. 3), за исключением брома и стронция. Также выделяется барий — элемент, концентрация которого после магнетизирующего обжига и магнитной сепарации увеличилась более чем в 4 раза. Для элементов, охарактеризованных $k_{обж} > 1$, свойственна тенденция накапливаться в связи с гидроксидами железа и марганца, так как описанная методика физико-химической обработки проб позволяет выделять такие гидроксиды в восстановленной форме вместе со связанными компонентами.

Магнитная восприимчивость после магнетизирующего обжига возросла в 2.27 раза, что весьма существенно; детальное распределение представлено на рис. 3. Распределение магнитной восприимчивости до и после обжига может быть полезно при оценке физико-химических условий в точке наблюдения и может быть использовано в качестве поискового критерия [Ворошилов, 1966].

Графики распределения коэффициентов изменения средней концентрации при термомагнитной обработке контрастно демонстрируют на контрольном профиле области выхода струйных ореолов рассеяния от рудоносных объектов на поверхность (см. рис. 3). При этом максимум концен-

Таблица 3. Коэффициенты изменения средней концентрации элементов

Элемент	$k_{обж}$	Элемент	$k_{обж}$
Fe	1.38	Mn	1.42
Cr	1.51	Ni	1.25
Zn	1.11	Ti	1.28
Cu	1.18	Co	1.28
Br	0.89	Ba	4.11
Sr	0.76		

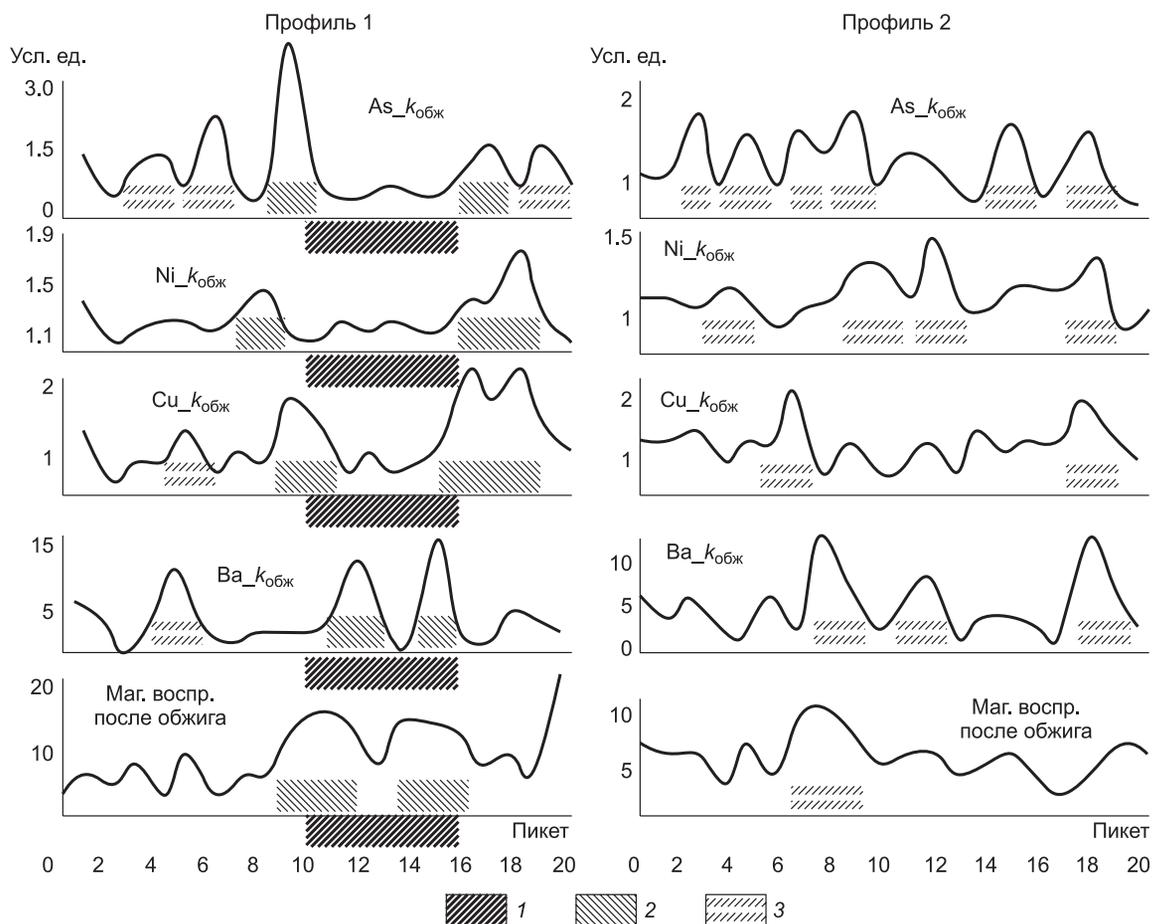


Рис. 3. Графики коэффициента изменения концентрации элементов в магнитных фракциях (после физико-химической обработки ТМГМ) по отношению к исходным концентрациям ($k_{обж}$).

1 — известная платиноносная зона, 2 — аномалии, связанные с известной платиноносной зоной (периферийные, максимум аномалии соответствует проекции на поверхность краевых частей рудного тела), 3 — аномалии, требующие заверки.

трации соответствует проекции контура залежи на поверхность (см. рис. 3, профиль 1, над проекцией контуров известной платиноносной зоны). Картина распределения аномалий по профилю 2 более изрезанная и связывается авторами с возможным наличием нескольких платиноносных зон. Бороздового опробования вдоль данного профиля выполнено не было, поэтому достоверно оценить платиноносные интервалы пока не представляется возможным.

На рис. 4 представлено распределение концентраций подвижной формы платиновых металлов в пробах. На профиле 1 выделяются две аномальные зоны, одна из которых пространственно совпадает с известной по данным бороздового опробования в коренных дунитах Светлоборского массива (пикеты 10—16). Вторая аномалия (пикеты 2—4) на этом профиле, вероятно, имеет глубинный источник, так как по данным бороздового опробования канав эта аномалия зафиксирована не была. При этом оба аномальных интервала прослеживаются на графиках распределения подвижных форм различных элементов — платины, родия, рутения. Подобная картина наблюдается и на профиле 2, что дает возможность выделить в его пределах наиболее интересные интервалы для проведения дальнейших поисковых работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные геоэлектрохимические работы по выявлению аномалий концентраций платиновых металлов в пределах Светлоборского массива свидетельствуют о возможности практического использования примененной методики, что видно из результатов работ на профиле 1 с известным (по данным бороздового опробования коренных дунитов) положением платиноносной зоны, которое было подтверждено периферийными аномалиями концентрации подвижных форм элементов-спутников и собственно платиноидов. Подтверждение известной аномалии по нескольким параметрам позволяет пред-

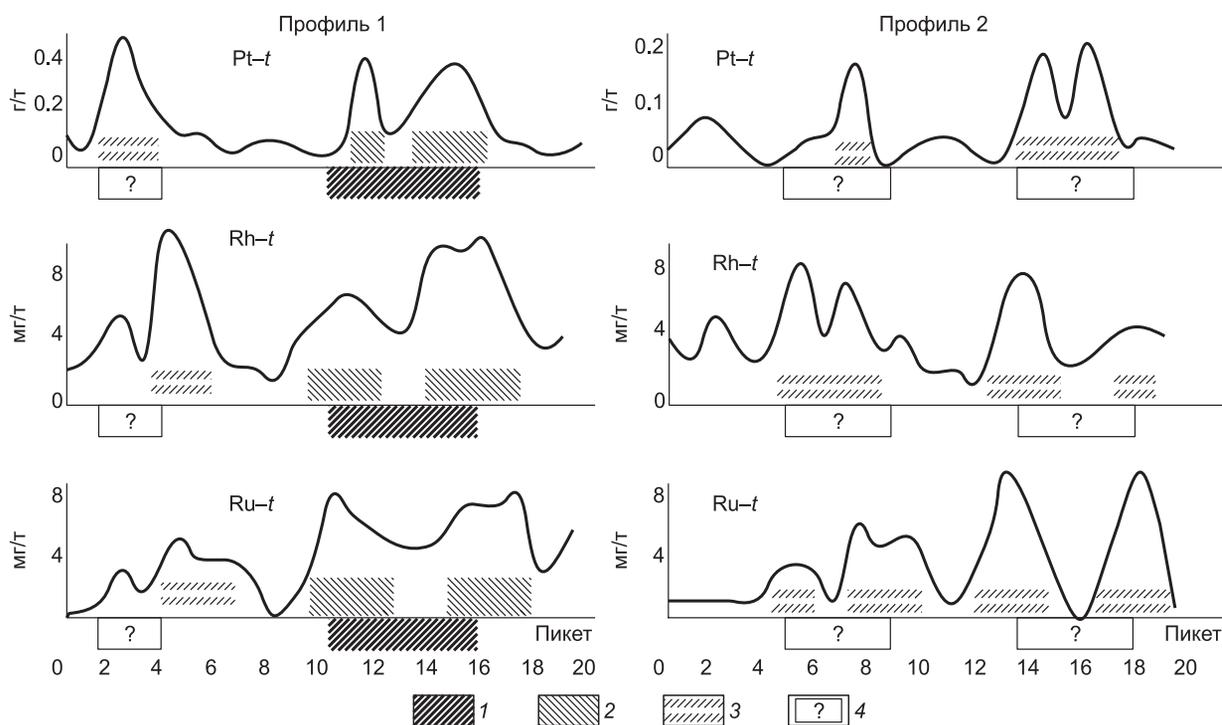


Рис. 4. Графики содержания элементов в магнитных фракциях (после физ.-хим. обработки ТМГМ).

1 — известная платиноносная зона, 2 — аномалии, связанные с известной платиноносной зоной, 3 — аномалии, требующие заверки, 4 — предлагаемые участки заверки аномалий.

ложить методику ТМГМ для дальнейших поисковых работ. Кроме того, в пределах профиля 1 выделена аномалия, слабо проявленная в приповерхностном геохимическом поле, но хорошо отображающаяся при интерпретации геоэлектрохимических данных. Данный участок профиля перспективен на «слепые» платиноносные объекты, в связи с чем рекомендуется проверить данную гипотезу бурением на месте положения пикетов 2—4. Профиль 2 рекомендуется к проверке путем бороздового опробования, однако, желательно продлить канаву в восточном направлении. Если результаты бороздового опробования не подтвердят обе выделенные аномалии, то неподтвержденные аномалии можно считать порожденными объектами/зонами, не выходящими на поверхность, что также потребует заверки бурением. Глубина залегания таких объектов может быть определена дополнительно. Взаимосвязь магнитной восприимчивости и распределения платиновых металлов может послужить в будущем одним из критериев в экспресс-методике выделения перспективных на ЭПГ зон в пределах объектов сходного геологического строения.

ЛИТЕРАТУРА

А. с. 237287 СССР. Способ разведки рудных месторождений / Ю.С. Рысс, И.С. Гольдберг, В.Д. Лысенко. Оpubл. в БИ., 1971.

Ворошилов Н.А., Ворошилова Л.Н. Применение термомагнитного геохимического метода (ТМГМ) при поисках рудных месторождений // Методы интерпретации результатов литохимических поисков. М., Наука, 1987, с. 135—141.

Ворошилов Н.А., Сочеванов Н.Н. Поиски зон оруденения по изменению магнитной восприимчивости пород и минералов при нагревании // Разведка и охрана недр, 1966, № 6, с. 40—45.

Иванов О.К. Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала. Екатеринбург, Изд-во Урал. ун-та, 1997, 488 с.

Лазаренков В.Г., Таловина И.В. Геохимия элементов платиновой группы. СПб., Изд-во «Галарт», 2001, 266 с.

Методические указания по геологической съемке м-ба 1 : 50 000. Вып. 10. Гидрохимические исследования. Л., Недра, 1970, 376 с.

Патент 2097796 Россия. Геохимический способ поисков углеводородов / Н.А. Ворошилов, С.А. Вешев, С.Г. Алексеев, В.И. Васильев, О.Ф. Кужельная. 1997. Заявл. 3.IV.1996, опубл. 27.11.1997.

Патент 88922 СССР. Постоянный магнит для шлихового анализа / А.Я. Сочнев. Заявл. 24.XII.1949, № 409358, опубл. 01.02.1950.

Пилюгин А.Г., Лазаренков В.Г., Воронцова Н.И., Головина И.В., Козлов А.П., Антонов А.В., Кемпе У. Платиноносные жильные хромититы Светлоборского клинопироксенит-дунитового массива, Средний Урал // Записки Горного института, 2013, т. 200, с. 249—257.

Поликарпов В.К., Ронин А.Л., Елисеев А.А., Захаров С.Н., Штокаленко М.Б., Козлов С.А. Технология прогнозно-поисковых работ на сульфидные медно-никелевые руды с металлами платиновой группы // Записки Горного института, 2005, т. 162, с. 42—44.

Путиков О.Ф. Основы теории нелинейных геоэлектрохимических методов поисков и разведки. СПб., СПГГИ (ТУ), 2009, 534 с.

Телегин Ю.М., Телегина Т.В., Толстых Н.Д. Геологические особенности рудопроявлений платины Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения. Екатеринбург, ИГиГ УрО РАН, 2009, т. 2, с. 212—215.

Толстых Н.Д., Телегин Ю.М., Козлов А.П. Коренная платина Светлоборского и Каменушинского массивов платиноносного пояса Урала // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (6), с. 775—793.

Antropova L.V., Goldberg I.S., Voroshilov N.A., Ryss Ju.S. New methods of regional exploration for blind mineralization: application in the USSR // J. Geochem. Explor., 1992, v. 43, p. 157—166.

Putikov O.F., Wen B. Geoelectrochemistry and stream dispersion // Geochemical remote sensing of the subsurface. Handbook of exploration geochemistry / Ed. M. Hale. Amsterdam, Elsevier, 2000, v. 7, p. 17—79.

*Рекомендована к печати 20 октября 2016 г.
А.Э. Изохом*

*Поступила в редакцию 20 января 2016 г.,
после доработки — 15 сентября 2016 г.*