

К.О. ДУДКИН

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МАЛОСУЛЬФИДНОГО ТИПА В РАССЛОЕННЫХ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫХ ИНТРУЗИЯХ КОЛЬСКОЙ ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОЙ ПРОВИНЦИИ (РОССИЯ)

Дан обзор и оценены возможности геофизических и геохимических методов, применяющихся при поисках платинометалльных месторождений в пределах Кольской платинометалльной провинции. Обоснована высокая роль остаточной намагниченности в магнитных свойствах пород. Показана зависимость эффективности электроразведки ВП и геохимической съемки от выбора технологии работ. Установлено, как различные типы ЭПГ-минерализации проявляются в геофизических полях.

Малосульфидная платинометалльная минерализация (МСПМ) в расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузиях — важнейший источник элементов платиновой группы (ЭПГ) в мире [5] и очень сложный объект для геофизических методов. Цель настоящей работы, основанной на 14-летнем опыте изучения перспективных на платиноиды интрузий Кольского п-ова (главным образом Федорово-Панской, Мончегорской и Мончетундровской), — оценить возможности комплекса геофизических и геохимических методов при поисках месторождений такого типа.

**Гравиразведка** общепризнанно эффективна на стадии поиска и моделирования расслоенных интрузий, которые отличаются высокой плотностью. Карты потенциальных полей помогают установить закономерности размещения платиноносных интрузий. В пределах Балтийского щита перспективные на ЭПГ расслоенные интрузии [18, 19] датируются раннепротерозойским возрастом 2400–2507 млн. лет [2] и формируются на контакте высокоплотных вулканогенно-осадочных образований протерозойского возраста и низкоплотных пород архейского кристаллического фундамента. Размещение интрузий контролируется крупными секущими разломами древнего заложения (рис. 1). Данной закономерности подчиняются платиноносные интрузии Кольской платинометалльной провинции, Финляндии и Карелии. Хотя выделение некоторых маломощных интрузий в поле силы тяжести на фоне гравиметрической ступени может быть проблематичным, гравиразведка позволяет не только выявить интрузии, но и выполнить их объемное моделирование. Подобные работы проведены почти на всех классических платинометалльных объектах (Бушвельд, Стиллутер, Великая Дайка и т.п.), где они послужили основанием для объемных геологических моделей [27], и для большинства платиноносных интрузий Балтийского щита.

**Магниторазведка** обладает большим потенциалом при поиске и изучении детального строения расслоенных интрузий. Породы основного-ультраосновного состава, благодаря высокому содержанию железа, могут нести богатую ферромагнитную

минерализацию; однако это лишь потенциальная возможность. Характерен пример Кольского региона, где интрузии, принадлежащие к одному платинометалльному поясу, сходные по составу, возрасту и структурной позиции, значительно отличаются по намагниченности.

Намагниченность складывается из двух компонент — индуктивной и остаточной (ЕОН), причем последняя обычно значительно слабее изучена. На рис. 2 приведены магнитные свойства некоторых расслоенных интрузий. В наиболее интенсивно намагниченных интрузиях преобладает ЕОН (фактор Кенигсбергера  $Q > 1$ ). Остаточная намагниченность, таким образом, заслуживает более подробного рассмотрения.

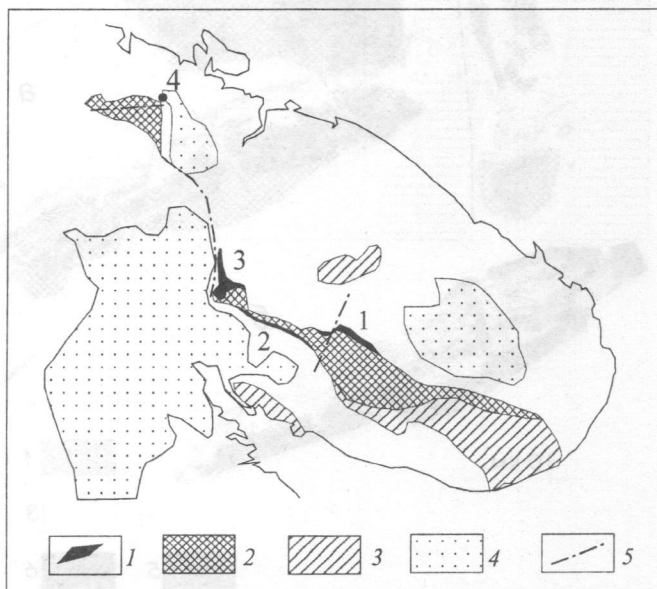


Рис. 1. Распределение платиноносных интрузий Кольского п-ова: 1 — расслоенные мафит-ультрамафитовые интрузии, перспективные на ЭПГ; 2, 3 — положительные аномалии силы тяжести, связанные: 2 — с протерозойскими вулканогенно-осадочными породами комплекса Печенга-Имандра-Варзуга; 3 — с другими породами; 4 — отрицательные аномалии силы тяжести; 5 — некоторые крупные разломы; интрузии: 1 — Федорово-Панская, 2 — Имандровская, 3 — Мончеплутон и Мончетундровская, 4 — гора Генеральская

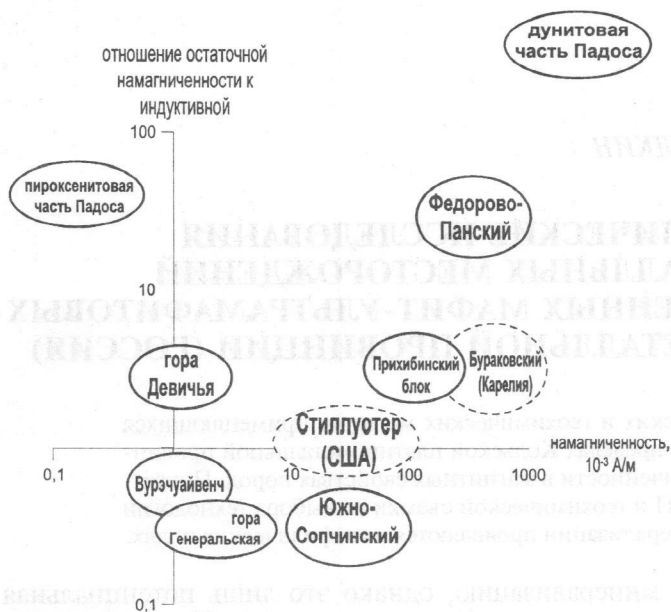


Рис. 2. Магнитные свойства некоторых расслоенных интрузий (гора Девичья и Прихибинский блок — части Имандровской интрузии, Вурэчуайвенч — часть Мончеплутона, Южно-Сопчинский массив — часть Мончеплутонской интрузии)

Жесткая ЕОН пород Федорово-Панского массива ( $Q \approx 20-30$ ) известна давно [22]. Можно считать установленным, что ЕОН габброноритов массива обусловлена пылевидной вкрапленностью магнетита в так называемых бурых плагиоклазах, а преобладающее направление ЕОН ( $I \approx 40^\circ$ ,  $D \approx 0^\circ$ ) соответствует перемагничиванию массива в период свекофенской активизации 1,9–1,8 млрд. лет [6, 8, 23]. Бурые плагиоклазы широко распространены в пределах Балтийского щита [25]. Показано,

что в Бураковском массиве Карелии преобладающая ЕОН мафитовых пород ( $Q \approx 2-5$ ) связана с однодомными игольчатыми включениями магнетита в плагиоклазах [32]. На аналогичную природу остаточной намагниченности указывают исследователи массива Стиллуотер [31]. Можно предположить, что ЕОН, связанная с однодомными зернами магнетита в плагиоклазах, должна быть типична для мафит-ультрамафитовых интрузий Балтийского щита.

Федорово-Панский массив — пример крупной высокомагнитной расслоенной мафитовой интрузии (рис. 3). Для сравнения в том же масштабе показана аэромагнитная карта массива Стиллуотер, который в целом можно считать слабомагнитным [28].

Тектонические нарушения в породах основного состава обычно отчетливо фиксируются пониженным магнитным полем (рис. 3). Это объясняется механическим разрушением и окислением магнетита при эпидотизации плагиоклаза в приразломных зонах. Закономерность отчетливо прослежена во всех изученных расслоенных интрузиях основного состава — от крупных разломов, секущих интрузии на блоки, до детальных нарушений протяженностью в несколько сотен метров.

Отметим, что даже слабые вторичные изменения габброноритов (содержание вторичных минералов не превышает нескольких процентов) приводят к значительной потере намагниченности, из-за окисления субмикроскопических зерен магнетита. Отмечено, что и в целом различие мафитовых интрузий по намагниченности может в значительной мере объясняться различной степенью вторичных изменений. Так, в пределах Кольского региона наиболее высокомагнитный Федорово-Панский массив отличается почти неизменными породами; напротив, слабомагнитным массивам, как Вурэчуайвенч (одна из фаз Мончеплутона), Имандровскому комплексу и горе Генеральской, присущи существенные изменения пород.

Необходимо подчеркнуть, что снижение магнитных свойств в зонах разломов типично для мафитовых пород. Ультраосновные породы, для которых зависимость может быть более сложной [24], в расслоенных платиноносных комплексах Кольской провинции занимают подчиненное положение [18, 19].

Магматическая расслоенность отчетливо проявлена в магнитном поле (рис. 3) и может быть прослежена в различных масштабах — от толщ мощностью в несколько тысяч метров до отдельных слоев мощностью в несколько десятков метров. Однако далеко не всегда можно установить соответствие между намагниченностью и петрологическими характеристиками. Так, в Панском массиве не более 10% интенсивных магнитных аномалий обусловлены прослоями магнетитовых, пиконитовых и оливиновых габброноритов. Большая часть «слоевых» магнитных аномалий приходится на монотонные габбро и габбронориты, причем между высоко- и низкомагнитными разностями пород нет ника-

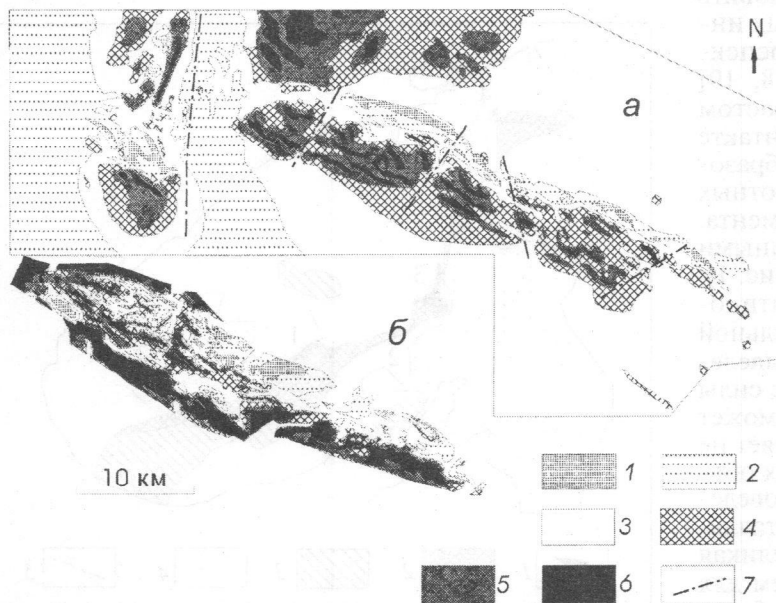


Рис. 3. Расслоенные интрузии в магнитном поле: а — Федорово-Панский массив (по аэромагнитной съемке А.М. Любавина, 1973); б — массив Стиллуотер (аэромагнитная съемка Fugro&Idaho Consolidated Metals Corporation, 2000): 1–6 — интенсивность магнитного поля, нТл: 1 — < -500 для Федорово-Панского массива (ФПМ), < -100 для Стиллуотера (Ст); 2 — от -500 до 0 для ФПМ, от -100 до 0 для Ст; 3 — 0–500 для ФПМ, 0–100 для Ст; 4 — 500–1000 для ФПМ, 100–200 для Ст; 5 — 1000–1500 для ФПМ, 200–300 для Ст; 6 — > 1500 для ФПМ, > 300 для Ст; 7 — наиболее крупные разломы в пределах Федорово-Панского массива



ких петрологических различий, кроме преобладания либо бурого, либо осветленного плагиоклаза [8]. Тем не менее существует возможность выделения в магнитном поле высокомагнитных маркеров. В литературе неоднократно указывалось на формирование на заключительных стадиях кристаллизации мафит-ультрамафитовых интрузий обогащенных железом высокомагнитных пород — феррогаббро и ферродиоритов [5,13]. Широко известными примерами являются Бушвельд (ЮАР), Стиллоутер (США), Мани-Манни (Австралия), Скергаард (Гренландия), отмечается нарастание содержаний железа к верхней части разреза в Великой Дайке (Зимбабве), Джимберлейн (Австралия) и др. [5]. В пределах Балтийского щита магнетитовые габбро в верхней части разреза известны в интрузиях Койлсмаа (Финляндия), Ципринга, Бураковская (Карелия), Имандровская (Кольский п-ов) [5, 13]. В разрезе Западно-Панского массива также известны уровни магматической расслоенности, к которым приурочены прослои магнетитовых габбро (рис. 4). Отметим, что их природа дискуссионна, они наблюдаются в виде линз, которые образуют с вмещающими габброноритами как постепенные переходы при согласном с расслоенностью залеганием [13], так и резкие контакты с признаками секущих взаимоотношений. Верхний (южный) уровень магнетитовых габбро занимает в разрезе отчетливую стратиграфическую позицию и может служить маркирующим горизонтом. Сложнее ситуация с нижним (северным) уровнем магнетитовых габбро, который представлен редкими линзами. Разрез Восточно-Панского массива существенно отличен, и здесь наиболее магнитные уровни приурочены к контакту нижней габброноритовой и верхней габбровой толщ. Сходная ситуация наблюдается и на массиве Федоровой тундры, где нижняя габброноритовая часть разреза менее магнитна, чем верхняя, габбровая, более насыщенная магнетитом. Таким образом, наиболее высокомагнитные уровни расслоенных мафитовых интрузий — характерные стратиграфические маркеры, вероятно, отвечающие поздним стадиям кристаллизации интрузий.

Тонко- и контрастно-расслоенные серии пород, наиболее перспективные на повышенные концентрации ЭПГ, как правило, обладают также контрастно-дифференцированными магнитными свойствами. Примеры для массивов Панского, Федоровой тундры и Южно-Сопчинского, где зоны платинометалльной минерализации приурочены в целом к участкам дифференцированного магнитного поля, показаны на рис. 5.

Прослеживание уровней расслоенности, вмещающих МСПМ, в магнитном поле в пределах контрастно расслоенных серий оказалось достаточно эффективным, при выдержанном магнитном разрезе и наличии отдельных пунктов минерализации, установленных по геологическим данным. При этом отмечены два случая:

1. Наиболее распространена приуроченность уровней ЭПГ-минерализации к выдержанным немагнитным прослоям. В нижнем расслоенном горизонте (НРГ) Панского массива Северный платиноносный риф (т. е. маломощная и протяженная зона МСПМ) отчетливо приурочен к немагнитной зоне между более намагниченными пластами (рис. 5, г),

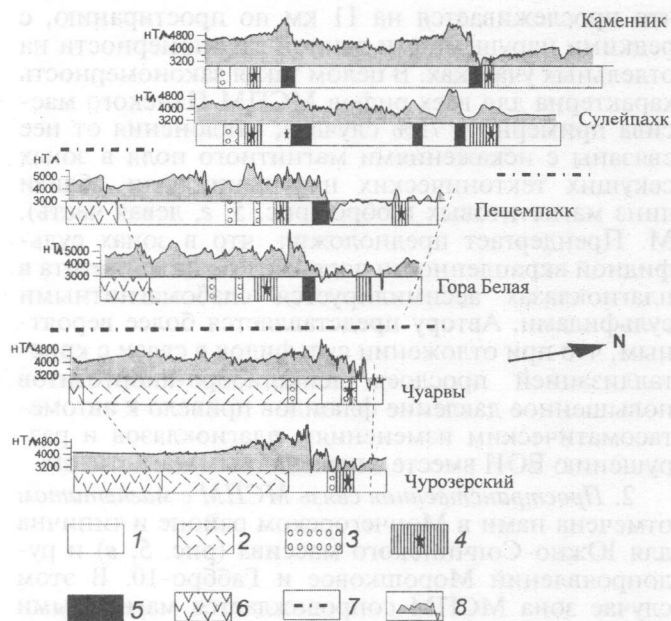


Рис. 4. Корреляция магнитных и стратиграфических разрезов через Панский массив: 1 — габбронориты, 2 — габбро, 3 — оливковые габбронориты, 4 — тонкорасслоенные серии и ЭПГ-минерализация, 5 — магнетитовые габбро, 6 — вмещающие породы (метавулканыты), 7 — разломы между блоками массива, 8 — графики магнитного поля

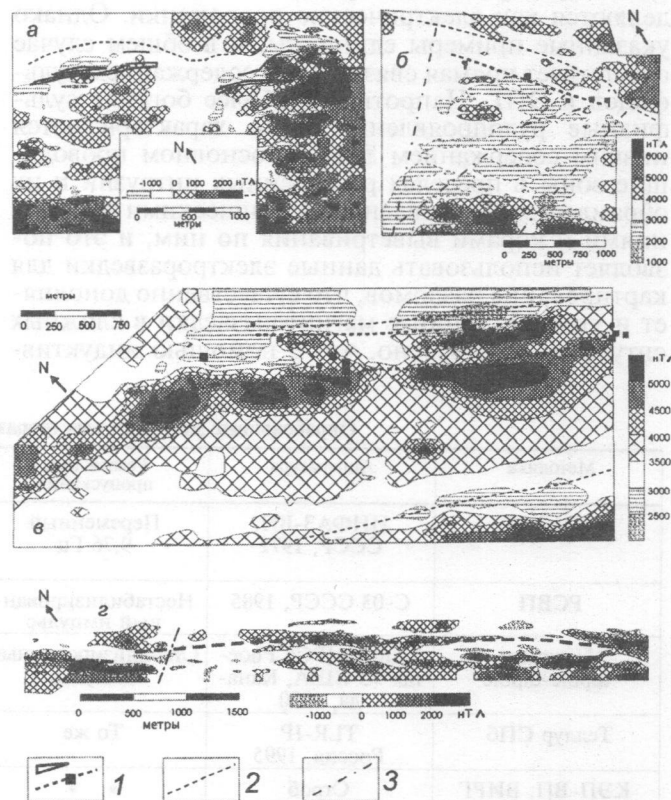


Рис. 5. Приуроченность платинометалльного оруденения к дифференцированному магнитному полю и магнитным аномалиям разных знаков: 1 — точки и уровни платинометалльной минерализации, 2 — геологические границы, 3 — разломы; а — Федорова тундра, б — Северный Пешемпахк (Панский массив), в — Южно-Сопчинский массив (Мончегундровская интрузия), г — Северный Киевский фрагмент Нижнего расслоенного горизонта (Панский массив)

что прослеживается на 11 км по простиранию, с редкими нарушениями данной закономерности на отдельных участках. В целом такая закономерность характерна для всех рифов МСПМ Панского массива примерно в 75% случаев; отклонения от нее связаны с искажениями магнитного поля в зонах секущих тектонических нарушений или вблизи линз магнетитовых габбро (рис. 5, г, левая часть). М. Прендергаст предположил, что в зонах сульфидной вкрапленности часть железа из магнетита в плагиоклазах ассимилируется слабомагнитными сульфидами. Автору представляется более вероятным, что при отложении сульфидов в связи с кристаллизацией прослоев лейкогаббро-анортозитов повышенное давление флюидов привело к автотасоматическим изменениям плагиоклазов и разрушению ЕОН вместе с пылевидным магнетитом.

2. *Пространственная связь МСПМ с магнетитом* отмечена нами в Мончегорском районе и типична для Южно-Сопчинского массива (рис. 5, в) и рудопроявлений Морошковое и Габбро-10. В этом случае зона МСПМ сопровождается магнитными аномалиями.

*Индуктивная электроразведка и методы сопротивления* обычно малоэффективны при работах на МСПМ в расслоенных мафит-ультрамафитовых интрузиях, поскольку убогая сульфидная вкрапленность не создает аномалий электропроводности: исключение, когда в некоторых рудопроявлениях МСПМ высоко содержание сульфидов, вплоть до образования прожилков. Такие зоны выделяются как электрические проводники. Однако указанные примеры единичны, и в общем случае отсутствует прямая связь между содержанием сульфидов и ЭПГ. Напротив, наиболее богатые сульфидные рудопроявления часто характеризуются низким содержанием ЭПГ. В основном проводящие зоны в пределах расслоенных интрузий и их обрамления обусловлены тектоническими нарушениями и корами выветривания по ним, и это позволяет использовать данные электроразведки для картирования разломов, что существенно дополняет и уточняет данные магниторазведки в сложных ситуациях. Интересно, что с помощью индуктив-

ной аэроэлектроразведки на Панском массиве гораздо четче и однозначнее картируются магнетитовые габбро, чем в случае магниторазведки. Магнитные аномалии, обусловленные высокой магнитной восприимчивостью (МВ) магнетитовых габбро, и магнитные аномалии, вызванные жесткой ЕОН габброноритов, неотличимы. Однако в переменных электромагнитных полях породы хорошо различаются: над магнетитовыми габбро с высокой МВ и фактором  $Q < 1$  наблюдаются резкие аномалии синфазной компоненты, в то время как габбронориты с высокой ЕОН, но низкой МВ не реагируют на внешние электромагнитные поля.

*Электроразведка методом вызванной поляризации (ВП)* — единственный геофизический метод на вкрапленную рудную минерализацию [11]. Однако условия применения метода ВП на платинометалльных рудопроявлениях чрезвычайно сложны: содержания сульфидов в рудах варьируют в пределах 0,5–3%, а мощность рудных зон чаще всего не превышает несколько метров. Поэтому примеры удачного применения ВП на рудопроявлениях МСПМ в мире очень редки. Наш опыт показывает, что эффективность ВП в значительной степени зависит, с одной стороны, от выбора технологии работ, с другой стороны, от геологической ситуации и типа оруденения.

В табл. 1 показаны основные методики, предложенные и опробованные на Федорово-Панском и Мончегорском объектах различными исполнителями.

Наиболее важное в методике — уровень аппаратуры, временной режим измерений, геометрия установки и алгоритм интерпретации.

Регулируемый разнополярный импульсный режим в секундном диапазоне, позволяющий подобрать оптимальное время измерения ВП для конкретного типа минерализации, обладает явными преимуществами [12]. Изучение поляризационных свойств образцов показало, что максимум переходной характеристики ВП для вкрапленных малосульфидных руд Панского массива лежит в пределах 0,2–0,4 с. Выбор геометрии установки — вопрос нетривиальный [26, 30]; практика показала преи-

Таблица 1

Опробованные методики электроразведки методом вызванной поляризации

| Методика              | Аппаратура                                 | Режим тока пропускания    | Время спада, при котором измеряется ВП, с | Установка   | Интерпретация               |
|-----------------------|--|---------------------------|---|---|-----------------------------|
| ИНФАЗ                 | ИНФАЗ-ВП, СССР, 1972                       | Переменный 9,76 Гц        | $10^{-2}$                                 | СГ, MN = 20 м АВ до 5 км                                | Качественная, моделирование |
| РСВП                  | С-03 СССР, 1985                            | Нестабилизованный импульс | От $10^{-3}$ до $10^{-2}$                 | A100B20M20N   | Качественная                |
| Newmont dipole-dipole | Scintrex IPC8 Phoenix V5 США, Канада, 1990 | Стабилизированный импульс | От 0,1 до 1                               | Диполь—диполь, АВ=МN=20 м ОО' от 20 до 100 м            | То же                       |
| Теллур СПб            | TLR-IP Россия, 1995                        | То же                     | То же                                     | СГ, MN = 10-20 м АВ до 3 км                             | Моделирование               |
| КЭП-ВП, ВИРГ          | Строб Россия, 1998                         | » »                       | » »                                       | Трехэлектродная AMNB $\infty$ , MN = 10-20 м АО до 50 м | Качественная                |

Примечание. <sup>1</sup> Эквивалентное время спада, оцененное по формуле  $t = 2\pi f$ , где  $f$  — частота [12]; РСВП — ранняя стадия вызванной поляризации; КЭП-ВП — комбинированное электропрофилирование вызванной поляризации; Newmont, Теллур СПб, ВИРГ — фирмы, разработавшие аппаратуру и программное обеспечение; СГ — срединный градиент, А, В — питающие электроды, М, N — приемные электроды, ОО' — центры линий АВ и MN.



мущество сочетания схем СГ с длинными разносами и точечных зондирований (ТЗ). В отношении выбора алгоритма интерпретации, играющего особенно важную роль, существенным является совместное моделирование сопротивления и поляризуемости [9, 20]. Наилучшей из опробованных методик оказалась предложенная группой «Теллур СПб» (Сергеев С.П., Ермохин К.М., Петров А.А. и др.), и приведенные ниже оценки относятся только к этой методике.

С точки зрения применения ВП можно выделить три типа МСПМ.

1. *Оруденение типа Платриф*, которое характеризуется относительно высокими содержаниями сульфидов (0,5–3% и более) и мощностью рудных зон в несколько десятков метров, развито на массивах Федоровой тундры [18, 19] и горы Генеральской. Зоны сульфидной минерализации выделяются аномалиями повышенной поляризуемости и сопротивления. Сочетание таких аномалий на Федорово-Панском массиве практически всегда связано с тектоническими зонами [7]. На рис. 6 показаны результаты электроразведки ВП и их подтверждение бурением на одном из разрезов через северную часть Федоровой тундры. При надлежащем выборе

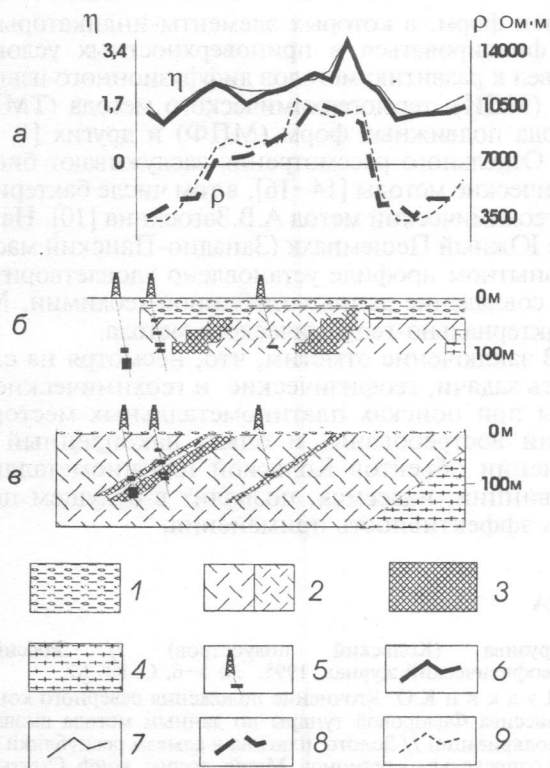


Рис. 6. Пример заверки бурением прогноза электроразведки методом вызванной поляризации (ВП) для оруденения типа Платриф (Федорова тундра, С.П. Сергеев, 1995, производственный отчет): а – кривые кажущегося сопротивления и поляризуемости, б – геоэлектрический разрез по результатам ВП, в – геологический разрез по результатам бурения (упрощено); 1 – рыхлые отложения и (для модели ВП) выветрелые коренные породы; 2 – габбронориты массива Федоровой тундры различных плотностей и удельного электрического сопротивления, 3 – зоны вкрапленной сульфидной минерализации (предполагаемые по ВП и установленные по бурению), 4 – вмещающие гнейсодiorиты, 5 – скважины и интервалы сульфидной вкрапленности по бурению, 6 – измеренные кривые поляризуемости, 7 – расчетные кривые поляризуемости, соответствующие геоэлектрической модели, 8 – измеренные кривые удельного сопротивления, 9 – расчетные кривые удельного сопротивления, соответствующие геоэлектрической модели

технологии прогноз ВП подтверждался для данного типа оруденения на 85%.

2. Наиболее распространен более сложный случай – *оруденение стиллуотерского или панского типа* [5]. Для него характерно содержание сульфидов на уровне 0,5–1% при мощности рудной зоны от нескольких метров до нескольких десятков сантиметров. К этому типу оруденения принадлежат все платинометалльные рифы Панского массива [18, 19], а также оруденение массива Вурэчуайвенч. Перспективный признак этого типа минерализации тот же – сочетание аномалий повышенной поляризуемости и сопротивления; однако минерализованные зоны выделяются методом ВП на пределе чувствительности. Геоэлектрический разрез в данном случае подтверждается бурением примерно на 50–65%, однако возрастает вклад геологических помех, поэтому часто вскрытые бурением слабо поляризуемые объекты оказываются не связаны с МСПМ (вторичная минерализация вблизи измененных зон, колебания содержаний ферромагнитных минералов, вклад электрокинетической поляризуемости зон выветривания и т.п.). Фактически поисковая эффективность метода, т. е. подтверждение бурением положительного прогноза ВП как зон первичной сульфидной минерализации, потенциально перспективных на ЭПГ, составляет на различных участках от 20 до 65%.

3. *Ассоциация МСПМ с магнетитом*, наблюдавшаяся нами в Мончегорском районе, – наиболее простой случай для применения ВП, поскольку

Таблица 2

Результаты применения различных методик геохимических поисков при поисках платинометалльного оруденения на Федорово-Панском массиве

| Метод   | Исполнитель и годы работ                  | Результат      |
|---|---|----------------|
| Стандартная литохимическая съемка с ПКСА  | Работы разных лет (СФ ГП ЭГГИ, 1989–1990) | Отрицательный  |
| Гамма-спектрометрия   | Центрально-Кольская экспедиция, 1989      | То же          |
| Термогеохимический (ТМГМ)   | СФ ГП ЭГГИ, 1989–1990                     | Неопределенный |
| Биогеохимическая съемка по мхам с РРМ и гидрогеохимическая съемка с РРА сорбентов | А.К. Лебедев, ВИРГ, 1994                  | То же          |
| Литохимическая съемка по струйным ореолам [29] с ААА                              | В. Cocker, ВНР Minerals, 1998             | Обнадеживающий |
| Бактериально-геохимический метод по мхам (методика В.А. Загоскина)                | С.В. Мысов, Мурманская ГРЭ, 2002          | То же          |
| Метод диффузионного извлечения (МДИ)  | А.П. Никитичев, ЗАО «Теллур СПб», 2002    | » »            |
| Геохимическая съемка по придонной морене  | Центрально-Кольская экспедиция, 2002–2003 | Положительный  |

Примечание. ПКСА – полуколичественный спектральный анализ, РРМ, РРА – рентгенорадиометрический метод и анализ, ААА – атомно-абсорбционный анализ, ВИРГ – Всероссийский институт разведочной геофизики, С-Петербург, СФ ГП ЭГГИ – дочернее предприятие ВИРГ в 1989–1993 гг.

поляризуемость зон минерализации возрастает за счет суммарного вклада сульфидов (содержания от 1–3 до 5–10% в отдельных шлирах) и титаномагнетита (содержания того же порядка). Перспективный признак таких минерализованных зон — близость и корреляция в плане аномалий поляризуемости и магнитных. Полученные данные позволяют успешно строить объемные модели рудных зон, подтверждающиеся бурением.

В целом необходимо признать, что технология работ ВП для прослеживания МСПМ нуждается в дальнейшем развитии.

**Геохимическая съемка** способна давать наиболее прямые поисковые признаки собственно МСПМ — содержания ЭПГ и других геохимических индикаторов. Однако в условиях северных районов выбор методики геохимической съемки является особенно острой проблемой.

В табл. 2 указаны различные методики геохимической съемки, предложенные и опробованные на Федорово-Панском массиве, а также объектах Мончегорского района. Большинство из указанных съемок выполнено в небольшом объеме в порядке опытно-методических работ, за исключением опробования придонной части морены, которое в последние годы систематически выполняется Центрально-Кольской экспедицией.

Технология геохимической съемки по пробам придонной морены, отобраным с помощью мотоперфораторов, разработана для условий Балтийского щита финскими специалистами и оказалась достаточно эффективна для прослеживания МСПМ. Так, по результатам работ в восточной части Панского массива, аномалии суммы ЭПГ, выявленные глубинной геохимией, в 60–65% случаев соответствовали зонам ЭПГ-минерализации, вскрытым бурением. Пример заверки геохимических аномалий на Восточно-Панском массиве показан на рис. 7.

Заслуживают внимания и другие геохимические методики, более дешевые и экспрессные. Первая группа таких методик основана на теории ореолов струйной миграции [21, 29]. Вариант такой съемки выполнялся в 1997–1998 гг. компанией VNP Minerals.

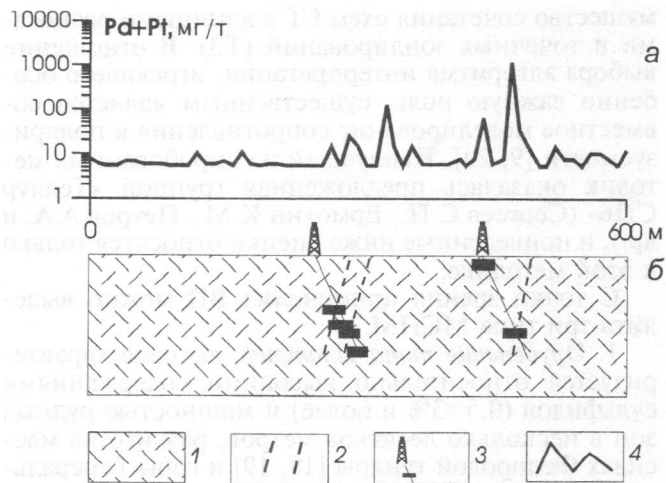


Рис. 7. Пример заверки бурением аномалий платины и палладия, полученных при опробовании придонной части морены: а — результаты опробования придонной морены на ЭПГ, б — геологический разрез; 1 — габбронориты, 2 — предполагаемые зоны сульфидной вкрапленности с учетом падения магматической расчлененности, 3 — скважины и пересеченные ими интервалы сульфидной вкрапленности с повышенными содержаниями ЭПГ, 4 — графики суммированных содержаний платины и палладия в придонной морене

Поиск форм, в которых элементы-индикаторы могут фиксироваться в приповерхностных условиях, привел к развитию методов диффузионного извлечения (МДИ), термогеохимического метода (ТМГМ), метода подвижных форм (МПФ) и других [1, 3, 4, 17]. Отдельного рассмотрения заслуживают биогеохимические методы [14–16], в том числе бактериально-геохимический метод А.В. Загоскина [10]. На участке Южный Пешемпахк (Западно-Панский массив) на опытном профиле установлено удовлетворительное совпадение данных глубинной геохимии, МДИ и бактериально-геохимического метода.

В заключение отметим, что, несмотря на сложность задачи, геофизические и геохимические методы при поисках платинометалльных месторождений востребованы, и опыт, накопленный при изучении объектов Кольской платинометалльной провинции, надеемся, позволит в будущем повысить эффективность применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Антропова Л.В. Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений. Л.: Недра, 1975. 57 с.
- Баянова Т.Б. и др. Каталог геохронологических данных по северо-восточной части Балтийского щита // Геология рудных районов Мурманской области. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. 53 с.
- Боголюбов А.Н., Ворошилов Н.А., Ворошилова Л.Н. Физико-химические основы термомангнитного геохимического метода и первый опыт его применения // Геохимические основы поисков и прогнозирования рудных месторождений. Новосибирск: Наука, 1978. С. 8–11.
- Ворошилов Н.А., Ворошилова Л.Н., Вешев С.А., Алексеев С.Г. Новый способ поисков месторождений полезных ископаемых на закрытых территориях // Российский геофизический журнал. 2002. № 29–30. С. 25–33.
- Додин Д.А., Чернышов Н.М., Полферов Д.В., Тарновецкий Л.Л. Платинометалльные месторождения мира. 1. Платинометалльные малосульфидные месторождения в ритмично расчлененных комплексах. М.: Геоинформмарк, 1994. 279 с.
- Дудкин К.О., Тюренов В.А. О происхождении остаточной намагниченности пород Панского расчлененного интрузива (Кольский полуостров) // Российский геофизический журнал. 1995. № 5–6. С. 83–87.
- Дудкин К.О. Уточнение положения северного контакта массива Федоровой тундры по данным метода вызванной поляризации // Золото, платина и алмазы республики Коми и сопредельных регионов. Матер. всерос. конф. Сыктывкар, 17–19 февр. Сыктывкар, 1998. С. 89–90.
- Дудкин К.О., Рундквист Т.В. Бурые плагиоклазы как источник магнитных аномалий Панского массива // Российский геофизический журнал. 2002. № 27–28. С. 25–34.
- Ермохин К.М. Решение трехмерных задач детальной электро- и магниторазведки на основе метода объемных дипольных источников. Дис. ... докт. техн. наук. СПб: СПГИ, 1998.
- Загоскин В.А. Новые научные технологии геохимических экспресс-поисков рудных и россыпных месторождений // Тез. всерос. конф. в честь 300-летия геологической службы России. СПб, 2000. С. 25–34.
- Комаров В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., 1980. 387 с.
- Кормильцев В.В. Переходные процессы при вызванной поляризации. М.: Наука, 1980. 108 с.



13. Латыпов Р.М., Чистякова С.Ю. Механизм дифференциации расслоенного интрузива Западно-Панских тундр. Апатиты: ГИ КНЦ РАН, 2000. 315 с.
14. Лобанова А.Б. Геохимические поиски глубокозалегающих месторождений по диффузионным ореолам восходящей миграции. Л.: Недра, 1991. 180 с.
15. Лобанова А.Б., Грачев О.В., Прокопчук И.В., Милай А.Т. Оценка перспектив рудоносности флангов и глубоких горизонтов золоторудных месторождений биогеохимической съемкой с использованием рентгенорадиометрического анализа // Российский геофизический журнал. 1994. № 3–4. С. 33–37.
16. Лобанова А.Б. Способы переноса вещества глубокозалегающих месторождений к поверхности земли // Российский геофизический журнал. 1995. № 5–6. С. 89–92.
17. Милков Г.В., Виноградов В.И., Алексеев С.Г., Духанин А.С. Возможности применения диффузионного извлечения подвижных форм элементов-индикаторов для поисков скрытого оруденения // Геохимические методы при прогнозировании и поисках рудных месторождений. Л. 1982. С. 84–91.
18. Митрофанов Ф.П., Балабонин Н.Л., Баянова Т.Б., Корчагин А.У., Латыпов Р.М., Осокина А.С., Субботин В.В., Карпов С.М., Нерадовский Ю.Н. Кольская платинометалльная провинция: новые данные // Платина России. 3. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. М.: Геоинформмарк, 1999. С. 43–52.
19. Митрофанов Ф.П., Корчагин А.У., Балабонин Н.Л., Гончаров Ю.В., Карпов С.М., Субботин В.В., Припачкин П.В. Основные результаты исследований платинометалльной рудоносности расслоенного ультрамафит-мафитового интрузива Федорово-Панских тундр. // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология. СПб: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 572–579.
20. Петров А.А., Федоров А.Н. Решение обратной задачи электроразведки методами постоянного тока и вызванной поляризации // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1988. № 11. С. 60–65.
21. Путиков О.Ф., Духанин А.С., Машьянов Н.Р. К обоснованию физико-математической модели «струйных» ореолов рассеяния // Российский геофизический журнал. 1994. № 2. С. 5–10.
22. Тюремнов В.А., Кацелин П.Л., Одинец А.Ю. Геологическое строение и петрофизические особенности основных пород Панского массива // Основной магматизм северо-восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1969. С. 114–131.
23. Тюремнов В.А., Кацелин П.Л. Палеомагнитные исследования пород Панского массива // Исследования строения и современных движений земной коры на Кольском геофизическом полигоне. М., 1972. С. 92–96.
24. Тюремнов В.А., Смолькин В.Ф., Мысов С.В. Особенности магнитного поля и магнитных свойств ультраосновных пород из зон хромитового оруденения массива Падос-тундра (Кольский полуостров) // Российский геофизический журнал. 2002. № 25–26. С. 65–67.
25. Федотов Ж.А., Федотова М.Г. Замутненные плагиоклазы в основных интрузивных породах Кольского полуострова // Минералогия и парагенезисы минералов горных пород и руд. Л.: Наука, 1979. С. 11–119.
26. Coggon H. A comparison of IP electrode arrays // Geophysics. 1973. V. 38, N 4. P. 737–760.
27. Czamanske G., Zientek M. The Stillwater Complex, Montana: geology and guide // Montana Bureau of Mines and Geology. 1992. Montana, 2002. 396 p.
28. Fugro airborne DIGHEM survey, Idaho Metals Consolidated press-release. Montana, 2003. 6 p.
29. Putikov O.F. Geoelectrochemistry and Stream Dispersion // Geoelectrochemical Remote Sensing of the Subsurface. Handbook of exploration Geochemistry. V.7. Elsevier Science. Amsterdam, 2000. P. 17–79.
30. Practical geophysics for exploration geologists / Editor R van Blaricom. Northwest Mining Association, 1992. 568 p.
31. Selkin P.A. et al. The effect of remanence anisotropy on paleointensity estimates: a case study from the Archean Stillwater Complex // Earth and Planet. Sci. Letters. 2000. N 183. P. 403–416.
32. Sobolev P. Orientation of acicular iron ore mineral inclusions in plagioclase // Int. Geol. Rev. 1990. N 32. P. 616–628.

Геологический институт Кольского  
научного центра РАН  
Рецензент — В.М. Бондаренко

Журнал «Известия вузов. Геология и разведка» публикует рекламные объявления. В качестве рекламодателей могут выступать предприятия, организации, фирмы, акционерные общества и отдельные граждане, рекламирующие печатные издания, различные изделия, разработки, технологии, имеющие отношение к геологии, разведке и горному делу.

Публикация рекламных объявлений платная. Стоимость рекламы устанавливается по договоренности. По желанию заказчика реклама может публиковаться несколько раз.

#### Контактные телефоны

Б.М. Ребрик 433-62-66 доб. 1149  
О.С. Брюховецкий 433-64-55 т/ф