

Метод частичного извлечения металлов с применением солнечных элементов питания

Method of the metals partial extraction using solar cells

Сенчина Н.П.

канд. геол.-минерол. наук, ассистент, кафедра Геофизических и геохимических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, Санкт-Петербургский горный университет, archie3@mail.ru

Senchina N.P.

Candidate of Geology and Mineralogy, Assistant, Department of geophysical and geochemical methods of prospecting and exploration of mineral deposits, Saint-Petersburg Mining University
e-mail: archie3@mail.ru

Болячкин Д.Л.

студент, кафедра Геофизических и геохимических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, Санкт-Петербургский горный университет
e-mail: denis_bolyachkin@mail.ru

Boljachkin D.L.

Student, Department of geophysical and geochemical methods of prospecting and exploration of mineral deposits, Saint-Petersburg Mining University,
e-mail: denis_bolyachkin@mail.ru

Мирошникова Д.Р.

студент, кафедра Геофизических и геохимических методов поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, Санкт-Петербургский горный университет
e-mail: 130874920@mail.ru

Miroshnikova D.R.

Student, Department of geophysical and geochemical methods of prospecting and exploration of mineral deposits, Saint-Petersburg Mining University
e-mail: 130874920@mail.ru

Аннотация

В настоящей работе представлена новая методика поиска глубокозалегающих рудных месторождений на основе модификации метода частичного извлечения металлов. Авторами разработан функционирующий макет аппаратуры метода ЧИМ (частичного извлечения металлов), с использованием возобновляемого ресурса – солнечной энергии – в качестве источника электрического тока. Произведена оценка эффективности предлагаемой методики для извлечения из закрепленной (минеральной) формы химических элементов – индикаторов оруденения – экспериментальным путем в лабораторных условиях, показавшая возможность использования предлагаемой модификации при современном уровне развития химико-аналитических технологий. Применение солнечных элементов питания дает методике экологические и технологические преимущества по сравнению с классической реализацией ЧИМ. Методика представляется эффективным способом поиска глубокозалегающих месторождений в связи с установленным фактом наличия струйных ореолов рассеяния подвижных форм

нахождения элементов. Подвижные формы элементов вовлекаются в движение под действием электрического тока в окрестности станции ЧИМ и накапливаются в элементоприемнике, таким образом, достигается селективность анализа подвижной, мигрирующей формы элементов.

Ключевые слова: геоэлектрохимия, геофизика, индикаторы оруденения, частичное извлечение металлов, подвижные формы, эффективность, месторождение, руда, поиск руды, солечные элементы питания.

Abstract

The article presents a new technique for finding deep-lying ore deposits based on a modification of the method of partial extraction of metals. The authors have developed a functioning model for the partial extraction of metals method, using a renewable resource - solar energy - as a source of electrical current. An assessment of the effectiveness of the proposed method for extracting chemical elements (mineralization indicators) from the fixed (mineral) form was made experimentally in laboratory conditions, which showed the possibility of using the proposed modification at the current level of development of chemical analytical technologies. The use of solar cells gives the method environmental and technological advantages over the classical implementation of the partial extraction of metals. The technique seems to be an effective way to search for deep-seated deposits in connection with the established fact of the presence of jet ink halos of dispersion of mobile forms of finding elements. Movable forms of elements are involved in the movement under the action of electric current in the vicinity of the partial extraction of metals station and accumulate in the elemental cell, thus achieving the selectivity of the analysis of the moving, migrating form of elements.

Keywords: geoelectrochemistry, geophysics, mineralization indicators, partial metal recovery, moving forms, efficiency, field, ore, ore search, solar cells.

Метод частичного извлечения металлов (ЧИМ) – один из методов геоэлектрохимии, позволяющий регистрировать отклик в виде повышенных концентраций подвижных форм химических элементов нахождения от глубинных рудных тел. Идея метода была предложена в 1932 г. Н.И. Сафроновым для разбраковки геофизических аномалий и предполагала растворение рудных образований под действием электрического тока, с последующим перемещением растворенных заряженных частиц в поле электрического тока и накоплении в точках наблюдения.

В ореольном варианте ЧИМ производится оценка содержания подвижных форм нахождения элементов-индикаторов руд вблизи элементоприемника. Последний представляет собой сосуд с помещенным в него электродом, к которому присоединяют источник постоянного тока, другой электрод заземляется на некотором расстоянии. Сам сосуд должен быть заполнен раствором, обычно это бидистиллят с очищенной азотной кислотой. В сосуде имеется полупроницаемая перегородка, обеспечивающая проникновение ионов из вмещающей среды и препятствующая вытеканию раствора.

Элементоприемник может быть разных размеров, в зависимости от параметров пропускаемого тока. Накапливающиеся в сосуде компоненты могут быть обнаружены методами химического анализа в растворе, в виде осадка на дне элементоприемника или на поверхности электрода.

Повышение концентрации искоемых химических элементов в содержимом элементоприемника в некотором пункте исследования (по отношению к соседним точкам) свидетельствует о наличии источника подвижных форм элементов, в том числе, глубинном; и о перспективности данного пункта для дальнейших исследований. Примеры результатов ЧИМ представлены в печати [2, 5, 6].

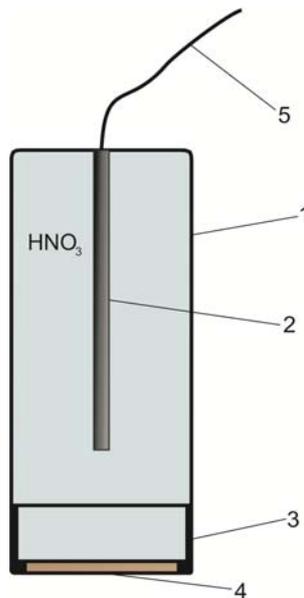


Рис. 1. Схема устройства элементоприемника. 1 – корпус элементоприемника; 2 – электрод; 3 – съемная крышка; 4 – мембрана; 5 – провод

На рис. 2 рассмотрен пример, показывающий эффективность методики в условиях сложного геологического строения разреза, ограничивающего возможности применения литохимии. Рубцовское колчеданно-полиметаллическое месторождение (Рудный Алтай) перекрыто мощным (70–100 м) слоем осадочных отложений. Геологический разрез представлен лавами, туфолавами риолитовых порфиров и вышележащими кремнистыми, глинистыми вулканомиктовыми алевролитами. Рудовмещающие палеозойские образования, включая кору выветривания, перекрыты чехлом песчано-глинистых неоген-четвертичных отложений мощностью 80–100 м. Основные запасы представлены богатыми сульфидными полиметаллическими (Cu, Pb, Zn) и колчеданно-полиметаллическими рудами (на рис. показаны черным цветом). Как видно, головная часть рудного тела отмечается повышенными концентрациями свинца и меди в пробах ЧИМ.

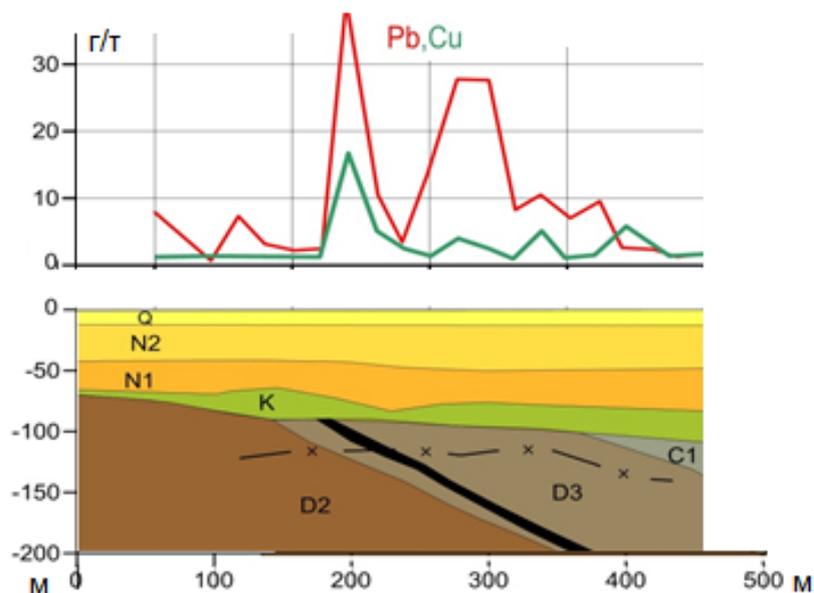


Рис. 2. Результаты методики ЧИМ над перекрытым Рубцовским колчеданно-полиметаллическим месторождением (Рудный Алтай) и схематический геологический разрез. Пояснения к разрезу см. в тексте ниже (с использованием материалов А.С. Духанина, С.Г. Алексева, 1985–1989 гг.)



Рис. 3. Станция ЧИМ на базе автомобиля (с передвижной полевой лабораторией, слева), и коммутационный блок станции (справа) во время опытно-методических работ в Канаде (1991 г.)

Несмотря на подтвержденную эффективность методики, неширокое распространение классической реализации ЧИМ связано с наличием технических, экономических, экологических трудностей. Наиболее широкое распространение получила станция ЧИМ-10, выпускаемая Туймазинским заводом геофизического приборостроения. Станция включала в комплект генератор электрического тока мощностью 10 кВт, регулируемые преобразователи переменного тока в постоянный (всего 28 каналов, в каждом канале ток регулировался от 25 до 1000 мА при напряжении до 400 В), комплект соединительных кос и элементоприемники, передвижную химико-аналитическую лабораторию [1]. Источником тока служил бензоэлектрический агрегат мощностью 2 кВт. Работа станции сопряжена с существенными затратами на пропускание электрического тока через заземленные элементоприемники.

С высоким порогом чувствительности методов химико-аналитических исследований была связана необходимость применения электрического тока большой силы (до 1 А при уровне опасного для жизни около 0.1 А). Поэтому вдоль кос расставлялись предупредительные щиты с надписями: «Осторожно! Высокое напряжение. Опасно для жизни!» и были случаи поражения людей электрическим током. Ощутимо негативное воздействие электрического тока и на подземную фауну. Применение протяженных линий проводов и хорошо заметных станций заинтересовывало местное население районов исследований; известны печальные инциденты порчи станций, в то время, когда счет их шел на единицы. В результате громоздкость аппаратных комплексов, высокая стоимость работ, связанная с затратами на электроэнергию, наличие негативных экологических воздействий, риск поражения электрическим током и др. стали дополняющими факторами в процессе отторжения метода ЧИМ в условиях тяжелого экономического положения геологоразведки в 90-е годы XX в. Методы поисков по подвижным, вторично-закрепленным, ионным формам нахождения химических элементов распространились в этот период за рубежом [6, 7] в результате международных опытно-методических работ.

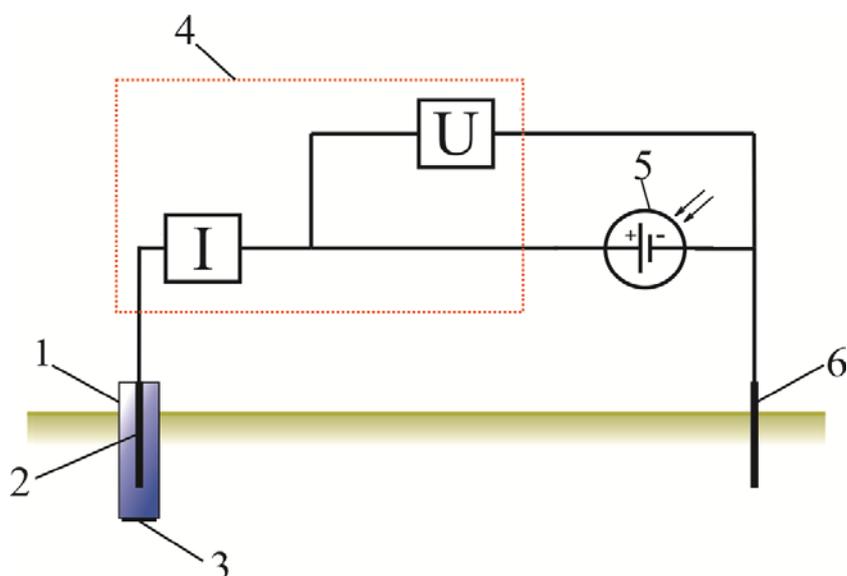


Рис. 4. Функциональная схема прибора.

1 – элементоприемник (катод); 2 – твердый электрод; 3 – пористая мембрана;
4 – микроконтроллер Arduino; 5 – солнечная батарея; 6 – электрод (анод)

Возможность успешного применения метода ЧИМ с использованием солнечных батарей можно доказать при помощи ряда расчетов. Согласно первому закону электролиза Фарадея, масса вещества, осаждённого на электроде при электролизе, прямо пропорциональна количеству электричества, переданного на этот электрод. Количество электричества (m) – это произведение силы тока (I) на время протекания тока (t).

$$m = I \cdot t \quad (1).$$

Для успешного функционирования предложенного метода (индекс 2) необходимо обеспечить одинаковое количество извлеченного вещества с классическим способом (индекс 1).

$$I_1 \cdot t_1 = I_2 \cdot t_2 \quad (2).$$

Классическая модификация метода подразумевает применение тока, протекающего через элементоприемник, силой 0,1 – 0,5 А и времени извлечения 5–20 часов. Приняв длительность извлечения в предлагаемом способе за неделю (168 часов), получим следующее значение тока:

$$I_2 = \frac{I_1 \cdot t_1}{t_2} = \frac{0,1A \cdot 20ч}{168ч} = 0,012A \quad (3).$$

Рассчитаем напряжение (U) и мощность (W) солнечной батареи с учетом КПД 50%.

$$U = I \cdot R = 0,012A \cdot 3000\Omega = 36B \quad (4).$$

где R – среднее сопротивление на контакте электрод-грунт.

$$W = \frac{I \cdot U}{\eta} = \frac{0,012A \cdot 36B}{0,5} = 0,864Bm \quad (5).$$

Следовательно, реальные солнечные батареи, имеющие мощность 1,5 Вт и выдающие ток 0,15–0,2 А, даже с учетом КПД 50% могут успешно применяться для данного метода при длительности измерений около 1 недели на точке. Усовершенствование методов химико-аналитических исследований позволяет сократить этот срок до одного дня при условии солнечной погоды.

Сконструированный комплект аппаратуры был протестирован в лабораторных условиях в течение пяти дней. Электрод и элементоприемник были помещены в пластиковый бак с подкисленной водой, а солнечные панели приклеены к стеклу окна лаборатории. Аналогичные измерения были проведены при помещении в раствор образца руды, а также в полевых условиях.



Рис. 5. Общий вид установки при тестировании в лабораторных и полевых условиях.

В результате тестовых измерений были построены графики изменения температуры, силы тока в цепи, напряжения, прошедшего через систему заряда. На совмещенном графике (рис. б) видна корреляция между некоторыми параметрами.

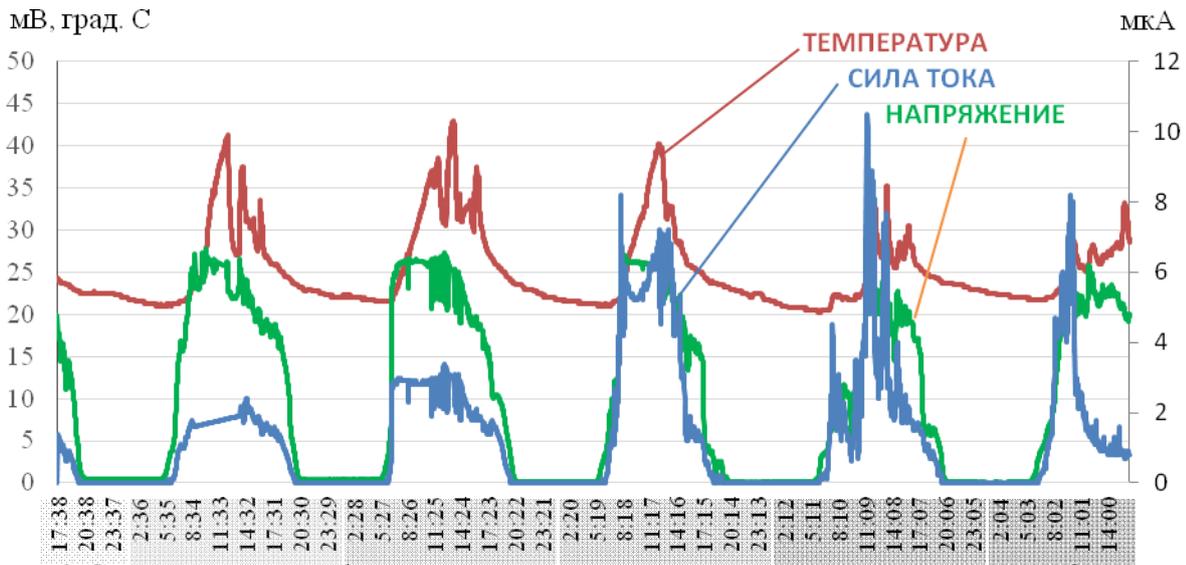


Рис. 6. Совмещенный график зависимости параметров установки от времени. Оттенки серого на шкале времени разграничивают дни проведения эксперимента



Рис. 7. График зависимости заряда, прошедшего через элементоприемник за время проведения эксперимента (с накоплением). Оттенки серого на шкале времени разграничивают дни проведения эксперимента

Концентрация химических элементов в элементоприёмнике напрямую зависит от величины прошедшего через систему электрического заряда, в связи с чем график вынесен отдельно. По результатам анализа пробы, отобранной на третий день эксперимента, проводимого с образцом руды Буруктальского месторождения никеля (табл. 1), видно, что концентрации элементов в элементоприёмнике значительно превышают предел обнаружения.

Таблица 1

Концентрации химических элементов в элементоприёмнике по прошествии трех дней эксперимента

Химический элемент	Cr	Fe	Zn	Co	Mn	Cu	Mg	Al	Ni	Cd	Pb
Единица измерения	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т
Предел обнаружения	0.001	0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.01	0.001	0.001
Концентрация	6.050	541.52	72.700	8.350	58.836	29.470	374.663	288.453	66.31	0.508	4.66

* Анализ выполнен в лаборатории ООО «Полевая геофизика»

Таблица 2

Доля извлеченных в элементоприемник химических элементов от исходного содержания в образце руды по прошествии трех дней эксперимента

Химический элемент	Cr	Fe	Ni	Co
Доля извлеченных элементов, %	15.1	16.9	59.2	94.8

Рассматривая массу извлеченных в элементоприемник химических элементов по отношению к массе их в исходном образце руды, можно заметить повышение значений по закономерности хром – железо – никель – кобальт. Полученный результат согласуется с результатами извлечения элементов в раствор кислоты из аналогичной пробы [4] и подтверждает высокую эффективность извлечения для рудных элементов и индикаторов никелевого оруденения. Таким образом, возможно дальнейшее развитие и усовершенствование предлагаемой модификации метода ЧИМ.

Литература

1. *Алексеев С.Г., С.А. Вешев, Н.А. Ворошилов, О.Ф. Путиков, А.П. Савицкий, Штокаленко М.Б.* Технология работ и интерпретации данных геоэлектрохимических методов на рудных объектах (методические рекомендации) / ФГУ НПП «Геологоразведка», Санкт-Петербург, 2005 г. (фондовая литература).
2. *Ворошилов Н.А., Алексеев С.Г., Штокаленко М.Б.* Опыт применения геоэлектрохимических методов при поисках рудных месторождений / Разведка и охрана недр. – 2018. – №3. – С. 30–36.
3. *Комаров В.А.* Геоэлектрохимия: Учеб. пособие/ СПб. Санкт-Петербург. гос. ун-т. – 1994. – 136 с.
4. *Сенчина Н.П., Путиков О.Ф., Миллер А.А., Алексеев С.Г.* Роль геоэлектрохимических процессов при формировании залежей платиноидов на месторождениях силикатного никеля / X Международный геофизический научно-практический семинар «Применение современ-

ных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых». – 2012. – С. 29–32.

5. *Столлов Б.Л., Самченко А.Н.* Анализ эффективности метода частичного извлечения металлов (ЧИМ) при поисках месторождений золота. Вологдинские чтения. – 2007. – С. 49–56.

6. *Alekseev S.G., N.P Senchina, S.Y. Shatkevich* «Goelectrochemical Methods: Response to Criticism and Discussion of CHIM and MDI Methods Characteristics» //7-th International geological and geophysical conference and exhibition «Saint Petersburg 2016». <http://earthdoc.eage.org/publication/publicationdetails/?publication=84256>

7. *Hoover D.B., Smith David B. and Leinz Reinhard W.* CHIM - an electrogeochemical partial extraction method: an historical overview // USGS, – 1997. - 27 p.