

УДК 550.4:550.84

DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-9-14-21

МЕТОДИКА СЕЛЕКТИВНОГО РАСТВОРЕНИЯ, АДАПТИРОВАННАЯ К ДОННЫМ ОТЛОЖЕНИЯМ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ КАРБОНАТОВ

SEQUENTIAL EXTRACTION METHOD, ADAPTED TO MODERN CARBONATE SEDIMENTS



Ю. С. Восель,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева
СО РАН,
г. Новосибирск
vosel@igm.nsc.ru

И. В. Макарова,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева
СО РАН,
г. Новосибирск
makarova@igm.nsc.ru

С. В. Восель,
Институт
химической
кинетики и горения
им. В. В. Вoeводского,
Новосибирский
государственный
университет,
г. Новосибирск
vosel@kinetics.nsc.ru

В. Д. Страховенко,
Институт геологии и
минералогии
им. В. С. Соболева
СО РАН, г. Новосибирск,
Новосибирский
государственный
университет,
г. Новосибирск
strahova@igm.nsc.ru

Yu. Vosel,
*Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
of the Siberian Branch of
the RAS, Novosibirsk*

I. Makarova,
*Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
of the Siberian Branch of
the RAS, Novosibirsk*

S. Vosel,
*Voevodsky Institute
of Chemical Kinetics
and Combustion of
Siberian Branch of the
RAS, Novosibirsk State
University, Novosibirsk*

V. Strakhovenko,
*Sobolev Institute of
Geology and Mineralogy
of the Siberian Branch
of the RAS, Novosibirsk
State University,
Novosibirsk*

Отмечено, что определение форм нахождения элементов в горных породах — одна из актуальных задач современной геохимии. Статья посвящена адаптации методики селективного растворения вещества для применения к исследованию современных карбонатных донных отложений озер. Показано, что классические методики селективного растворения не применимы к осадкам с большим количеством карбонатного вещества. На образце озерного осадка, с содержанием кальцита по результатам РФА около 70 %, проведены эксперименты по выщелачиванию с разной концентрацией и количеством соответствующего реагента для карбонатной стадии: на 1 г образца использованы четыре раствора ацетата аммония $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с разной молярностью: 10 мл 6 М; 10 мл 8 М; 20 мл 5 М; 100 мл 1 М раствора. Эксперименты показали, что наиболее приемлемыми условиями растворения карбонатного вещества донного осадка является пропорция 1 г / 100 мл 1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. Данная пропорция не только приводит к полному растворению CaCO_3 , но и позволяет оставить нерастворившимися оксиды и гидроксиды железа. Оксиды и гидроксиды Mn отделить от карбонатного вещества осадка не удалось. Контроль за растворением карбонатов и оксигидроксидов Fe и Mn осуществлялся путем измерения методом атомной абсорбции концентраций Ca и Sr, как основных элементов карбонатов, и Mn, и Fe, как основных элементов оксидов и гидроксидов в растворах после эксперимента.

Ключевые слова: карбонатные фазы осадков; оксигидроксиды Fe и Mn; селективное растворение; озерные осадки; формы нахождения элементов; адаптация методики селективного растворения; Ca; Fe; Mn; Sr

One of the main subjects of geochemistry is the study of different chemical elements' speciation forms. This work is devoted to adapting of the sequential extraction method for studying of elements' speciation forms in modern carbonate bottom sediments. It turned out that the classical methods of sequential extraction are not applicable for the sediments with a big amount of carbonate substance. For a sample of lake sediment with calcite content of about 70 % (based on the RFA results), experiments were conducted with different concentrations and reagent amounts at the carbonate stage of sequential extraction. To conduct experiments, one-gram samples and four types of $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ solutions of different volume and concentration: 10 ml of 6 M; 10 ml 8 M; 20 ml 5 M; 100 ml 1 M were taken. Experiments have shown that the most suitable conditions for dissolving the carbonate matter of the bottom sediment at the carbonate stage of sequential extraction is the following proportion: 1 gram of substance per 100 ml of a 1 M solution of $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. This proportion not only leads to the complete dissolution of CaCO_3 , but also left undissolved the Fe oxides and hydroxides. It was found that it is very difficult to separate oxides and hydroxides of Mn from the carbonate material of the sample. Monitoring of the carbonates and Fe/Mn oxides and hydroxides dissolution was carried out by measuring the concentrations of Ca, Sr, Mn, Fe in the obtained solutions by atomic absorption method. Ca and Sr were taken as the main elements of carbonates, and Mn and Fe, as the main elements of oxides and hydroxides.

Key words: carbonate sediments; Fe and Mn oxyhydroxides; sequential extraction; lake sediments; speciation forms of elements; adaptation of the sequential extraction method; Ca; Fe; Mn; Sr

Введение. Определение форм нахождения элементов в горных породах является одним из главных вопросов современной геохимии, потому что это позволяет решать широкий спектр задач, связанных с миграцией, накоплением элементов и степенью их биодоступности [2]. Это делает весьма важным разработку и адаптацию всевозможных методик для определения форм нахождения элементов и количества этих форм. Существует большое количество подходов для определения форм элементов в донных отложениях и почвах. Например, подход поэтапного селективного растворения позволяет избирательно выделять основные фазы: карбонатную, оксидно-гидроксидную, органическую, твердого остатка (терригенный материал). Различные элементы, связанные с той или иной фазой осадка, переходят в раствор именно на стадии растворения этой фазы, после чего в полученных растворах измеряются их концентрации. Главный принцип селективного растворения заключается в том, что каждый последующий выплачивающий реагент должен быть либо сильнее предыдущего по хемическому воздействию, либо иметь другую природу. Есть большое количество методик селективного растворения [4; 8]. В данной статье рассмотрена схема [6], разработанная на основе методики Тесье [10]. Эта методика выбрана потому,

что были проведены удачные эксперименты [5] по ее сопоставлению с методикой BCR, по которой проведена аттестация стандартных образцов [7; 9].

Схемы селективного растворения, в том числе и выбранная нами, разработаны для исследования образцов с низким содержанием карбонатов, таких как почвы и речные отложения. Однако зачастую в современных осадках (как озерных, так и океанических) содержится достаточно большое количество карбонатов [1]. Соответственно, необходимо увеличить количество или концентрацию реагентов для растворения карбонатов, однако таким образом, чтобы не затронуть оксиды и гидроксиды железа, которые должны выходить только на следующей стадии селективного растворения. Частичное растворение оксидов и гидроксидов железа, и особенно марганца на карбонатной стадии — это достаточно часто встречающаяся проблема подобных методик [4]. Цель данной работы — адаптировать методику селективного растворения для осадков с высоким содержанием карбонатов (до 90 массовых процентов).

Методология и методика исследования. Пробный образец осадка взят из оз. Цаган-Тырм с карбонатным типом осадконакопления [3], расположенного в Приольхонье (Байкальский регион). Рент-

генофазовый анализ показал, что в образце преобладает высокомагнезиальный кальцит, около 70 % от массы образца (рис. 1). Остальные 30 % массы образца представ-

лены терригенными минералами, такими как кварц, плаутилаз, калиевый полевой шпат, биотит, иллит.

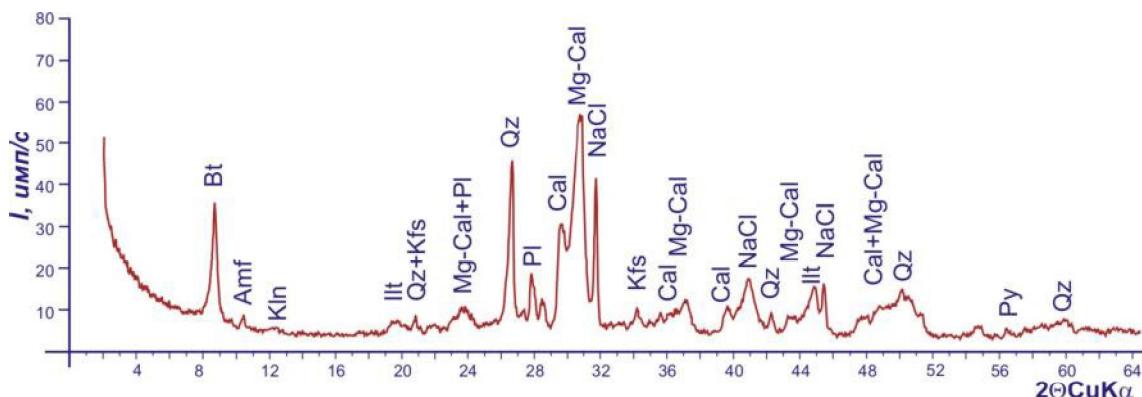


Рис. 1. Рентгенограмма образца осадка оз. Цаган-Тырм, выбранного для эксперимента: Mg-Cal – магнезиальный кальцит; Cal – кальцит; Qz – кварц; Pl – плаутилаз; Kfs – калиевый полевой шпат; Bt – биотит; Amf – амфибол; Kln – каолинит; Ilt – иллит; Py – пирит / Fig. 1. X-ray diffractogram of the Lake Tsagan-Tyrm experimental sediment sample: Mg-Cal – magnesia calcite; Cal – calcite; Qz – quartz; Pl – plagioclase; Kfs – potassium feldspar; Bt – biotite; Amf – amphibole; Kln – kaolinite; Ilt – illite; Py – pyrite

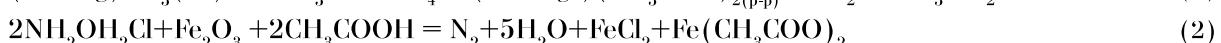
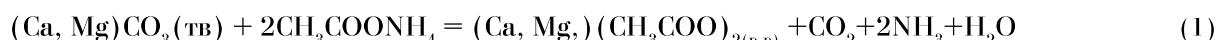
Сначала проведен эксперимент по селективному растворению пробного образца с использованием стандартной методики [6]. Эксперимент проводился при стандарт-

ных атмосферных условиях. Брались навеска 1 г вещества и на каждой стадии 10 мл реагента, согласно методике. Реагенты и температуры реакций приведены в таблице.

Исходная схема селективного растворения [6] / Original method of the sequential extraction [6]

Фракции / Fractions	Реагенты + условия Reagents+conditions	Разрушающая фракция Destructive fraction
Стадия I / Step I	1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (24 ч / 24 h), 25 °C	Ионообменные формы / Exchangeable ions
Стадия II / Step II	1 M $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, HNO_3 до pH 5 (10 ч / 10 h), 25 °C	Карбонатные формы / Carbonates
Стадия III / Step III	0,1 M $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ в 25 % CH_3COOH (3 ч / 3h), 25 °C	Оксигидроксиды Fe и Mn / Oxides and hydroxides of Fe and Mn
Стадия IV / Step IV	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HNO}_3$ до pH 1,5, 85 °C	Органические вещества / Organic matter
Твердый остаток / Residual	-	Терригенные минералы / Terrigenous minerals

Исходя из схемы селективного растворения, представленной в таблице, при выпечливании должны осуществляться следующие реакции:



($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ – условное органическое вещество).

После селективного растворения образца в растворах измерялись Ca, Sr, Mn и Fe. Принято, что Ca и Sr будут использоваться как маркеры растворения карбонатов, а Mn и Fe – как маркеры растворения их оксигидроксидов. Mn также частично входит в состав кальцитов, однако для упрощения модели в данной работе сделано допущение, что Mn, входящего в собственную фазу оксидов и гидроксидов, должно быть значительно больше, чем Mn в карбонатах.

Концентрации в растворе Ca, Sr, Mn и Fe измерялись методом атомной абсорбции (спектрофотометр SOLAAR серии M 6, Thermo Electron), аналитик – ведущий инженер ИГМ СО РАН Л. Д. Иванова. Относительная погрешность метода измерений составляет 5...10 %.

Полностью все стадии селективного растворения сделаны только в первом эксперименте по исходной методике селективного растворения. Далее в последующих экспериментах для упрощения работы решено делать только две стадии выщелачивания (II – карбонатную и III – оксидов и гидроксидов).

Эти эксперименты проведены с изменением условий реакции на второй (карбо-

натной) стадии селективного растворения. Сначала сделан эксперимент с использованием рассчитанного по стехиометрии реакции (1) количества реагента на второй стадии. Затем проведен ряд экспериментов с подбором оптимальных концентраций и объемов раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ на второй (карбонатной) стадии селективного растворения.

Результаты исследования и область их применения. Результаты пробного эксперимента по стандартной методике приведены на рис. 2. Результаты этого эксперимента показали, что до 65 % Ca и Sr переходит в раствор не на второй (карбонатной) стадии, а на третьей – стадии оксидов и гидроксидов, где этих элементов быть не должно, т. е. на второй стадии растворяется не все карбонатное вещество, а только его небольшая часть (рис. 2). Это происходит в результате нехватки реагента для растворения всего карбонатного вещества на второй стадии. По данным РФА, в исследуемом образце содержание карбоната около 70 %, но в используемой методике количество вещества и реагента на стадиях выщелачивания берется в отношении 1 : 10 (1 г пробы на 10 мл раствора).

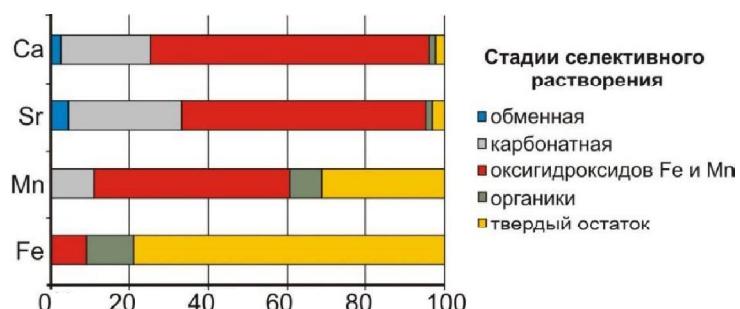


Рис. 2. Результаты выполненного по стандартной методике выщелачивания образца карбонатного осадка оз. Цаган-Тырм / Fig. 2. The results after the sequential extraction of Lake Tsagan-Tyrm carbonate sediment simple, carried out according to the original method

По стехиометрии реакции (1) легко рассчитать, что для растворения образца с содержанием карбоната около 100 % необходимо брать соотношение вещество/реагент 1 : 20 (1 г осадка / 20 мл 1 М раствора). Однако последующий эксперимент, в

котором проводилось только две стадии выщелачивания – II карбонатов и III оксидов и гидроксидов, показал, что соотношения 1 : 20 по-прежнему совершенно недостаточно для полного растворения карбонатного вещества образца на стадии II (рис. 3).

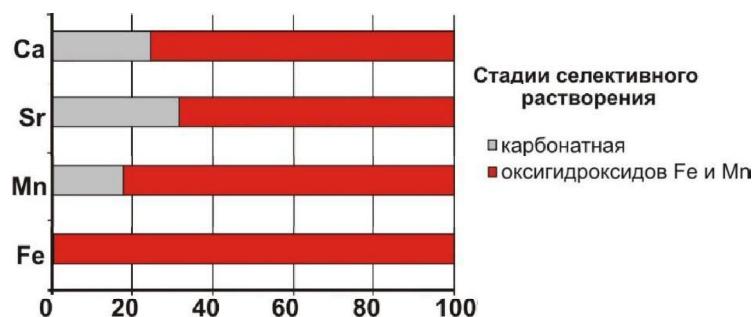


Рис. 3. Результаты эксперимента по выщелачиванию карбонатной и оксигидроксидной составляющей осадка с расчетным количеством реагента на второй стадии. Соотношение вещество/реагент 1 : 20 (на 1 г осадка 20 мл 1 М раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) / Fig. 3. The results of the experiment on the leaching of carbonate and oxide-hydroxide phases of the sediment with the calculated amount of reagent on step II. Substance / Reagent Ratio – 1 : 20 (per 1 g of the sample 20 ml 1 M solution of $\text{CH}_3\text{COONH}_4$)

Итак, поскольку эксперимент с рассчитанным для второй стадии количеством ацетата аммония не дал положительных результатов, то далее проводился подбор нужных концентраций этого реагента экспериментальным путем.

Для экспериментов взяты навески по 1 г используемого образца и растворы $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ различной концентрации для проведения II стадии выщелачивания:

1) 10 мл – 6 М; 2) 10 мл – 8 М; 3) 20 мл – 5 М; 4) 100 мл – 1 М. Растворы 3 и 4 имеют в 10 раз больше реагента, чем в оригинальной методике, однако из-за разной молярности раствора берется его разное количество. Как и в предыдущем эксперименте, проводились только две стадии выщелачивания II и III и измерялись Ca, Sr, Mn и Fe (рис. 4).

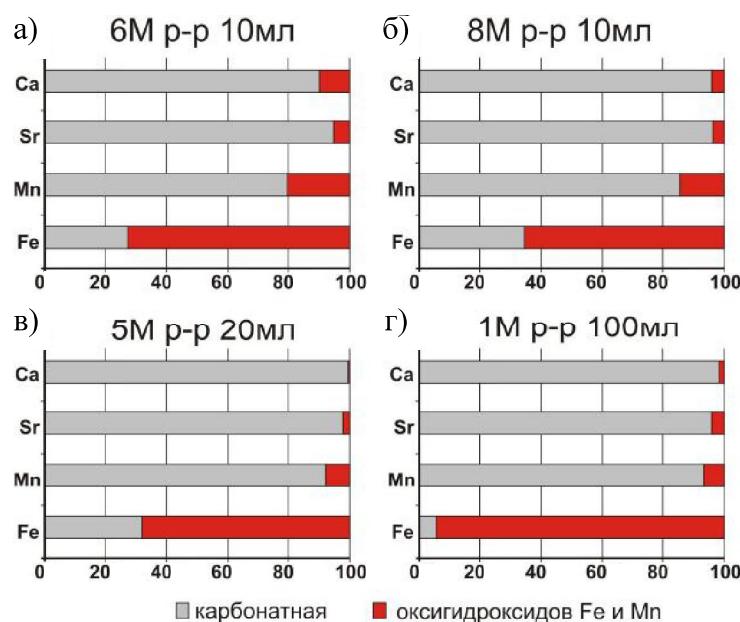


Рис. 4. Результаты экспериментов по выщелачиванию карбонатной и оксидно-гидроксидной составляющей осадка с подбором количества реагента на второй стадии / Fig. 4. The results of experiments on the leaching of carbonate and oxide-hydroxide components of the sediment with the selected amount of reagent on step II

В случае 6 М раствора реагента на карбонатной стадии селективного растворения в раствор переходит 91 % Ca карбонатов, однако заметная часть (9 %) CaCO_3 остается в образце и выходит на третьей (оксидно-гидроксидной стадии растворения) (рис. 4а). Даже в случае 8 М раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ растворяется только 96 % Ca, что говорит о неполном разложении карбонатов на второй стадии. В то же время при сильном повышении молярности раствора на второй стадии выщелачивания частично начинают переходить в раствор оксиды и гидроксиды Fe (количество Fe, растворенного на карбонатной стадии, 27 и 33 %) (рис. 4б). Поскольку одной из причин неполного растворения карбонатов может быть торможение этого процесса накопившимися продуктами реакции вплоть до полной его остановки, далее проведен эксперимент с увеличением количества раствора до 20 мл. При этом даже при снижении концентрации раствора до 5 М действительно удалось достичь 100 % перехода в раствор Ca и, соответственно, полного разложения карбонатов в образце. Однако при этих условиях количество растворившихся на второй стадии оксигидроксидов железа практически не уменьшилось (рис. 4в). Поэтому проведен еще один эксперимент с уменьшением до исходной молярностью раствора (1 М; табл. 1), но с увеличением его объема до 100 мл, т. е. фактически с его пятикратным разбавлением.

Эксперимент (рис. 4г) показал, что это самый оптимальный вариант для растворения карбонатов в осадке. При таких условиях на второй стадии переходит в раствор до 98 % Ca, т. е. растворяются все карбонаты. В то же время при сильном уменьшении концентрации раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ до 1 М основное количество оксигидроксидов Fe остается нерастворенным (в частности, несмотря на неизбежное уменьшение при таком разбавлении концентрации продуктов их растворения, тормозящих этот про-

цесс). В результате железо почти в полном объеме переходит в раствор на третьей стадии селективного растворения — на стадии оксидов и гидроксидов.

Во всех случаях Mn в доминирующих количествах переходит в раствор на карбонатной стадии, т. е. на этой стадии помимо марганца, входящего в карбонаты, растворяются и оксиды, и гидроксиды Mn. Даже в случае 1 М раствора оксиды и гидроксиды Mn почти полностью переходят в раствор. Проблема с высокой реакционной способностью Mn на стадии растворения карбонатов отмечается в литературе [4]. Решение данной проблемы до сих пор не найдено. Это послужит темой для дальнейших исследований.

Выводы. Таким образом, эксперимент показал, что при повышенном содержании карбонатного вещества в осадке стандартная методика не позволяет добиться полного его растворения на карбонатной стадии. Для полного растворения карбонатов необходимо в несколько раз увеличивать молярность выщелачивающего раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ или объем 1 М раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, используемого в оригинальной методике. Однако увеличение молярности приводит к заметному (до 30 %) растворению оксигидроксидов железа, что не желательно. Подобраны оптимальные условия карбонатной стадии: на 1 г карбонатного осадка 100 мл 1 М раствора $\text{CH}_3\text{COONH}_4$. При таких условиях удалось добиться практически полного (98 %) растворения карбоната и стабильности оксидов и гидроксидов Fe.

Полученные данные будут полезны исследователям при изучении геохимии современного карбонатного осадконакопления. Адаптированная методика способствует более успешному отделению основных фаз карбонатного осадка друг от друга, что позволит более четко судить о формах нахождения широкого спектра химических элементов в карбонатных отложениях.

Список литературы

1. Леонова Г. А., Мальцев А. Е., Меленевский В. Н., Мирошниченко Л. В., Кондратьева Л. М., Бобров В. А. Геохимия диагенеза органогенных осадков на примере малых озер юга Западной Сибири и Прибайкалья // Геохимия. 2018. № 4. С. 363–382.
2. Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Сомов В. В., Митрофанова Е. С., Кукушкин С. Ю. Влияние разработки Сибайского месторождения (Южный Урал) на трансформацию потока металлов в подчиненных ландшафтах // Вестник Московского университета. 2018. № 1. С. 14–24.
3. Скляров Е. В., Солотчина Э. П., Вологина Е. Г., Игнатова Н. В., Изох О. П., Кулагина Н. В., Склярова О. А., Солотчин П. А., Столповская В. Н., Ухова Н. Н., Федоровский В. С., Хлыстов О. М. Детальная летопись климата голоцен из карбонатного разреза соленого озера Цаган-Тырм (Западное Прибайкалье) // Геология и геофизика. 2010. № 3. С. 303–328.
4. Федоров П. С., Спиваков Б. Я. Статические и динамические методы фракционирования форм элементов в почвах, илах и донных отложениях // Успехи химии. 2008. № 7. С. 690–703.
5. Bondareva L. The relationship of mineral and geochemical composition to artificial radionuclide partitioning in Yenisei river sediments downstream from Krasnoyarsk // Environmental Monitoring and Assessment. 2012. No. 186. P. 3831–3847.
6. Giancoli Barreto S. R., Nozaki J., De Oliveira E., Do Nascimento Filho V. F., Aragao P. A., Scarminio I., Barreto W. J. Comparison of metal analysis in sediments using EDXRF and ICP-OES with the HCl and Tessie extraction methods // Talanta. 2004. No. 64. P. 345–354.
7. Kartal S., Aydin Z., Tokalioglu S. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data // Journal of Hazardous Materials. 2006. No. 132. P. 80–89.
8. McLean J. E., Bledsoe B. E. Ground water issue: behavior of metals in soils // EPA. 1992. P. 1–25.
9. Rauret G., Lypez-Sanchez J., Sauquillo Rubio R., Davidson C., Ure A., Quevauviller Ph. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to certification of new soil and sediment reference materials // Journal of Environmental Monitoring. 1999. No. 1. P. 57–60.
10. Tessier A., Canbell P. G. C., Bission M. Sequential extraction procedure after the speciation of particulate trace metals // Analytical Chemistry. 1979. No. 51. P. 884–851.

References

1. Leonova G. A., Maltsev A. E., Melenevsky V. N., Miroshnichenko L. V., Kondratieva L. M., Bobrov V. A. *Geohimiya* (Geochemistry), 2018, no. 4, pp. 363–382.
2. Opekunov A. Yu., Opekunova M. G., Somov V. V., Mitrofanova E. S., Kukushkin S. Yu. *Vestnik Moskovskogo universiteta* (Bulletin of Moscow University), 2018, vol. 5, no. 1, pp. 14–24.
3. Sklyarov E. V., Solotchina E. P., Vologina E. G., Ignatova N. V., Izokh O. P., Kulagina N. V., Sklyarova O. A., Solotchin P. A., Stolpovskaya V. N., Ukhova N. N., Fedorovskiy V. S., Khlystov O. M. *Geologiya i geofizika* (Geology and Geophysics), 2010, no. 3, pp. 303–328.
4. Fedorov P. S., Spivakov B. Ya. *Uspekhi himii* (Advances in chemistry), 2008, no 7, pp. 690–703.
5. Bondareva L. *Environmental Monitoring and Assessment* (Environmental Monitoring and Assessment), 2012, no. 186, pp. 3831–3847.
6. Giancoli Barreto S. R., Nozaki J., De Oliveira E., Do Nascimento Filho V. F., Aragao P. A., Scarminio I., Barreto W. J. *Talanta* (Talanta), 2004, no. 64, pp. 345–354.
7. Kartal S., Aydin Z., Tokalioglu S. *Journal of Hazardous Materials* (Journal of Hazardous Materials), 2006, no. 132, pp. 80–89.
8. McLean J. E., Bledsoe B. E. *EPA* (EPA), 1992, pp. 1–25.
9. Rauret G., Lypez-Sanchez J., Sauquillo Rubio R., Davidson C., Ure A., Quevauviller Ph. *Journal of Environmental Monitoring* (Journal of Environmental Monitoring), 1999, no. 1, pp. 57–60.
10. Tessier A., Canbell P. G. C., Bission M. *Analytical Chemistry* (Analytical Chemistry), 1979, no. 51, pp. 884–851.

Коротко об авторах

Восель Юлия Сергеевна, канд. геол.-минер. наук, научный сотрудник лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: геохимия осадочных процессов, почв и ландшафтов, изотопная геохимия, гидрогеохимия
vosel@igm.nsc.ru

Макарова Ирина Владимировна, ведущий инженер лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: аналитическая химия, изотопная радиохимия
makarova@igm.nsc.ru

Восель Сергей Владиславович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории теоретической химии, Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского, г. Новосибирск, Россия; старший преподаватель кафедры общей физики, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: теоретическая химия, ЭПР спектроскопия
vosel@kinetics.nsc.ru

Страховенко Вера Дмитриевна, д-р. геол.-минер. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геохимии благородных и редких элементов и экогеохимии, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск, Россия; профессор кафедры минералогии и геохимии, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия. Область научных интересов: геохимия и минералогия континентального седиментогенеза, экогеохимия
strahova@igm.nsc.ru

Briefly about the authors

Yulia Vosel, candidate of geological-mineralogical sciences, researcher, Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry laboratory, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry of sedimentary processes, soils and landscapes, isotopic geochemistry, hydrogeochemistry

Irina Makarova, leading engineer, Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry laboratory, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: analytical chemistry, isotope radiochemistry

Sergey Vosel, candidate of physical and mathematical sciences, senior researcher, Theoretical Chemistry laboratory, Vavodovsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion of Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia; senior lecturer, General Physics department, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: theoretical chemistry, EPR spectroscopy

Vera Strakhovenko, doctor of geological-mineralogical sciences, leading research associate, Geochemistry of Noble and Rare Elements and Ecogeochemistry laboratory, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russia; professor, Mineralogy and Geochemistry department, Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry and mineralogy of continental sediment genesis, ecogeochemistry

Работа выполнена в рамках государственных заданий № 0330-216-0011, № 44. 1. 5 и при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-35-00072 мол_а. Аналитические исследования проведены в «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН»

Образец цитирования

Восель Ю. С., Макарова И. В., Восель С. В., Страховенко В. Д. Методика селективного растворения, адаптированная к донным отложениям с высоким содержанием карбонатов // Вестн. Забайкаль. гос. ун-та. 2018. Т. 24. № 9. С. 14–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-9-14-21.

Vosel Yu., Makarova I., Vosel S., Strakhovenko V. Sequential extraction method, adapted to modern carbonate sediments // Transbaikal State University Journal, 2018, vol. 24, no. 9, pp. 14–21. DOI: 10.21209/2227-9245-2018-24-9-14-21.

Статья поступила в редакцию: 04.06.2018 г.
Статья принята к публикации: 01.11.2018 г.