

УДК 543.555;543.421/424

МЕМБРАННО-ТРАНСПОРТНЫЕ И ЭКСТРАКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГЕКСИЛ- [(N-МЕТИЛ-N,N-ДИОКТИЛАММОНИО)МЕТИЛ]- ФОСФОНАТА

© 2022 г. Н. В. Давлетшина^{а,*}, Д. Р. Долгова^а, Е. А. Ермакова^а, Р. Р. Давлетшин^а,
Д. Р. Султанова^а, И. И. Стойков^а, Р. А. Черкасов^а

^а Казанский (Приволжский) федеральный университет, ул. Кремлевская 18, Казань, 420008 Россия
*e-mail: kurnosova.nataliya@yandex.ru

Поступило в редакцию 5 октября 2022 г.

После доработки 2 ноября 2022 г.

Принято к печати 3 ноября 2022 г.

Изучены мембранно-транспортные свойства липофильного фосфорилированного бетаина – гексил[(N-метил-N,N-диоктиламмоний)метил]фосфоната – и промышленного экстрагента – триоктилфосфиноксида. Установлена селективность транспорта ионов редкоземельных металлов обоими переносчиками. Гексил[(N-метил-N,N-диоктиламмоний)метил]фосфонат оказался более эффективным в отношении трехзарядных редкоземельных металлов по сравнению с промышленным переносчиком, в отношении к ионам лантана, неодима и европия. Согласно ИК спектральному исследованию в условиях жидкость-жидкостной экстракции в 1,2-дихлорбензоле, комплексы с одно- и двухзарядными ионами металлов не образуются, в то время как комплексообразование с нитратами редкоземельных металлов, осуществляется с участием фосфонатного фрагмента фосфорилированного бетаина; в металлокомплексах в качестве противоиона выступает нитрат-анион

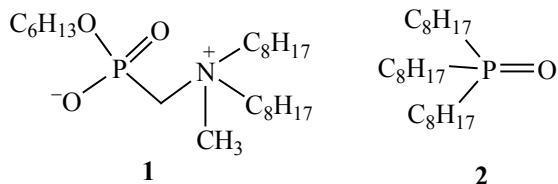
Ключевые слова: липофильные фосфорилированные бетаины, редкоземельные металлы, ИК спектроскопия, мембранная и жидкостная экстракция

DOI: 10.31857/S0044460X22120149, **EDN:** MVSERA

Передовые технологии, используемые для извлечения, сепарации и концентрирования различных субстратов, основываются на применении технологий межфазного мембранного транспорта и жидкостной экстракции. Для извлечения ионов металлов стандартным и оптимизированным является метод жидкостной экстракции, легко реализуемый как в лабораторных условиях, так и в промышленных масштабах [1]. В то же время, результаты исследований последних лет свидетельствуют о перспективности использования

технологии мембранной экстракции для целей концентрирования и сепарации ионов различных металлов [2–7]. Перенос через импрегнированную жидкую мембрану представляет собой комбинацию трех одновременно действующих процессов: экстракция субстрата из отдающей фазы, диффузия через мембрану и реэкстракция в принимающую фазу. Среди многочисленных преимуществ этой технологии – специфичность метода, минимальное количество необходимого растворителя и переносчика, объединение этапов экстракции и

Схема 1.



реэкстракции в один этап [8]. Данные преимущества являются важными при излечении токсичных или дорогих металлов из больших объемов низкоконцентрированных растворов. Наиболее распространенными экстрагентами в процессах как жидкостной, так и мембранной экстракции, являются фосфорорганические соединения: бис-2-этилгексилфосфорная кислота (D2ЕНРА), серия реагентов Суапех 272/302/301 (производные бис-2,4,4-триметилпентилфосфиновой кислоты), три-*n*-бутилфосфат (ТВР), триоктилфосфиноксид (ТОРО), моно-2-этилгексилэфир 2-этилгексилфосфорной кислоты (РС88А/ЕНЕНРА) и др. [9–13].

В последние годы особое внимание нами было уделено изучению свойств аминоксифосфатаминов – соединений, обладающих антибактериальными, комплексообразующими и экстракционными свойствами [14–17]. Согласно литературным данным, разнообразные по структуре бетаины используются в качестве растворителей, антисептиков, антибактериальных препаратов, широко применяются в медицине и косметологии [18–24].

В настоящей работе мы впервые приводим результаты исследований мембранно-транспортных и экстракционных свойств липофильного фосфорилированного бетаина – гексил[(*N*-метил-*N,N*-диоктил-аммонио)метил]фосфоната **1** (схема 1) – в сравнении с промышленным переносчиком – триоктилфосфиноксидом **2**.

Бетаин **1** получен по трехстадийному методу синтеза [25], триоктилфосфиноксид является коммерчески доступным реагентом. Процесс трансмембранного переноса осуществлялся с использованием жидких поддерживаемых мембран, импрегнированных растворами переносчиков в 1,2-дихлорбензоле. При оценке взаимосвязи между структурой и транспортными свойствами переносчика нужно иметь в виду,

Таблица 1. Потоки трансмембранного переноса ионов металлов, индуцированного переносчиками **1** и **2** (J_i) и транспорта металлов в отсутствие переносчика (J_0)

Металл	$J_i \times 10^5$, моль/(мин·м ²)				
	1,2-дихлорбензол	1	$\varepsilon_1 = j_i/j_0$	2	$\varepsilon_2 = j_i/j_0$
Li	1.0	3.0±0.1	3.0	1.5±0.3	1.5
Na	2.0	2.2±0.1	1.1	7.8±2.9	3.9
K	1.2	2.0±0.1	1.7	5.1±0.2	4.2
Cs	3.2	3.2±0.15	1.0	4.0±0.4	1.2
Mg	1.0	12.7±1.7	12.7	0.14±0.1	0.1
Ca	1.7	8.8±0.5	5.2	1.1±0.04	0.6
Sr	1.0	3.1±0.4	3.1	0.1±0.04	0.1
Ba	2.7	6.7±0.05	2.5	1.1±0.1	0.4
Ni	0.8	15.2±0.8	19.0	0.14±0.1	0.2
Co	1.3	10.2±1.7	7.8	0.1±0.03	0.1
Zn	1.3	74.7±1.4	57.5	1.4±0.1	1.1
La	1.5	64.9±1.2	43.3	58.7±0.6	39.1
Nd	1.2	74.8±2.6	62.3	7.8±0.9	6.5
Sm	1.3	26.0±0.3	20.0	6.2±1.0	4.8
Eu	2.6	101.2±1.4	38.9	34.3±9.1	13.2
Gd	1.3	18.5±1.8	14.2	6.1±0.9	4.7
Ho	1.3	35.3±2.6	27.1	19.9±0.11	15.3

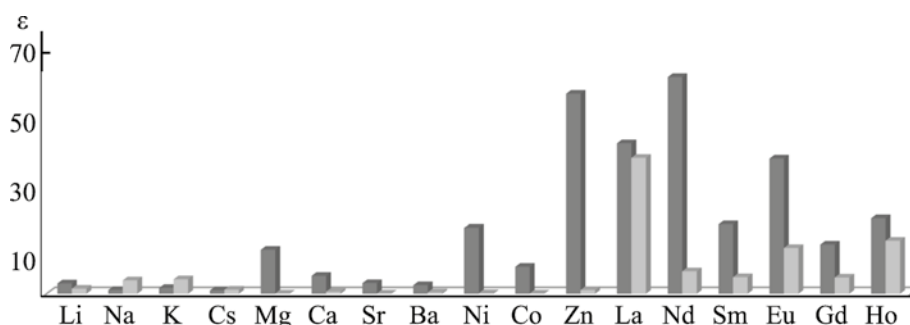


Рис. 1. Коэффициенты усиления потока (ϵ) для ряда металлов через жидкую импрегнированную мембрану.

что эффективность переноса зависит от скорости связывания переносчика с субстратом, от прочности образующегося комплекса и скорости рекстракции в принимающую фазу. Результаты экспериментов представлены в табл. 1. Величины потоков металлов через мембрану, пропитанную только мембранным растворителем (J_0), также приведены.

На рис. 1 эффективность переноса представлена в виде коэффициента усиления потока ϵ , который представляет собой отношение потока металла, индуцированного переносчиком, к потоку холостого опыта j_i/J_0 . Согласно представленным данным, переносчик **1** проявляет ярко выраженную селективность к ионам редкоземельных металлов и, в особенности, к ионам лантана, неодима и европия (коэффициент усиления потока составляет 43.3, 62.3 и 38.9 соответственно), все остальные одно- и двухзарядные ионы металлов, за исключением магния, никеля и цинка, транспортируются с примерно одинаковой эффективностью. Среди исследуемых металлов триоктилфосфиноксид проявляет селективность только к иону лантана. Можно отметить увеличение транспорта ионов при переходе от однозарядных щелочных металлов к двухзарядным щелочноземельным, переходным и далее редкоземельным металлам для переносчика **1**.

Триоктилфосфиноксид, в свою очередь, более эффективно переносит ионы однозарядных металлов, чем двухзарядных, с селективностью к трехзарядным металлам. Ранее при исследовании мембранно-транспортных свойств фосфорилированных аминов, диаминов и диазаподандов, нейтральных аналогов изучаемого переносчика **1**, мы также наблюдали явную селективность к ионам редкоземельных металлов [26]. Согласно представленным данным, фосфори-

лированный бетаин **1** более эффективен в транспорте ионов трехзарядных металлов, по сравнению с промышленным переносчиком **2**. Этот факт связан, по нашим предположениям, с участием в комплексобразовании аминоксидного фрагмента RCH_2N , присутствующего в составе изучаемых нами фосфорилированных аминов, диаминов, диазаподандов и бетаинов, который формирует псевдополость, подходящую для эффективного комплексобразования с ионами трехзарядных металлов.

Для определения основных центров координации, мы провели жидкостную экстракцию переносчиком **1** в системе 1,2-дихлорбензол–вода и регистрировали ИК спектры органической фазы после экстракции (рис. 2). В табл. 2 представлены сдвиги характеристических полос поглощения для переносчика **1** и его комплексов с металлами после испарения 1,2-дихлорбензола.

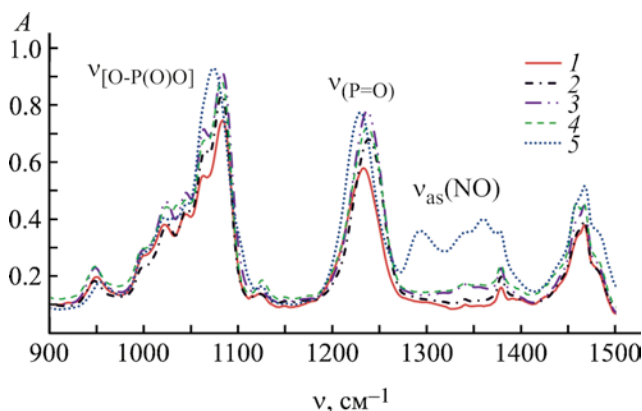


Рис. 2. Фрагменты ИК спектров комплексов гексил[(N-метил-N,N-диоктиламмонио)метил]фосфоната **1** с металлами: К (2), Са (3), Ni (4), Gd (5).

Таблица 2. Полосы поглощения характеристичных групп для переносчика **1** и его комплексов с ионами металлов

Отнесение	$\nu, \text{см}^{-1}$											
	1	Li	Na	K	Cs	Mg	Ca	Sr	Ba	Ni	Co	Zn
P=O	1233	1234–1237										
OP(O)O ⁻	1022, 1044, 1061, 1083	1021–1022, 1043–1045, 1062–1065, 1080–1082										
Отнесение	1	M(NO ₃) ₃	La	Nd	Sm	Eu	Gd	Ho				
P=O	1233	–	1231	1231	1233	1230	1229	1230				
NO	–	1280–1298, 1310–1321, 1437–1489	1340, 1356 ш	1298, 1339, 1358	1340	1293, 1361 ш	1293, 1341, 1361	1296, 1361 ш				
OP(O)O ⁻	1022, 1044, 1061, 1083	–	1019, 1042, 1083 ш	1021, 1044, 1075 ш	1022, 1035, 1067 ш	1023, 1035, 1072 ш	1022 с, 1043 с, 1073 ш	1021, 1035, 1072 ш				

Ранее нами было установлено, что аналог фосфорилированного бетаина **1** – пентил[(N-бензил-N,N-дибутиламмонио)метил]фосфонат – образует комплекс с ионом меди с участием фосфонатной группы, которая выступает в качестве мостика при образовании двухъядерного centrosymmetricного комплекса, в то время как нитрат-ионы выступают в качестве противоионов и имеют бидентатную координацию [16]. Следовательно, основными характеристичными полосами поглощения, отвечающими за образование комплекса с ионами металлов в переносчике **1**, являются колебания фосфонат-аниона в областях 1280–1298, 1311–1321, 1437–1489 см^{-1} и группы P=O в области 1233 см^{-1} [27–29].

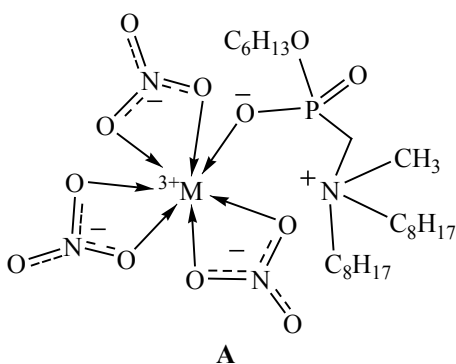
В ИК спектрах комплексов с редкоземельными элементами отмечаются изменения в области поглощения фосфонат-аниона и нитрат-иона. Ассимметричные колебания нитрат-иона $\nu_{\text{as}}(\text{NO})$ в солях металлов представлены в виде двух полос поглощения в областях 1280–1298, 1310–1321 см^{-1} и колебанием в области 1437–1489 см^{-1} , последние перекрываются с полосами поглощения соединения **1**. Уширение и смещение первых двух полос поглощения свидетельствует об образовании комплекса между исследуемым переносчиком и нитратами редкоземельных металлов [15]. Анализируя данные табл. 2, можно отметить, что щелочные, щелочноземельные и переходные металлы практически не экстрагируются в органическую фазу: сдвиг фосфорильной группы находится в пределах разрешающей способности ИК спектрометра

(4 см^{-1}), при этом в спектрах отсутствуют колебания противоионов – нитрат-ионов; ИК спектр органической фазы идентичен таковому для переносчика **1** (рис. 2).

Согласно литературным данным [30], полоса при 1022 см^{-1} принадлежит колебаниям группы P–O–C, и в спектрах комплексов с металлами она не претерпевает изменений. При комплексообразовании с ионами редкоземельных металлов происходит смещение и уширение полос поглощения 1044, 1061, 1083 см^{-1} переносчика, что объясняется образованием связи M–O–P [15].

Отметим, что в данном эксперименте не наблюдается смещения полосы поглощения группы P=O, как в случае одно- и двухзарядных металлов, так и в случае трехзарядных редкоземельных металлов, что свидетельствует об отсутствии взаимодействия между неподделенной парой кислорода фосфорильной группы и ионом металла. Ранее же при изучении процесса комплексообразования с ионами металлов в метаноле, после выпаривания растворителя, мы наблюдали значительное смещение полос поглощения фосфонат-аниона OP(O)O⁻ и группы P=O [15, 17]. Иная ситуация возникает при экстракции 1,2-дихлорбензолом: в комплексообразовании участвует лишь небольшая часть нитрата металла, поэтому при удалении растворителя наиболее выгодное взаимодействие возникает между отрицательно заряженным фосфонат-анионом и ионом металла.

Схема 2.



Исходя из полученных данных, мы предполагаем, что в процессе транспорта ионов металлов и, в частности редкоземельных металлов, образуется комплекс А, в котором в координацию с атомом металла вступают атомы кислорода фосфонат-аниона и три нитрогруппы с бидентатной координацией (схема 2).

Результаты, полученные при экстракции металлов 1,2-дихлорбензолом, согласуются с данными мембранного транспорта: наиболее прочные комплексы образуются с трехзарядными ионами редкоземельных металлов, которые эффективнее всего экстрагируются в органическую фазу мембраны.

Таким образом, гексил[(N-метил-N,N-диоктилммоний)метил]фосфонат более эффективно транспортирует ионы редкоземельных металлов через жидкую импрегнированную мембрану, чем промышленный переносчик. Анализ ИК спектров органической фазы после проведения жидкость-жидкостной экстракции в 1,2-дихлорбензоле гексил[(N-метил-N,N-диоктилммоний)метил]фосфонатом нитратов металлов свидетельствует о том, что в этих условиях комплекс образуется только между нитратами редкоземельных металлов. Таким образом, проведенное исследование свидетельствует о перспективности использования гексил[(N-метил-N,N-диоктилммоний)метил]фосфоната в качестве трансмембранного переносчика в процессах мембранной экстракции редкоземельных металлов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В экспериментах использовали нитраты металлов марки ХЧ и ЧДА, триоктилфосфиноксид 2 и 1,2-дихлорбензол фирмы «Acros Organics». Синтез и спектральные данные переносчика 1 описаны в работе [25].

ИК спектры регистрировали на спектрометре PerkinElmer UATR Two. Спектры были скорректированы и нормализованы по базовой линии. Электропроводность растворов измеряли кондуктометром inoLab Cond Level 1 с кондуктометрической ячейкой LR 325/01 со стальным электродом (WTW GmbH, Германия), константа ячейки K 0.1 см^{-1} . Гидрофобной матрицей служили пористые тефлоновые фильтры Millipore FLUOROPORE Type FA (толщина – 1 мкм, размер пор – 100 нм, пористость – 85%, армированные капроновой сеткой), которые пропитывались переносчиками.

Изучение мембранной экстракции проводили в классической вертикальной ячейке с подвижным цилиндром. Принимающий раствор, объемом 30 мл находился во внутреннем тефлоновом стакане, дном которого служила импрегнированная жидкая мембрана; растворитель мембранной фазы – 1,2-дихлорбензол. Объем отдающей фазы 80 мл. Изменение концентрации субстрата в принимающей фазе измеряли кондуктометрическим датчиком. Величины потоков переноса через мембрану [J_i , моль/($\text{м}^2 \cdot \text{мин}$)] рассчитывали по начальным линейным участкам зависимости концентрации транспортируемого вещества в принимающей фазе от времени по уравнению (1):

$$J_i = c_s \cdot V/S_M \quad (1)$$

где c_s – изменение концентрации вещества в растворе во времени τ [(моль/л)/мин], V – объем принимающей фазы (0.03 л), S_M – площадь мембраны ($10.57 \times 10^{-4} \text{ м}^2$). Концентрацию субстрата в принимающей фазе определяли методом кондуктометрии. В качестве потока холостого эксперимента использовали значение, при котором мембрана пропитывалась чистым растворителем.

Жидкостную экстракцию осуществляли смешением 150 мкл 0.1 М. раствора переносчика в 1,2-дихлорбензоле с 1000 мкл 0.01 М. раствором соли металла. После интенсивного встряхивания в

течение 1 мин и расслоения фаз на алмазный диск ИК спектрометра помещали 10 мкл образца, сушили и регистрировали спектр.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Давлетшина Наталья Викторовна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0231-337X>

Давлетшин Рустам Рифхатович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1708-6985>

Стойков Иван Иванович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3019-7866>

Черкасов Рафаэль Асхатович, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8604-9953>

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-23-00335, <https://rscf.ru/project/22-23-00335/>).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Р.А. Черкасов является членом редколлегии Журнала общей химии. Остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mahdieh R.A., Tran N., Nigam K., Hessel V.* // Sep. Purif. Technol. 2021. Vol. 262. N 118289. doi 10.1016/j.seppur.2020.118289
2. *Ni'am A.C., Wang Y-F., Chen S-W., Chang G-M., You S-J.* // Chem. Eng. Proc. Process Intens. 2020. Vol. 148. N 107831. doi 10.1016/j.cep.2020.107831
3. *Xu D., Shah Z., Sun G., Peng X., Cui Y.* // Miner. Eng. 2019. Vol. 139. N 105861. doi 10.1016/j.mineng.2019.105861
4. *Özevci G., Sert S., Eral M.* // Chem. Eng. Res. Design. 2018. Vol. 140. P. 1. doi 10.1016/j.cherd.2018.10.004
5. *Sharma S., Nath Dutta N.* // J. Iran. Chem. Soc. 2020. Vol. 17 P. 2957. doi 10.1007/s13738-020-01972-5
6. *Pavón S., Fortuny A., Coll M.Y., Sastre A.M.* // Sep. Purif. Technol. 2019. Vol. 224. P. 332. doi 10.1016/j.seppur.2019.05.015
7. *Yadav K.K., Anitha M., Singh D.K., Kain V.* // Sep. Purif. Technol. 2018. Vol. 194. P. 265. doi 10.1016/j.seppur.2017.11.025
8. *Lozano L.J., Godínez C., de los Ríos A.P., Hernández-Fernández F.J., Sánchez-Segado S., Alguacil F.J.* // J. Membrane Sci. 2011. Vol. 376. N 1–2. P. 1. doi 10.1016/j.memsci.2011.03.036
9. *Mahdieh R.A., Tran N., Nigam K., Hessel V.* // Sep. Purif. Technol. 2021. Vol. 262. N 118289. doi 10.1016/j.seppur.2020.118289
10. *Li D.Q.* // J. Rare Earths. 2019. V. 37. P. 468. doi 10.1016/j.jre.2018.07.016
11. *Kooka L., Kaufera B., Bakonyia P., Rozsenberszka T., Riverab I., Buitronc G., Belafi-Bakoa K., Nemes-tothya N.* // J. Membrane Sci. 2019. Vol. 570. P. 215. doi 10.1016/j.memsci.2018.10.063
12. *Kuanga S., Zhanga Z., Lia Y., Weia H., Liaoa W.* // Hydrometallurgy. 2017. Vol. 174. P. 78. doi 10.1016/j.hydromet.2017.09.011.
13. *Zhao Q., Li Y., Kuang S., Zhang Z., Bian X., Liao W.* // J. Rare Earths. 2019. Vol. 37. P. 422. doi 10.1016/j.jre.2018.07.013
14. *Davletshin R., Gayneev A., Ermakova E., Davletshina N., Galkina I., Ivshin K., Shulaeva M., Pozdeev O.* // Mendeleev Commun. 2022. Vol. 32. P. 180. doi 10.1016/j.mencom.2022.03.009
15. *Давлетшина Н., Долгова Д., Ермакова Е., Давлетшин Р., Ившин К., Черкасов Р.* // ЖОХ. 2022. Т. 92. С. 1052; *Davletshina N., Dolgova D., Ermakova E., Davletshin R., Ivshin K., Cherkasov R.* // Russ. J. Gen. Chem. 2022. Vol. 92. P. 1221. doi 10.1134/S1070363222070076
16. *Davletshina N., Khabibullina A., Ushakova J., Davletshin R., Islamov D., Usachev K., Cherkasov R.* // J. Organomet. Chem. 2020. Vol. 916. P. 121267. doi 10.1016/j.jorganchem.2020.121267
17. *Davletshina N., Khabibullina A., Davletshin R., Ivshin K., Kataeva O., Cherkasov R.* // J. Organomet. Chem. 2021. Vol. 951. P. 121996. doi 10.1016/j.jorganchem.2021.121996.
18. *Romanov S.R., Dolgova Y.V., Morozov M.V., Ivshin K.A., Semenov D.A., Bakhtiyarova Y.V., Galkina I.V., Kataeva O.N., Galkin V.I.* // Mendeleev Commun. 2021. Vol. 31. Is. 2. P. 242. doi 10.1016/j.mencom.2021.03.032
19. *Xu Y., Zhang X., Zhao H., Chen W., Yan X., Liu H., Liu C., Xu B.* // J. Surfact. Deterg. 2017. Vol. 22. P. 103. doi 10.1002/jsde.12193
20. *Burnett C.L., Bergfeld W.F., Belsito D.V., Hill R.A., Klaassen C.D., Liebler D.C., Marks J.G., Shank C.R., Slaga T.J., Snyder P.W., Andersen F.A., Heldreth B.* // Int. J. Toxicol. 2018. Vol. 37. P. 28. doi 10.1177/1091581818773354
21. *Ningrum E.O., Pratiwi E.L., Shaffitri I.L., Suprpto S., Mukti M.R., Agustiani E., Puspita N.F., Karisma A.D.* // Indones. J. Chem. 2021. Vol. 21. N 5. P. 1298. doi 10.22146/ijc.61128
22. *Yin X., Liang W., Wang Y., Xiao Y., Zhou Y., Lang M.* // Mater. Chem. Phys. 2021. Vol. 261. P. 124102. doi 10.1016/j.matchemphys.2020.124102

23. Li L., Wang H., Jin Y., Wang P., Jia D. // ChemistrySelect. 2019. Vol. 4. N 39. P. 11455. doi 10.1002/slct.201902555
24. Bengani-Lutz P., Converse E., Cebe P., Asatekin A. // ACS Appl. Mater. Interfaces. 2017. Vol. 9. N 24. P. 20859. doi 10.1021/acsmi.7b04884
25. Гарифзянов А.Р., Давлетшина Н.В., Ахмадуллина Л.И., Сафиуллин И.Т., Черкасов Р.А. // ЖОХ. 2018. Т.88. Вып. 11. С.1923; Garifzyanov A.R., Davletshina N.V., Akhmadullina L.I. // Russ. J. Gen. Chem. 2018. Vol. 88. N 11. P. 2445. doi 10.1134/S1070363218110324
26. Гарифзянов А.Р., Давлетшина Н.В., Гайнеев А.М., Гайнуллин А.З., Черкасов Р.А. // ЖОХ. 2018. Т. 88. Вып. 9. С.1506; Garifzyanov A.R., Davletshina N.V., Gayneev A.M., Gaynullin A.Z., Cherkasov R.A. // Russ. J. Gen. Chem. 2018. Vol. 88. N 9. P. 1850. doi 10.1134/S1070363218090141
27. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М.: ИЛ, 1963. 590 с.
28. Казыцына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М.: ВШ, 1971. 264 с.
29. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Аналитика. М.: ВШ, 2003. Кн. 1. 614 с.
30. Barja B.C., Herszage J. // Polyhedron. 2001. Vol. 20. N 15–16. P. 1821. doi 10.1016/S0277-5387(01)00741-0

Membrane Transport and Extraction Properties of Hexyl [(*N*-Methyl-*N,N*-dioctylammonio)methyl]phosphonate

N. V. Davletshina^{a,*}, E. A. Ermakova^a, D. R. Dolgova^a, R. R. Davletshin^a,
D. R. Sultanova^a, I. I. Stoikov^a, and R. A. Cherkasov^a

^a Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia

*e-mail: kurnosova.nataliya@yandex.ru

Received October 5, 2022; revised November 2, 2022; accepted November 3, 2022

The membrane-transport properties of lipophilic phosphorylated betaine, hexyl [(*N*-methyl-*N,N*-dioctylammonio)methyl]phosphonate, and industrial extractant trioctylphosphine oxide, were studied. The selectivity of the transport of rare-earth metal ions by both carriers was established. Hexyl [(*N*-methyl-*N,N*-dioctylammonio)methyl]phosphonate proved to be more effective with respect to triply charged rare earth metals compared to industrial carrier, in particular, to lanthanum, neodymium and europium ions. According to an IR spectral data under conditions of liquid-liquid extraction in 1,2-dichlorobenzene, complexes with singly and doubly charged metal ions are not formed, while complexation with rare-earth metal nitrates is carried out with the participation of the phosphonate fragment of the phosphorylated betaine; in metal complexes, the nitrate anion acts as a counterion.

Keywords: lipophilic phosphorylated betaines, rare earth metals, FT-IR spectroscopy spectrometry, membrane and liquid extraction