

Полученные результаты указывают на то, что способ может быть использован для контроля содержания воды в водно-спиртовых растворах различного назначения, не содержащих других органических и неорганических компонентов в количествах больше 1%.

### Список литературы

- 1.Ферапонтов Н.Б., Кавалерская Н.Е. Поведение сшитого полиакриламида в растворах низкомолекулярных электролитов//Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т.9. Вып.3. С. 433-440.
2. Пат. 2282850 Российская Федерация, МПК G 01 N 30/00, G 01 N 33/18. Безреагентный способ определения содержания компонентов в растворе и устройство для его осуществления / Ферапонтов Н.Б., Рубин Ф.Ф., Ковалева С.С.; патентообладатели Ферапонтов Н.Б., Рубин Ф.Ф., Ковалева С.С. – № 2005112942; заявл. 29.04.05; опубл. 27.08.06, Бюл. № 24. – 10 с.
3. Ферапонтов Н.Б. Определение природы и концентрации растворенных веществ методом набухающей гранулы / Н.Б. Ферапонтов, С.С. Ковалева, Ф.Ф. Рубин // Журн. аналит. химии. 2007. Т.62, №10. С. 1-7.
4. Кудухова И.Г., Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Ферапонтов Н.Б. Кинетика набухания гранул из ионогенных и неионогенных полимерных материалов в водно-спиртовых растворах //Сорбционные и хроматографические процессы 2010, , Вып. 4., С. 589-594.

**Рудаков Олег Борисович** – д.х.н., профессор, зав. кафедрой химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, Воронеж, тел. (4732) 717617

**Кудухова Инга Гайзовна** – аспирант кафедры химии Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, 394006, Воронеж, тел. (4732) 717617

**Рудакова Людмила Васильевна** – к.х.н., доцент кафедры фармацевтической химии Воронежской государственной медицинской академии, Воронеж

**Ферапонтов Николай Борисович** – д.х.н., ведущий научный сотрудник кафедры физической химии Московского государственного университета, Москва; тел. (495) 9394019

**Rudakov Oleg B.** – d.kh.n., professor, head of the chair of chemistry of Voronezh state university of architecture and civil engineering, Voronezh, e-mail: [rudakov@vgasu.vrn.ru](mailto:rudakov@vgasu.vrn.ru)

**Kudukhova Inga G.** – post-graduate student of the chair of chemistry Voronezh state university of architecture and civil engineering, Voronezh, e-mail: [phanvinhthinh@gmail.com](mailto:phanvinhthinh@gmail.com)

**Rudakova Lyudmila V.** – k.kh.n., the senior lecturer of the chair of pharmaceutical chemistry of the Voronezh state medical academy, Voronezh

**Ferapontov Nikolay B.** – d.kh.n., leading researcher of the chair of physical chemistry of the Moscow state university, Moscow, e-mail: [n.ferapontov@phys.chem.msu.ru](mailto:n.ferapontov@phys.chem.msu.ru)

УДК 661.183

## Разработка новых сорбционных материалов

Алдошин А.С., Лейкин Ю.А.

*Российский химико–технологический университет им. Д.И.Менделеева, Москва*

Поступила в редакцию 21.05.2010 г.

## Аннотация

Для оценки молярной степени превращения твердофазных биоцидных материалов была усовершенствована методика аналитического определения эпоксидных групп в нерастворимых полимерах. Проведена оптимизация фоновой составляющей раствора соляной кислоты, степени измельчения сополимера и времени контакта.

**Ключевые слова:** сорбенты, эпоксидные группы, расчет молярной степени превращения, сополимер глицидилметакрилата и дивинилбензола

To estimate the molar degree of conversion of solid biocidal material method for analytical determination of epoxide groups in the insoluble polymers has been improved. The background component of hydrochloric acid, the degree of disintegration of the copolymer and the contact time were optimized.

**Keywords:** sorbents, epoxy groups, the calculation of the molar degree of conversion, copolymer of glycidylmethacrylate and divinylbenzene

## Введение

В последнее время, в связи с возникновением мутаций штаммов микроорганизмов и появлением у них устойчивости к распространенным бактерицидным средствам особенно остро стоит проблема создания эффективных лекарственных препаратов для борьбы с возбудителями гнойных инфекций и кишечной палочки, среди которых штаммы, устойчивые к действию одного или даже нескольких антибиотиков встречаются наиболее часто. Кроме того, в последние годы появилась угроза использования суперпатогенных инфекций, таких как сибирская язва, в целях биологического терроризма.

Разработка нерастворимых полимерных систем, обладающих высокой биоцидной активностью позволяют решить ряд проблем, возникающих в различных областях промышленности, сельского хозяйства и медицины, в том числе для развития эффективной антибактериальной терапии, особенно в условиях чрезвычайных ситуаций [1].

Ранее нами была предложена методология расчета концентрации различных функциональных групп и молярной степени превращения в гетерогенных реакциях полимераналогичных превращений (ПАП) [2,3]. Эта методология и была применена для оценки реакций эпоксидных групп в полимерах глицидилметакрилата (ГМА) и дивинилбензола (ДВБ 5 масс.%).

## Теоретическая часть

В настоящее время, для обеспечения бактерицидности, вирулицидности и ряда других свойств, обеспечивающих декантамацию очищаемой среды, используют, в основном, водорастворимые бактерицидные средства. Недостаток использования таких средств заключается в том, что в них нельзя создать достаточно высокие концентрации бактерицида, необходимые для гибели микроорганизмов, поскольку при определенных концентрациях все бактерициды становятся токсичными.

На твердофазных полимерных носителях возможно создать довольно большие концентрации бактерицидных веществ за счет прочности связей, при этом можно контролировать количество вещества, вымываемого в очищаемую среду, а также обеспечить отсутствие вымывания. Это свойство полимерных носителей очень важно для медицины выведения, в частности для очистки крови. Очистка может быть

осуществлена на обычных сорбционных колонках, в которых полимерный сорбент будет задерживать и разрушать проходящие через него микроорганизмы и делать плазму безвредной. Это свойство возможно использовать и для поддержания бактериостатичности воды и пищевых жидкостей, что крайне важно в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций.

Для решения такой задачи особенно актуальным является поиск твердофазных полимерных подложек, содержащих в своей структуре активные функциональные группы, позволяющие прочно связывать на этих полимерах реагенты, придающие полимеру свойства направленного действия. В то же время, аналитические методики определения концентрации функциональных групп достаточно несовершенны и вносят недостоверность в результаты их определения, особенно при расчетах молярной степени превращения.

## Эксперимент

### 1. Методика определения эпоксидных групп

Навеску сополимера ГМА и ДВБ (5 масс.%) ( $\approx 0,5$  г), взвешенную с точностью до 0,0002 г, помещают в коническую колбу объемом 100 мл и добавляют пипеткой 50 мл 0,1 н раствора HCl на фоне 6 М NaCl. Колбу закрывают пробкой, выдерживают 24 ч., периодически перемешивая. После чего отделяют жидкую фазу от твердой фазы фильтрованием через воронку с бумажным фильтром в аналогичную колбу с пробкой. Далее пипеткой объемом 10 мл отбирают аликвоту рабочего раствора и оттитровывают избыток HCl 0,1 н раствором NaOH в присутствии индикатора бромтимолового синего.

### 2. Методика предварительной обработки сополимера ГМА-ДВБ водой

В трехгорлую колбу объемом 100 мл, с мешалкой и обратным холодильником загружают  $0,5 \text{ г} \pm 0,0002$  воздушно-сухого сополимера ГМА и ДВБ (5 масс.%). Одновременно ставят навеску  $0,5 \div 0,4$  г на определение влажности по стандартной методике [4]. Далее в колбу загружают 50 мл дистиллированной воды. Включают мешалку и начинают нагревать до кипения, после чего выдерживают при этой температуре в течение 4 часов. По окончании, реакционную смесь, охлажденную до комнатной температуры, переносят на фильтр Шота и фильтруют. Твердую фазу подсушивают на фильтре с помощью водоструйного насоса до воздушно-сухого состояния, переносят на ночь в эксикатор для сушки над  $\text{CaCl}_2$  и анализируют.

### 3. Методика предварительной обработки сополимера ГМА-ДВБ 40%-ым водным раствором этанола

Обработку сополимера ГМА и ДВБ (5 масс.%) проводят по методике, приведенной в п. 2, с использованием 40%-го водного раствора этанола вместо дистиллированной воды.

### 4. Методика обработки сополимера ГМА-ДВБ раствором теотропина

В плоскодонную колбу объемом 100 мл загружают  $0,3 \text{ г} \pm 0,0002$  воздушно-сухого сополимера ГМА и ДВБ (5 масс.%). Одновременно ставят навеску  $0,5 \div 0,4$  г на определение влажности. Далее в колбу загружают 30 мл 6 мг/мл водного раствора теотропина и выдерживают при комнатной температуре в течение 3,5 часов, периодически перемешивая. По окончании, реакционную смесь переносят на фильтр Шота, фильтруют и промывают дистиллированной водой до значения коэффициента рефракции  $n_D^{20}=1,33$ . Твердую фазу подсушивают на фильтре с помощью водоструйного насоса до воздушно-сухого состояния, переносят в эксикатор и сушат над  $\text{P}_2\text{O}_5$  до постоянной массы. Определяют привес гравиметрическим методом.

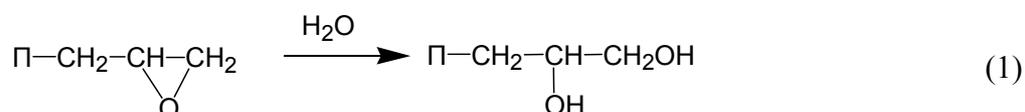
## Обсуждение результатов

### Расчет концентрации эпоксидных групп и молярной степени превращения в реакциях ПАП.

Расчет концентрации эпоксидных групп на полимере целесообразнее проводить в ммоль/г на 1 г полимера (ммоль/г). Теоретическое содержание эпоксидных групп в гомополимере ( $C_{\text{теор}}$ ) зависит только от молекулярной массы (ММ) полимерного фрагмента. В трехмерных сополимерах для оценки концентрации эпоксидных групп ( $C_{\text{исх}}$ ) следует учитывать массовую долю ГМА, за вычетом массовой доли кросс-агента, не содержащего эпоксидных групп, где  $q_{\text{сш}}$  степень сшивки:

$$C_{\text{теор}} = \frac{1000}{\text{ММ}_{\text{ГМА}}}; C_{\text{исх}} = C_{\text{теор}} \cdot (1 - q_{\text{сш}}) = \frac{(1 - q_{\text{сш}}) \cdot 1000}{\text{ММ}_{\text{ГМА}}} \quad (1)$$

При проведении ПАП возможно протекание побочной реакции гидролиза эпоксидных групп, сопровождающуюся изменением величины молекулярной массы фрагмента:



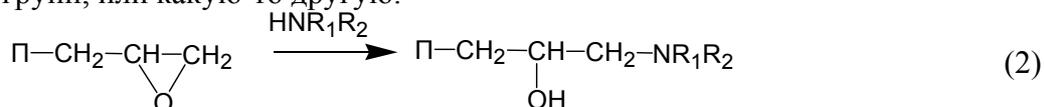
Молекулярная масса эпоксидного фрагмента ( $\text{ММ}_{\text{исх}}$ ) равняется 57, а после гидролиза изменяется до  $\text{ММ}_{\text{кон}}=75$ , при этом привес на каждый фрагмент составит  $\Delta_{\text{гидр}} = (\text{ММ}_{\text{кон}} - \text{ММ}_{\text{исх}})/1000 = 0,018$ . С учетом исходного содержания эпоксидных групп ( $C_{\text{исх}}$ ) и молярной степени превращения ( $F_{\text{гидр}}$ ) привес на каждый грамм составит  $1 + \Delta_{\text{гидр}} \cdot C_{\text{исх}} \cdot F_{\text{гидр}}$ , а концентрация исходных групп изменится до  $C_{\text{кон}}$ :

$$C_{\text{кон}} = \frac{C_{\text{исх}}}{1 + \Delta_{\text{гидр}} \cdot C_{\text{исх}} \cdot F_{\text{гидр}}} = \frac{1}{1/C_{\text{исх}} + \Delta_{\text{гидр}} \cdot F_{\text{гидр}}} \quad (2)$$

Концентрация эпоксидных групп ( $C_{\text{эп}}$ ), определенная экспериментально, связана со степенью превращения следующими уравнениями, позволяющими рассчитать молярную степень превращения при гидролизе, исходя из величин  $C_{\text{исх}}$ ,  $C_{\text{эп}}$  и  $\Delta_{\text{гидр}}$ :

$$1 - F_{\text{гидр}} = \frac{C_{\text{эп}}}{C_{\text{кон}}} = C_{\text{эп}} \cdot (1/C_{\text{исх}} + \Delta_{\text{гидр}} \cdot F_{\text{гидр}}); F_{\text{гидр}} = \frac{1 - C_{\text{эп}}/C_{\text{исх}}}{1 + C_{\text{эп}} \cdot \Delta_{\text{гидр}}} \quad (3)$$

Аналогично можно обработать полимераналогичную реакцию аминирования эпоксидных групп, или какую-то другую:



Величина привеса  $\Delta_{\text{ам}}$  в этом случае равна  $\text{ММ}_{\text{ам}}/1000$ . А измененная за счет привеса концентрация эпоксидных групп ( $C_{\text{кон}}$ ) составит:

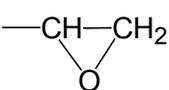
$$C_{\text{кон}} = \frac{C_{\text{исх}}}{1 + F_{\text{ам}} \cdot \Delta_{\text{ам}} \cdot C_{\text{исх}}} = \frac{1}{1/C_{\text{исх}} + F_{\text{ам}} \cdot \Delta_{\text{ам}}} \quad (4)$$

Определение степени превращения проводится с учетом экспериментальной концентрации аминогрупп по элементному анализу или по величинам емкости аминогрупп в конечном продукте ( $C_{\text{ам}}$ ). Причем последний способ функционального анализа при соблюдении условий сушки образца отличается наибольшей точностью  $\pm 0,02$  ммоль/г.

$$F_{\text{ам}} = \frac{C_{\text{ам}}}{C_{\text{кон}}} = C_{\text{ам}} \cdot \left( \frac{1}{C_{\text{исх}}} + F_{\text{ам}} \cdot D_{\text{ам}} \right) = \frac{C_{\text{ам}}}{C_{\text{исх}}} + C_{\text{ам}} \cdot F_{\text{ам}} \cdot D_{\text{ам}} \quad (5)$$

В таблице 1 представлены сравнительные расчеты максимально возможных концентраций эпоксидных групп для двух различных потенциальных носителей активных групп сополимеров стирола и глицидилметакрилата со степенями сшивки от 5 до 15 %. Как видно сополимеры ГМА по сравнению с ХМС показывают при различных степенях сшивки большие концентрации активных групп (на 7,4 %). Следует оговориться, что это преимущество может исчезнуть из-за меньшей стойкости к гидролизу эпоксидных групп по сравнению с хлорметильной группой.

Таблица 1. Максимально возможные концентрации функционально-активных групп для различных полимеров.

Полимер	Активные группы	Молекулярная масса звена, г/моль	Степень сшивки	Содержание активных групп в полимере, ммоль/г
Хлорметилированный полистирол (ПС)	-CH <sub>2</sub> Cl	152,5	0	6,557
			0,05	6,230
			0,10	5,902
			0,15	5,574
Полиглицидилметакрилат (ПГМА)		142	0	7,042
			0,05	6,690
			0,10	6,338
			0,15	5,986

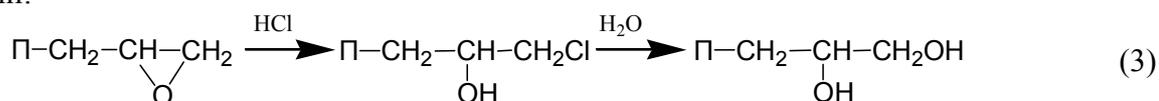
Для дальнейших исследований необходимо было разработать способ определения эпоксидных групп на трехмерных сополимерах.

Для аналитического определения эпоксидных групп в нерастворимых полимерах нами был использован наиболее простой волюметрический вариант присоединения соляной кислоты по эпоксидным группам, который на практике проводится в среде различных растворителей: ацетон, пиридин, смесь хлороформа с пиридином, диоксан, сложные эфиры. Для этого была проведена оптимизация фоновой составляющей раствора соляной кислоты, степени измельчения сополимера и времени контакта.

Реакции гидролиза способствуют деградации эпоксидных групп в водных растворах и даже при хранении на воздухе, причем первые потери групп заметны уже после водно-суспензионной сополимеризации. При этом в зависимости от условий проведения водно-суспензионной сополимеризации: температурного режима и наличия в водной фазе алкилирующих добавок, возможны конкурирующие реакции присоединения к эпоксидным группам, резко снижающие (почти в 3 раза) концентрацию эпоксидных групп в полимере.

О высокой реакционной способности эпоксидных групп при гидролизе в водном растворе соляной кислоты свидетельствуют полученные данные функционального анализа эпоксидных групп в различных режимах гидролиза, проведенные на одном образце сополимера. После гидролиза в водном растворе 0,1 н соляной кислоте остается лишь небольшое количество негидролизованых эпоксидных групп (0,347±0,001 ммоль/г, 0,3 отн. %), а степень гидролиза близка к полной ( $F_{\text{гидр}} = 0,942$ , при погрешности менее 0,1 отн.%).

Увеличение температуры и времени контакта с водными растворами соляной кислоты может приводить к образованию и дальнейшему гидролизу хлоргидринных групп:



Для трехмерных сополимеров ГМА с мало гидрофильными неионогенными группами и высокой степенью сшивки реакция присоединения соляной кислоты может осложняться затруднениями при внутренней диффузии HCl в мало полярную фазу нейтрального сополимера. При этом добавки почти насыщенного раствора хлористого натрия способствуют всаливанию кислоты в сополимер.

Подавление гидролиза в водной среде было достигнуто приготовлением 0,1 М раствора соляной кислоты на фоне 6 М раствора хлористого натрия. При этом количество определяемых эпоксидных групп заметно возрастает ( $4,307 \pm 0,047$  ммоль/г; 1,1 отн. %), а степень гидролиза падает ( $0,322 \pm 0,007$ ; 2,2 отн. %).

Результаты анализа сополимера, полученного водно-суспензионной сополимеризацией с определенными добавками и измененной водной фазой, показали низкую концентрацию эпоксидных групп ( $1,883 \pm 0,070$  ммоль/г; 3,7 отн. %), а степень гидролиза достигала ( $0,691 \pm 0,011$ ; 2,2 отн. %).

При выборе полимерного носителя важно предусмотреть стабильность его активных функциональных групп для дальнейших реакций ПАП, проводимых в различных условиях.

В таблице 2 приведены результаты анализов, характеризующие устойчивость эпоксидных групп в различных средах для сополимера ГМА и ДВБ (5 масс.%), обработанного растворителями перед анализом в различных условиях.

Таблица 2. Результаты анализов содержания эпоксидных групп в сополимере ГМА-ДВБ (5 масс.%)

№ образца	Условия проведения анализа	Обработка образца до анализа	Содержание эпоксидных групп, ммоль/г, $X_{\text{ср}}$	ст. откл.	отн. %	$F_{\text{ср. гидр}}$	ст. откл.	отн. %
1	Гранулы, время контакта 1 сутки в 0,1 н HCl на фоне 6 М р-ра NaCl, t комн.	Без обработки	4,557	0,095	2,1	0,295	0,014	4,6
2	Гранулы, время контакта 1 сутки 0,1 н HCl на фоне 6 М р-р NaCl, t комн.	Кипячение в воде в течении 4 ч	3,093	0,055	1,8	0,509	0,008	1,6
3	Гранулы, время контакта 4 суток, 0,1 н HCl на фоне 6 М р-р NaCl, t комн.	Кипячение в 40% этаноле в течении 4 ч	4,405	0,032	0,7	0,316	0,005	1,4

Как видно по данным таблицы 2 эпоксидные группы показывают достаточную стабильность в водной среде даже при 4-х часовом кипячении (образец №2). При кипячении в воде наблюдается снижение содержания эпоксидных групп по сравнению с исходным образцом (№1) на 21%. Степень гидролиза достигает  $0,509 \pm 0,008$ ; 1,6 отн. %. При переходе к водно-спиртовому раствору в сравнении с водной средой удается избежать заметного снижения концентрации эпоксидных групп. При 4-х часовом кипячении в 40 %-ном этаноле (образец №3) степень гидролиза составила  $0,316 \pm 0,005$ ; 1,4 отн. %, что на 2,8 % выше степени гидролиза необработанного образца, что практически находится в пределах точности определения.

Для оценки возможного возникновения внутридиффузионного торможения при диффузии соляной кислоты в геле сополимера ГМА и ДВБ (5 масс.%) проводили измельчение гранул и увеличение времени контакта анализируемого образца и раствора 0,1 н HCl на фоне 6 М раствора NaCl. Как видно по данным таблицы 3 измельчение образца и увеличение времени контакта не приводит к существенным изменениям концентрации эпоксидных групп. Более того увеличение времени контакта до 7 суток приводит к снижению концентрации эпоксидных групп, очевидно за счет гидролиза хлоргидринных групп. Следует отметить, что даже при использовании не измельченного полимера, величина  $F_{\text{гидр}}$  изменяется всего на 4 % в интервале 0,253-0,295, хотя стандартное отклонение и отн. % несколько возрастают.

Таблица 3. Данные функционального анализа эпоксидных групп

№	Условия проведения анализа	Содержание эпоксидных групп, ммоль/г, $X_{\text{ср}}$	ст. откл.	отн. %	$F_{\text{ср. гидр}}$	ст. откл.	отн. %
1	Гранулы, время контакта 1 сут.	4,557	0,095	2,1	0,295	0,014	4,6
2	Измельченный образец, время контакта 3 сут.	4,847	0,027	0,6	0,253	0,004	1,5
3	Измельченный образец, время контакта 7 сут.	4,682	0,050	1,1	0,277	0,007	2,6

В зависимости от целей исследования оценка концентрации функциональных групп с такой точностью вполне приемлема даже без предварительного измельчения сополимера.

В таблице 4 представлены данные функционального анализа эпоксидных групп по разработанной методике для не измельченного образца, а также величины молярной степени превращений в реакции гидролиза. Как видно стандартные отклонения содержания эпоксидных групп малы и для одной навески, с учетом ее влажности, не превышают 2 отн. %. Среднее значение для трех различных навесок составляет  $4,595 \pm 0,067$  ммоль/г (1,5 отн. %).

Таблица 4. Результаты оценки воспроизводимости разработанного метода анализа эпоксидных групп в полимере.

№ образца	навеска, г	Содержание эпоксидных групп, ммоль/г, $X_{\text{ср}}$	ст. откл.	отн. %	$F_{\text{ср. гидр}}$	ст. откл.	отн. %
1	0,5056	4,621	0,060	1,3	0,286	0,009	3,0
2	0,5039	4,606	0,031	0,7	0,288	0,004	1,6
3	0,5023	4,557	0,095	2,1	0,295	0,014	4,6

От предприятий г. Москвы “Синтез полимерных сорбентов” и от ВНИИХТ были получены образцы сополимера ГМА и 5% ДВБ с эпоксидными группами с содержанием ~2 ммоль/г, определенным по стандартной методике. Образцы были проверены по модифицированной методике и показано, что содержание эпоксидных групп в них значительно большее (порядка 4 – 4,6 ммоль/г).

Далее проведены исследования реакции присоединения теотропина на сополимере ГМА и ДВБ (масс. 5%) с целью получения бактерицидного сорбента. Ранее были получены аналогичные сорбенты на более сшитых макропористых матрицах сополимера стирола и ДВБ (масс. 15%), содержащих в своей структуре альдегидные группы. Поэтому представляло интерес использовать для этих целей более линейный по структуре сополимер ГМА и ДВБ, содержащий в своей структуре активные эпоксидные группы и оценить влияние структуры на ожидаемые свойства.

Для получения сорбента проводили обработку сополимера ГМА и ДВБ (масс. 5%) водным раствором теотропина с исходной концентрацией 6 мг/мл при температуре 20°C. Количество связанного теотропина оцененное гравиметрически по привесу составило 0,049 г/г, в то время как для сополимера стирола и ДВБ (масс. 15%) - 0,032 г/г.

## Заключение

В результате проведенных исследований можно рекомендовать модифицированную методику для определения содержания эпоксидных групп в сополимерах с целью дальнейшего расчета молярной степени превращения проводимых реакций получения биоцидных полимерных материалов, а также ряда сорбентов с уникальными свойствами.

## Список литературы

1. Лейкин Ю.А., Черкасова Т.А., Кумпаненко И.В., Роцин А.В. Высокоселективные гемо- и энтеросорбционные системы на основе полимерных ионитов // Рос.хим.ж.(Ж. Рос.хим. об. им. Д.И.Менделеева). – 2006. - Т.50. № 5. – С.69-76
2. Лейкин Ю.А., Коршак В.В., Гладков С.Ю., Тарасова Т.И., Черкасова Т.А., Халед А. // ВМС. – 1979. - А21 – С.1200-1228
3. Лейкин Ю.А., Черкасова Т.А., Мещеряков М.А., Зорина А.И. Исследование реакций ПАП на макропористых сополимерах акролеина // Пластмассы. – 1983. №11. - С.13-15
4. ГОСТ 10898.1-84. ИОНИТЫ Методы определения влаги. Издание официальное. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 3 с.

---

**Алдошин Александр Сергеевич** – аспирант кафедры «Проблем устойчивого развития» (ПУР) Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева, Москва

**Лейкин Юрий Алексеевич** – д.х.н., профессор кафедры «Проблем устойчивого развития» (ПУР) Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, Москва

**Aldoshin Alexander S.** – postgraduate of the Problems Sustainable Development Department of D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: [aldon2258@mail.ru](mailto:aldon2258@mail.ru)

**Leykin Yuriy A.** – Doctor of Chemistry Science, professor of Department Institute of Chemistry and the Problems of Sustainable Development of D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: [leykinya@umail.ru](mailto:leykinya@umail.ru)