



19. Фомина В. И., Солонина Н. А., Казмичева О. Ф., Комаров Б. А., Шиповская А. Б. Нестабильность водно-кислотных растворов хитозана // Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана : материалы 7-й междунар. конф. М. : ВНИРО, 2003. С. 367–371.
20. Миронов А. В., Вихорева Г. А., Кильдеева Н. Р., Успенский С. А. Причины неустойчивости вязкостных свойств уксуснокислых растворов хитозана // Высокомолек. соед. 2007. Т. 49 Б, № 1. С. 136–138.
21. Esam A. E., Khan R. A., Yahaya A. H. Study of the parameters affecting the viscosity of chitosan solutions // J. Chem. Soc. Pak. 2008. Vol. 30, № 4. P. 529–531.
22. Abramov A. Y., Kozyreva E. V., Shipovskaya A. B. Peculiarities of the physicochemical properties of chitosan solutions // Europ. J. Natural History. 2013. № 1. С. 30–35.
23. Desbrieres J. Viscosity of semiflexible chitosan solutions: influence of concentration, temperature, and role of intermolecular interactions // Biomacromolec. 2002. Vol. 3, № 2. P. 342–349.
24. Малинкина О. Н., Провозина А. А., Шиповская А. Б. Изучение взаимодействия гидрохлорида хитозана с аскорбиновой кислотой методами ИК и ЯМР спектроскопии // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2014. Т. 14, вып. 3. С. 20–25.
25. Tian X. L., Tian D. F., Wang Z. Y., Mo F. K. Synthesis and evaluation of chitosan-vitamin C complex // Ind. J. Pharm. Sci. 2009. Vol. 71, № 4. P. 371–376.

УДК 543.38.05:543.544

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Т. А. Байбурдов<sup>1</sup>, Е. И. Беризовская<sup>2</sup>, В. В. Васин<sup>2</sup>, В. М. Гончаров<sup>2</sup>,  
А. В. Малинин<sup>2</sup>, В. С. Перельгин<sup>2</sup>, Л. Л. Ступенькова<sup>1</sup>, Н. А. Юрасов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ООО «Саратовский химический завод акриловых полимеров «АКРИПОЛ»

E-mail: bta@acrypol.ru

<sup>2</sup>ФГУП «Научный центр «Сигнал», Москва

E-mail: gvm52005@yandex.ru

<sup>3</sup>Саратовский государственный университет

E-mail: nik-yurasov@yandex.ru

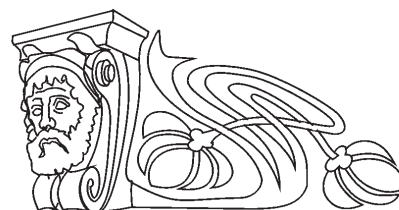
Показана высокая эффективность применения анионного полимерного сорбента в процессах сорбции и десорбции проб водных растворов органических веществ. Рекомендованы оптимальные условия его использования в качестве сорбента проб водных объектов окружающей среды в процессах химико-аналитического контроля экологических загрязнителей природного и антропогенного происхождения.

**Ключевые слова:** анионный полимерный сорбент, водная проба, сорбционные свойства, органические вещества, степень экстракции, масс-спектрометрия.

### Using Polymeric Sorbent Technologies for Ecology Monitoring of Water Objects

T. A. Bayburdov, E. I. Berizovskaya, V. V. Vasin,  
V. M. Goncharov, A. V. Malinin, V. S. Perelygin,  
L. L. Stupen'kova, N. A. Yurasov

In this paper the high efficiency of the anionic absorbent polymer in the sorption and desorption of samples of aqueous solutions of organic substances. Recommended that the optimal conditions for use as a sorbent sample of water objects of the environment in the process of chemical and analytical monitoring of environmental pollutants of natural and anthropogenic origin.



**Key words:** anionic polymeric absorbent, water sample, sorption conditions, organic compounds, coefficient of extraction, mass spectrometry.

### Введение

Химико-аналитический контроль является одной из составляющих экологического мониторинга, относящегося к организационно-правовому обеспечению мероприятий по охране окружающей среды. В задачи экологического мониторинга входят контроль состояния объектов окружающей среды (ООС) и соблюдение требований нормативных документов экологического законодательства по рациональному использованию природных ресурсов.

Так, мониторинг водных объектов представляет собой систему мероприятий по проведению химико-аналитического контроля экологических загрязнителей природного и антропогенного происхождения. Определение таких веществ в следовых количествах требует применения систематического анализа, в основу которого положены



структурно-логические схемы отбора репрезентативной пробы, доставки ее в лабораторию, пробоподготовки и собственно инструментальных методов (методик) измерений и интерпретации результатов. Внедрение в аналитическую практику новейших высокочувствительных систем, таких как высокоэффективная жидкостная и газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием, позволяет использовать сорбционные полимерные композиции для отбора и подготовки жидких проб к анализу [1–9]. Это приводит к уменьшению объема отбираемых проб без потери в чувствительности и специфичности обнаружения.

Одним из известных методов подготовки проб воды к анализу является твердофазная экстракция (ТФЭ), применение которой основано на концентрировании следовых количеств веществ на твердых сорбентах с различной химической структурой. Направление разработки полимерных сорбентов, способных удерживать широкий спектр полярных и неполярных молекул органических веществ, в последние годы получило интенсивное развитие. Перспективным направлением является использование сшитых водопоглощающих акриловых сополимеров, содержащих ионогенные функциональные группы. Такие полимерные сорбенты обладают достаточной механической прочностью, химической и термической стабильностью, а также регулируемы величинами сорбционных свойств [10–11].

Объектом исследования были выбраны модельные водные растворы аналитов: декана, этилбензола, никотинамида с массовой концентрацией 0,001–0,1%.

В настоящей работе исследовали сорбцию проб водных растворов аналитов анионным полимерным сорбентом и десорбцию аналитов экстракцией органическими растворителями.

#### Материалы и методы

В экспериментах использовали образцы порошкообразного анионного водопоглощающего сополимера (ВПП), полученные в лабораторных условиях путем радикальной (со) полимеризации акриламида и акрилата натрия в присутствии N,N'-метилена-бис-акриламида. Лабораторные образцы ВПП отличались величиной равновесной степени поглощения воды [12], которая изменялась в пределах от 13 до 500 г/г. Массовая доля растворимой части в образцах ВПП составляла менее 2%.

Метод определения сорбционной емкости образцов ВПП по отношению к воде основан

на измерении массы водной пробы до и после контакта с полимерным сорбентом. При исследовании сорбционной емкости полимерного сорбента при 40 °С образец ВПП и воду предварительно термостатировали при данной температуре. При исследовании сорбционной емкости полимерного сорбента при минус 20 °С перед смешением порошкообразный образец ВПП предварительно термостатировали при минус 20 °С, а воду – при плюс 3 °С.

Степень насыщения полимерного сорбента водной пробой ( $W$ , %) рассчитывали из соотношения массы пробы водного раствора аналита, сорбированной образцом полимерного сорбента при эксперименте, к сорбционной емкости образца полимерного сорбента по отношению к воде.

Для приготовления модельных водных растворов аналитов использовали реактивы квалификации «чда». Модельные водные растворы этилбензола (либо декана) с массовой концентрацией 0,01–0,001 % готовили путем последовательного разбавления дистиллированной водой спиртового раствора этилбензола (либо декана) с массовой концентрацией 0,5%. Растворы никотинамида с массовой концентрацией 0,01–0,001% готовили путем последовательного разбавления дистиллированной водой водного раствора с массовой концентрацией 0,1%.

Для проведения исследований сорбционных свойств полимерного сорбента в виалы вносили навески образцов порошкообразного анионного ВПП и отмеряли с помощью пипетки заданные объемы дистиллированной воды или модельных водных растворов аналитов с массовой концентрацией 0,1, 0,01 или 0,001%.

Основываясь на литературных данных, для оптимизации параметров экстракции аналитов из полимерного сорбента в качестве экстрагентов были исследованы изопропиловый спирт (ИПС), хлороформ (ХФ) и ацетонитрил (АН).

При исследовании десорбции полимерного сорбента, содержащего аналиты, в виалы с ВПП отмеряли заданные объемы экстрагентов. Через 20–180 мин отбирали пробы полученных экстрактов и проводили измерения содержания в них аналитов с помощью хромато-масс-спектрометрического метода. Количественное определение аналита проводили методом «внешнего стандарта» путем построения градуировочной зависимости по каждому определяемому веществу. Рассчитывали содержание аналитов в экстракте по градуировочным зависимостям детектируемого сигнала ( $S$ ) от



концентрации ( $C$ ) аналитов в водном растворе в диапазоне  $(1-30) \cdot 10^{-5}$  г/см<sup>3</sup>. Степень экстракции ( $K_3$ , %) каждого из аналитов вычисляли по формуле:

$$K_3 = C_2 \cdot 100 / C_1,$$

где  $C_2$  – массовая доля экстрагированного аналита, %;  $C_1$  – массовая доля аналита в пробе его модельного водного раствора, %.

Качественный и количественный анализ исследуемых аналитов проводили с использованием газового хромато-масс-спектрометра (ГХ-МС) Finnigan, модель Trace GC-DSQ и высокоэффективного жидкостного хроматографа (ВЭЖХ) «Стайер UV».

Параметры метода ГХ-МС при измерении аналитов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры метода ГХ-МС при измерении аналитов

Подвижная фаза	Гелий 99,995 %-ной чистоты
Скорость потока подвижной фазы	1,0 мл/мин
Хроматографическая колонка	TR-5MS, 30 м × 0,32 мм × 0,25 мкм
Температурная программа	7 мин при 60 °С. Нагрев 5 °С/мин до 120°С и термостатирование в течение 1 мин, затем нагрев 20 °С/мин до 200°С и термостатирование в течение 7 мин
Объем пробы	1 мкл

В качестве примера на рис. 1 представлены хроматограмма и масс-спектр декана, полученные при анализе стандартного образца.

Определяли содержание аналитов в анализируемой пробе экстракта с помощью калибровочных кривых (рис. 2 – представлен для декана) и рассчитывали степень экстракции.

лизируемой пробе экстракта с помощью калибровочных кривых (рис. 2 – представлен для декана) и рассчитывали степень экстракции.

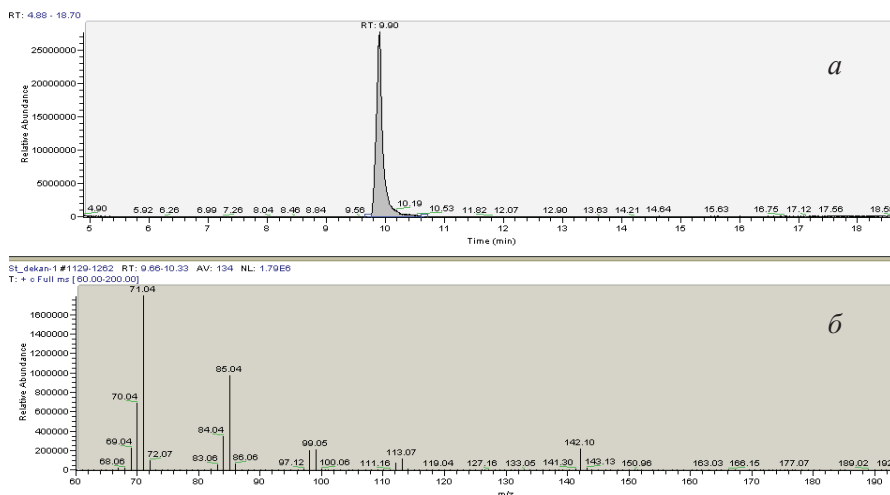


Рис. 1. Хроматограмма (а) и масс-спектр (б), полученные при анализе стандартного образца декана методом ГХ-МС. Концентрация декана  $2,75 \cdot 10^{-4}$  г/см<sup>3</sup>, время удерживания 9,90 мин

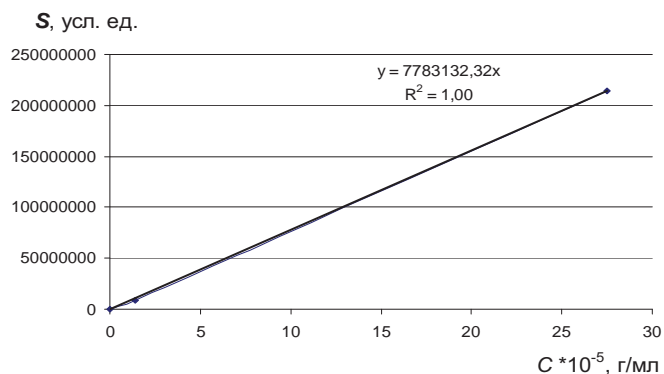


Рис. 2. Градуировочная зависимость детектируемого сигнала ( $S$ ) от концентрации ( $C$ ) декана



Параметры метода ВЭЖХ при измерении аналитов приведены в табл. 2.

На рис. 3 представлена хроматограмма,

полученная при анализе водного раствора стандартного образца НА с массовой концентрацией  $6,4 \cdot 10^{-6}$  г/мл.

Таблица 2

Параметры метода ВЭЖХ при измерении аналитов

Подвижная фаза	Фосфорная кислота ( $H_3PO_4$ , 0,6 %) – ацетонитрил (HPLC-grade) в соотношении 99:1 (по объему)
Скорость потока подвижной фазы	800 мкл/мин
Хроматографическая колонка	Phenomenex Luna C18(2), 100 А, длина 150 мм, диаметр 4,6 мм, зернение 5 мкм
Детектирование	Спектрофотометрическое (длина волны 261 нм, УФ-лампа)
Объем пробы	50 мкл

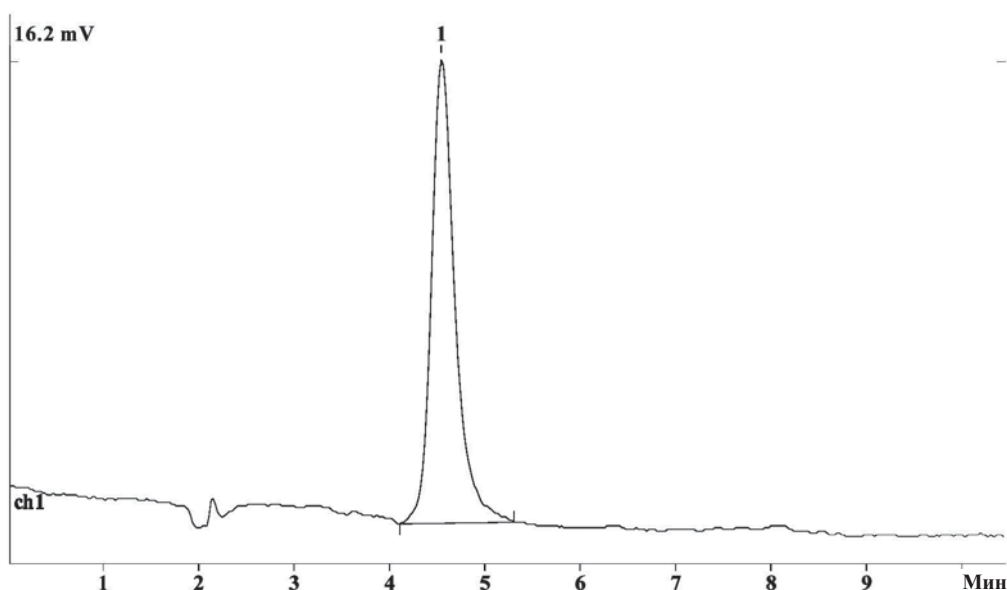


Рис. 3. Хроматограмма стандартного образца водного раствора никотинамида

С помощью калибровочной кривой (рис. 4) определяли содержание НА в анализируемой

пробе экстракта и рассчитывали степень экстракции.

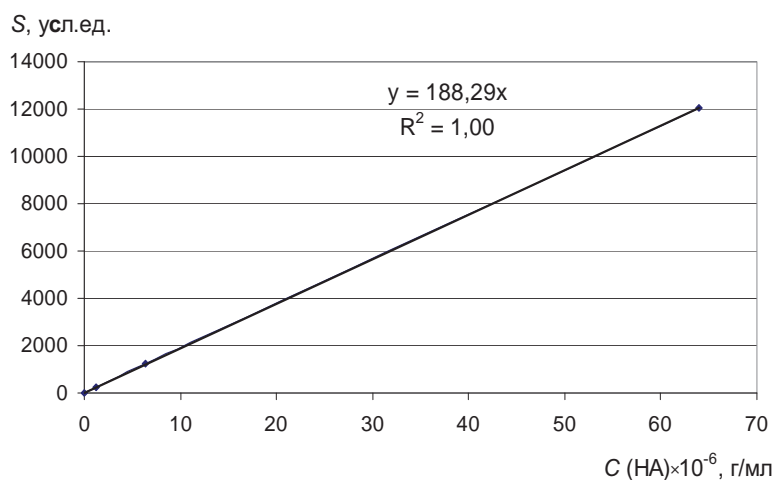


Рис. 4. Градуировочная зависимость детектируемого сигнала ( $S$ ) от концентрации ( $C$ ) никотинамида



**Результаты и их обсуждение**

**Исследования сорбционных свойств образцов анионного ВПП.** Согласно результатам исследований, приведенным в табл. 3, сорбционная емкость образцов анионного полимерного абсорбента по отношению к воде практически

не зависит от температуры эксперимента и возрастает с увеличением равновесной степени поглощения и массы образца ВПП, используемой в эксперименте. При увеличении массы ВПП в 4 раза сорбционная емкость полимерного абсорбента по отношению к воде возрастает в 2 раза.

Таблица 3

**Изменение сорбционной емкости образцов анионного ВВП в зависимости от условий отбора водной пробы**

Индекс образца полимерного абсорбента	Равновесная степень поглощения воды ВПП, г/г	Масса полимерного абсорбента, г	Сорбционная емкость образца ВВП по отношению к воде, г	
			температура эксперимента	
			плюс 3 °С – минус 20 °С	плюс 40 °С
1	500	0,1	6,5	7,4
		0,05	5,7	6,0
		0,02	2,9	3,0
2	130	0,1	–	2,2
		0,05	–	1,7
		0,025	–	1,2
3	70	0,02	1,0	1,2
4	50	0,025	0,8	1,2
5	35	0,02	0,5	1,0
6	22	0,02	0,3	0,3
7	13	0,02	0,1	0,2

В табл. 4 представлены экспериментальные данные, полученные при исследовании скорости поглощения водной пробы образцами ВПП, обладающими различными величинами равновесной

степени водопоглощения в зависимости от массы полимерного абсорбента.

Таблица 4

**Зависимость скорости поглощения воды от массы ВПП**

Индекс образца ВПП	Равновесная степень поглощения воды ВПП, г/г	Скорость водопоглощения, г/мин			
		масса образца ВПП, г			
		0,1	0,5	1,0	1,2
1	500	3,5	12	21	–
2	130	3,5	–	–	–
3	70	1,8	4,0	8,5	8,7
5	35	1,6	–	–	–
6	22	1,0	–	–	–
7	13	1,0	–	–	–

Анализ данных табл. 4 показывает, что при увеличении массы образцов ВПП в 10 раз, количество поглощенной воды в течение 10 мин увеличивается в 7–8 раз.

С уменьшением размера полимерных частиц скорость поглощения водной пробы возрастает незначительно. Результаты проведенных исследований сорбционных свойств образцов анионного ВПП свидетельствуют о возможности их использования в качестве полимерных сорбентов для отбора и временного хранения водных проб. Для отбора водной пробы в объеме 1 см<sup>3</sup> в течение 1 мин достаточно использовать порошкообразные об-

разцы анионного ВПП, обладающие равновесной степенью поглощения воды менее 70 г/г и имеющие размер полимерных частиц менее 1 мм.

**Определение оптимальных условий экстракции аналитов.** Предварительно были проведены исследования изменения сорбционных свойств образца анионного ВПП по отношению к различным органическим растворителям. На рис. 5 представлены зависимости изменения степени водопоглощения образца анионного ВПП по отношению к органическим растворителям в двухкомпонентной системе органический растворитель–вода.

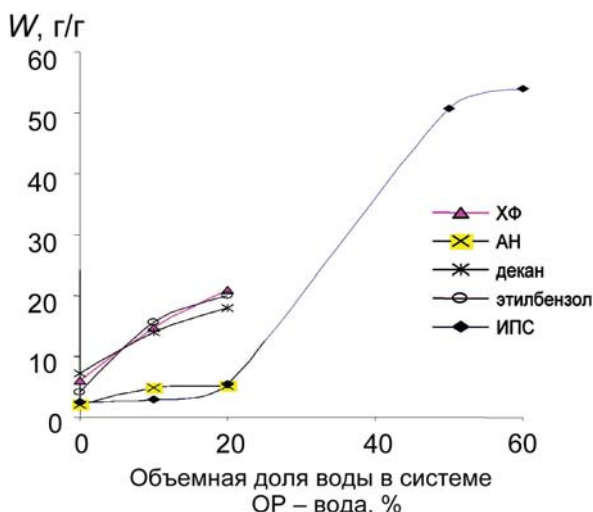


Рис. 5. Изменение степени поглощения ( $W$ , г/г) анионного полимерного сорбента в зависимости от объемной доли воды в системе органический растворитель – вода (ОР – вода). ХФ – хлороформ, АН – ацетонитрил, ИПС – изопропиловый спирт

Кривые рис. 5 показывают, что образец анионного ВПП сорбирует ХФ, АН, декан, этилбензол и ИПС в пределах от 2 до 6 г на 1 г полимерного сорбента. Степень поглощения образца анионного ВПП возрастает пропорционально увеличению объемной доли воды в двухкомпонентных системах ХФ–вода и декан–вода. ХФ и декан практически не оказывают влияния на сорбционные свойства ВПП по отношению к

воде. В двухкомпонентных системах ИПС–вода и АН–вода степень поглощения анионного ВПП изменяется незначительно в интервале значений объемной доли воды в ИПС–вода (или АН–вода) от 0,1 до 0,3 %. Затем с увеличением объемной доли воды степень поглощения ВПП начинает возрастать и достигает максимального значения для системы, содержащей равные объемные доли ИПС (АН) и воды. Следовательно, ИПС и АН экстрагируют из полимерного сорбента воду, и полная десорбция воды из полимерного сорбента возможна при условии объемного соотношения:

$$V_{\text{вода}} / V_{\text{ипс}} \leq 0,35,$$

где  $V_{\text{вода}}$  – объемная доля воды, %;  $V_{\text{ипс}}$  – объемная доля изопропилового спирта, %.

В присутствии ХФ сорбционные свойства образца анионного ВПП по отношению к воде не изменяются. При этом наблюдается разделение смеси на два слоя: нижний слой – хлороформа, верхний слой – набухших в воде полимерных частиц ВПП.

В присутствии ИПС при условии  $V_{\text{вода}} / V_{\text{ипс}} \leq 0,35$  наблюдается образование осадка «обезвоженного» ВПП и надосадочной жидкости, содержащей ИПС и воду.

На рис. 6 представлены кинетические кривые изменения степени экстракции декана ИПС и смесью ИПС–ХФ из полимерного сорбента, содержащего пробу модельного водного раствора декана. Концентрация водного раствора декана – 0,01%, степень насыщения полимерного сорбента водной пробой – 20%

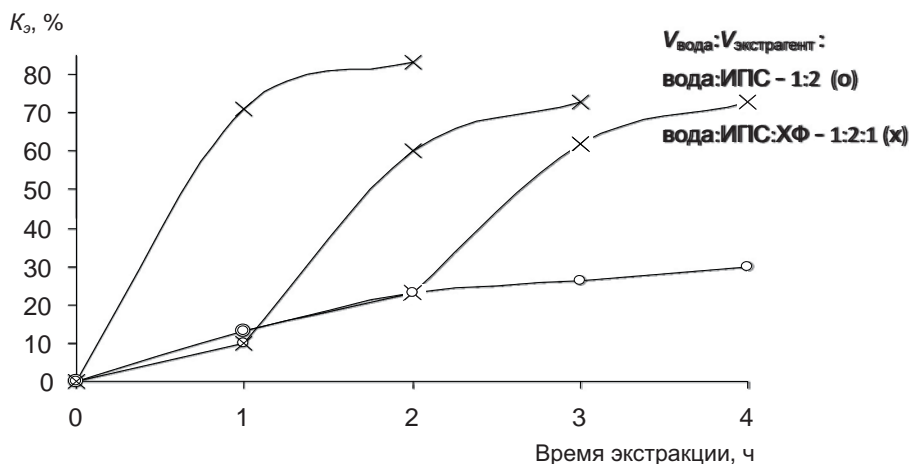


Рис. 6. Кинетические кривые изменения степени экстракции ( $K_3$ , %) декана ИПС и смесью ИПС–ХФ из полимерного сорбента, содержащего пробу модельного водного раствора декана. Концентрация водного раствора декана – 0,01%, степень насыщения полимерного сорбента водной пробой – 20%

Кинетические кривые рис. 6 показывают, что ХФ обладает высокими сорбционными свойствами по отношению к декану. Дополнительное введение ХФ увеличивает скорость

и степень экстракции декана. Так, в течение 2 ч степень экстракции декана ИПС достигает 26%. При введении через 1 или 2 ч экстракции в систему вода–ИПС дополнительно ХФ степень



экстракции декана возрастает и достигает за 3–4 ч экстракции 62%. В двухкомпонентной системе ИПС–ХФ в течение 2 ч степень экстракции декана достигает 80%.

Экстракция декана ИПС в значительной степени зависит от степени насыщения полимерного абсорбента пробой его модельного водного раствора. Кривые рис. 7 показывают, что степень экстракции декана ИПС возрастает с увеличением объема пробы модельного водного раствора ( $V_{вп}$ ) декана в полимерном абсорбенте. Максимальное значение степени экстракции получено при извлечении декана ИПС из образца анионного ВПП с высокой степенью насыщения пробой его модельного водного раствора ( $W = 100\%$ ).

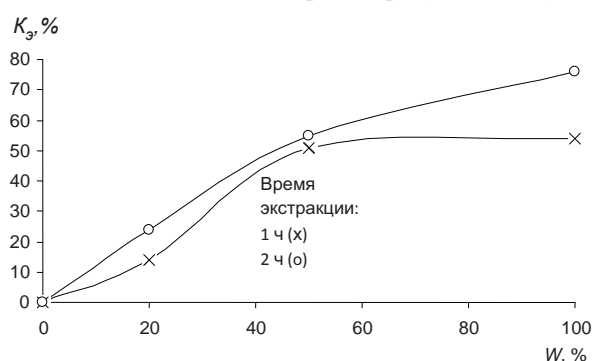


Рис. 7. Влияние степени насыщения полимерного абсорбента ( $W$ , %) пробой водного раствора на экстракцию декана ИПС. Концентрация водного раствора декана 0,01%,  $V_{вп}/V_{ипс} = 1:2$ ;  $K_3$  – степень экстракции декана

На рис. 8 представлены графические зависимости  $K_3$  декана ИПС от  $V_{вп}/V_{ипс}$ . Степень насыщения полимерного абсорбента пробой модельного водного раствора декана в данной серии экспериментов составляла 100%.

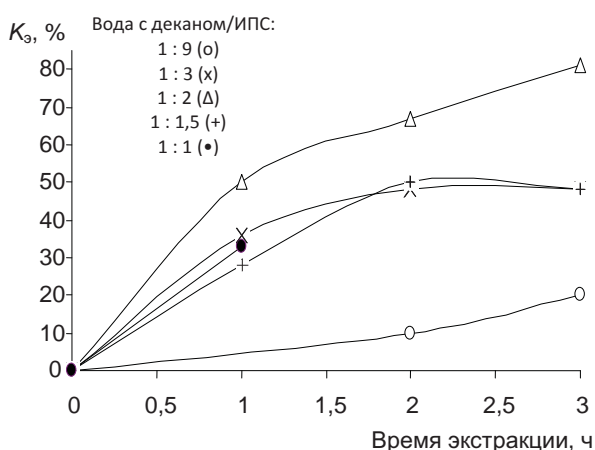


Рис. 8. Кинетические кривые изменения степени экстракции ( $K_3$ , %) декана ИПС из полимерного абсорбента с пробой модельного водного раствора при различном объемном соотношении воды с деканом к ИПС. Концентрация водного раствора декана 0,01 %, степень насыщения полимерного абсорбента в экспериментах – 100%

Экспериментальные исследования показывают, что наибольшие величины степени экстракции достигаются при объемном соотношении пробы водного раствора декана к ИПС, равном 1:2.

Следовательно, оптимальными условиями экстракции декана являются: 100 %-ная степень насыщения полимерного абсорбента пробой его модельного водного раствора в эксперименте; объемное соотношение воды с деканом к ИПС соответствующее 1:2; время экстракции (ИПС или ИПС–ХФ) – 2 часа.

Аналогичные результаты были получены при исследовании экстракции этилбензола из образцов анионного ВПП с пробами его модельных водных растворов. При хранении полимерных абсорбентов, содержащих пробы водных растворов этилбензола, в течение 27 суток происходило значительное уменьшение  $K_3$  этилбензола. Следовательно, необходимо регламентировать срок хранения полимерных абсорбентов с водными пробами арилсодержащих органических загрязнителей.

Для повышения степени экстракции этилбензола из ВПП с пробами его модельных водных растворов проведена экстракция аналита ИПС с последующей экстракцией ХФ. Как следует из данных табл. 5, в результате дополнительной экстракции этилбензола ХФ  $K_3$  увеличивается на 5–19%. Таким образом, суммарная экстракция этилбензола ИПС и ХФ при заданных условиях достигает 27–63%.

Таблица 5

**Изменение степени экстракции этилбензола при извлечении смесью ИПС и ХФ из полимерных абсорбентов в зависимости от условий экстракции**

Концентрация водного раствора этилбензола, %	$V_{вп}/V_{ипс}$	$K_3$ , %		Метод измерения
		при последовательной экстракции		
		ИПС	хлороформ	
0,001	1,0	10	19	ГХ-МС
0,001	0,5	48	15	ВЭЖХ ГХ-МС
0,01	1,0	19	8	ГХ-МС
0,01	1,0	41	16	ВЭЖХ ГХ-МС
0,1	1,0	33	5	ГХ-МС

Примечание. Степень насыщения полимерного абсорбента пробой модельного водного раствора аналита – 33%.

По результатам предварительных экспериментов установлено, что никотинамид не растворим в АН и ХФ. Из данных, представленных в табл. 6, следует, что ИПС является оптимальным



экстрагентом никотинамида из полимерного абсорбента с пробами его модельных водных растворов.

Таблица 6

**Изменение степени экстракции никотинамида ИПС из полимерного абсорбента в зависимости от условий экстракции**

Масса ВПП, г	Степень насыщения водной пробой полимерного абсорбента, %	$V_{вп}/V_{ипс}$	Кэ, %		
			Концентрация водного раствора никотинамида, %		
			0,001	0,01	0,1
0,3	33,0	1,0	99,0	–	–
0,3	33,0	1,0	–	81,0	–
0,3	33,0	1,0	–	–	98,0
0,3	7,0	0,2	–	–	82,0
0,1	6,0	0,15	–	–	62,0

Степень экстракции никотинамида ИПС понижается с уменьшением степени насыщения полимерного абсорбента в эксперименте. С целью повышения значений степени экстракции никотинамида целесообразно дополнительное введение воды в ВПП с пробой модельного водного раствора аналита для повышения степени насыщения полимерного абсорбента, и последующего проведения экстракции никотинамида.

### Заключение

Таким образом, полученные результаты экспериментальных исследований свидетельствуют об эффективности использования предлагаемого сорбционного способа отбора жидких проб с последующей десорбцией экологических загрязнителей из проб воды. Такой подход может быть положен в основу разработки методик измерений для оценки химического фактора при проведении экологического мониторинга водных объектов.

Полученные данные позволяют сделать важные в практическом отношении выводы. Анионный полимерный абсорбент является эффективным сорбентом водных проб аналитов, обладающим высокой скоростью сорбции при различных температурах. Оптимальными условиями экстракции аналитов являются высокая степень насыщения водной пробой полимерного абсорбента и объемное соотношение водной пробы к экстрагенту, равное 1:2.

Установлено, что анионный полимерный абсорбент обладает требуемыми сорбционными свойствами по отношению к водным пробам при заданных условиях отбора пробы водных растворов аналитов.

Определены условия, при которых степень экстракции аналитов из полимерных абсорбентов, содержащих их водные растворы, составляет более 60 %.

Авторы выражают признательность доктору химических наук, профессору кафедры полимеров Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского А. Б. Шиповской за оказание помощи в организации и проведении исследований, а также Центру коллективного пользования СГУ за предоставленное оборудование для проведения хроматографического анализа.

### Список литературы

1. Киселев А. В. Межмолекулярные взаимодействия в адсорбции и хроматографии : учеб. пособие для хим., биол. и хим.-технол. спец. вузов. М. : Высш. шк., 1986. 360 с.
2. Другов Ю. С., Родин А. А. Мониторинг органических загрязнителей природной среды 500 методик (Практическое руководство). М. : Бином. Лаб. знаний, 2013.
3. Другов Ю. С., Родин А. А. Пробоподготовка в экологическом анализе : практ. рук.-во. М. : Бином. Лаб. знаний, 2009. 855 с.
4. Макаров Е. Д. Проточная твердофазная микроэкстракция как новый способ сорбционной пробоподготовки в газовой хроматографии : автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2004. 22 с.
5. Миронов А. А. Совершенствование и автоматизация подготовки проб к химическому анализу при чрезвычайных ситуациях : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 16 с.
6. Даванков В. А., Сычев К. С., Ильин М. М. Применение сверхсшитых полистирольных сорбентов в высокоэффективной жидкостной хроматографии // Журн. Заводская лаборатория. 2003. № 4. С. 3–6.
7. Михеева А. Ю. Унификация пробоподготовки на основе колоночной хроматографии при определении стойких органических загрязнителей : автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2009. 23 с.
8. Денисова М. В. Нейтральные полимерные сорбенты для извлечения малополярных органических веществ : автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 1990. 16 с.
9. Оскотская Э. Р. Полимерные хелатообразующие сорбенты на полистирольной матрице в анализе природных и технических объектов : автореф. дис. ... д-ра хим. наук. М., 2006. 33 с.
10. Абрамова Л. И., Байбурдов Т. А., Григорян Э. П., Зильберман Е. Н., Мягченков В. А. Полиакриламид / под ред. В. Ф. Куренкова. М. : Химия, 1992. 192 с.
11. Сулейменов И. Э., Будтова Т. В., Бектуров Е. А. Кинетика набухания сильно набухающих гидрогелей в условиях сосуществования двух фаз // Высокомолек. соед. Сер. А. 2002. Т. 44, № 9. С. 1571–1577.
12. ТУ 2216-016-55373366-2007 «Полимер акриламида АК 639 водопоглощающий». Саратов, 2008.