

## ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ТОКСИЧНЫХ МИКРОПРИМЕСЕЙ, ВЫДЕЛЯЕМЫХ ИЗ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АБС-ПЛАСТИКА

О.А. Зубкова, Т.С. Шепеленко, Д.Ю. Саркисов, Л.В. Малетина, Ю.С. Саркисов

Ольга Александровна Зубкова (ORCID 0000-0003-3621-3836)\*, Татьяна Станиславовна Шепеленко (ORCID 0000-0001-7967-6430), Дмитрий Юрьевич Саркисов (ORCID 0000-0003-3657-2273), Лариса Васильевна Малетина (ORCID 0000-0002-8188-2062), Юрий Сергеевич Саркисов (ORCID 0000-0001-9439-1994)

Томский государственный архитектурно-строительный университет, пл. Соляная 2, Томск, Российская Федерация, 634003

E-mail: zubkova0506@mail.ru\*, shepta72@mail.ru, milandd@yandex.ru, lmaletina@mail.ru, sarkisov@tsuab.ru

*Настоящая работа посвящена изучению и созданию эффективных хроматографических колонок-концентраторов на основе стирола-дивинилбензола для контроля загрязняющих веществ. Нам представлялось, что наиболее эффективным путем достижения поставленной цели является модифицирование исходного сорбента, подбор и прививка к поверхности специфических мономеров, увеличение сорбционной емкости для анализируемых соединений, повышение хроматографической полярности и, как следствие, расширение диапазона аналитических возможностей создаваемых хроматографических колонок-концентраторов. Модификация сорбента в данной работе проводилась несколькими способами. Так сорбент, выбранный в качестве эталона для сравнения результатов экспериментальных данных, подвергался облучению с предварительно нанесенной на его поверхность тонкой пленки мономера, либо в насыщенных или разреженных его парах. Особенностью предлагаемой нами технологии является то, что сорбент подвергается различным видам облучений в среде полимерных гидроксилсодержащего и карбоксилсодержащего соединений. В работе показано, что варьирование состава и способа модифицирования сорбентов позволило расширить диапазон определяемых аналитических характеристик загрязняющих веществ и повысить эффективность и работоспособность разрабатываемых технических устройств. Как показали проведенные эксперименты, из спектра предлагаемых нами колонок-концентраторов наиболее эффективными являются хроматографические устройства на основе карбоксилсодержащего мономера, по сравнению с аналогичными устройствами на основе гидроксилсодержащего мономера. Совершенствование контроля качества эксплуатационных характеристик полимерных строительных материалов различного технического назначения, среди которых наибольшее распространение получили изделия на основе АБС-пластика, позволяет своевременно определить вид загрязнений, разработать методы их устранения, расширить области их инженерного применения и улучшить качество окружающей среды.*

**Ключевые слова:** хроматографическое устройство, сорбент, колонка-концентратор, загрязняющее вещество, мономер, строительный материал, полимер, АБС-пластик, коэффициент полярности Роршайдера, сорбционная емкость, идентификация, эффективность

## GAS CHROMATOGRAPHIC CONTROL OF TOXIC MICRO-IMPURITIES RELEASED FROM BUILDING MATERIALS BASED ON ABS PLASTIC

O.A. Zubkova, T.S. Shepelenko, D.Yu. Sarkisov, L.V. Maletina, Yu.S. Sarkisov

Olga A. Zubkova (ORCID 0000-0003-3621-3836)\*, Tatiana S. Shepelenko (ORCID 0000-0001-7967-6430), Dmitry Y. Sarkisov (ORCID 0000-0003-3657-2273), Larisa V. Maletina (ORCID 0000-0002-8188-2062), Yuri S. Sarkisov (ORCID 0000-0001-9439-1994)

Tomsk State University of Architecture and Building, Solyanaya sq. 2, Tomsk, 634003, Russia

E-mail: zubkova0506@mail.ru\*, shepta72@mail.ru, milandd@yandex.ru, lmaletina@mail.ru, sarkisov@tsuab.ru

*This work is devoted to the study and development of efficient chromatographic concentrator columns based on styrene-divinylbenzene for the control of pollutants. It seemed to us that the most effective way to achieve this goal is to modify the initial sorbent, select and graft specific monomers to the surface, increase the sorption capacity for the analyzed compounds, increase the chromatographic polarity and, as a result, expand the range of analytical capabilities of the created chromatographic concentrator columns. The sorbent was modified in this work in several ways. Thus, the sorbent chosen as a standard for comparing the results of experimental data was irradiated with a thin monomer film preliminarily deposited on its surface, or in its saturated or rarefied vapors. A feature of our proposed technology is that the sorbent is subjected to various types of irradiation in the environment of polymeric hydroxyl-containing and carboxyl-containing compounds. The paper shows that varying the composition and method of modifying sorbents made it possible to expand the range of determined analytical characteristics of pollutants and increase the efficiency and performance of the developed technical devices. As shown by the experiments, from the range of concentrator columns we offer, the most effective are chromatographic devices based on a carboxyl-containing monomer compared to similar devices based on a hydroxyl-containing monomer. Improving the quality control of the operational characteristics of polymer building materials for various technical purposes, among which products based on ABS plastic are most widely used, makes it possible to determine the type of pollution in a timely manner, develop methods for their elimination, expand their engineering applications and improve the quality of the environment.*

**Key words:** chromatographic device, sorbent, concentrator column, contaminant, monomer, building material, polymer, ABS plastic, Rorschneider polarity coefficient, sorption capacity, identification, efficiency

**Для цитирования:**

Зубкова О.А., Шепеленко Т.С., Саркисов Д.Ю., Малетина Л.В., Саркисов Ю.С. Газохроматографический контроль токсичных микропримесей, выделяемых из строительных материалов на основе АБС-пластика. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 8. С. 15–21. DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6632.

**For citation:**

Zubkova O.A., Shepelenko T.S., Sarkisov D.Yu., Maletina L.V., Sarkisov Yu.S. Gas chromatographic control of toxic micro-impurities released from building materials based on ABS plastic. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2022. V. 65. N 8. P. 15–21. DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6632.

## ВВЕДЕНИЕ

Создание и эксплуатация новых строительных материалов невозможны без учета их влияния на состояние окружающей среды. Это относится не только к био- и техносферам, но и ко многим промежуточным состояниям их взаимодействия.

В настоящее время требования к свойствам и поведению современных материалов должны отвечать так называемым «зеленым» технологиям. Парадигма «зеленого» строительства становится все более распространенной как в нашей стране, так и за рубежом [1-4]. Однако следует отметить, что развитие современных строительных технологий как фактора преобразования среды обитания человека немислимо без соблюдения семи фундаментальных принципов. Это означает, что любой создаваемый строительный материал должен отвечать следующим критериям: технологическая доступность и эффективность; энерго-, ресурсосбережение; экологическая безопасность, биосовместимость

и природная сбалансированность; экономическая целесообразность; этическая приемлемость применения материалов и технологий на практике; эстетическая выразительность и социальная направленность [5, 6]. Принцип "не навреди" отныне является не только чисто медицинским термином по своему смыслу и содержанию, но и важнейшим требованием к созданию новых перспективных строительных материалов и реализации любой промышленной технологии их изготовления.

Таким образом, экологичность строительного материала, наряду с основными его конструктивно-техническими характеристиками, такими как прочность, морозостойкость, водостойкость, теплопроводность и другие, является обязательным критерием возможности его применения на практике. В последние годы широкое распространение получили материалы различного технического назначения на основе полимеров. Однако в процессе своей эксплуатации под воздействием переменных факторов окружающей среды, подвер-

женных внешним физическим, химическим, биологическим и комбинированным воздействиям, они способны выделять в окружающую среду токсичные органические вещества и микропримеси в газообразном состоянии. Их негативное воздействие может представлять серьезную опасность для человека, что требует разработки и организации эффективных методов контроля качества пол

и Среди них наиболее эффективными являются хроматографические методы анализа [10-14].

е Целью настоящей работы является создание эффективных хроматографических колонок-концентраторов на основе модифицированного стирола-дивинилбензола.

#### х МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

с Известно, что для определения следовых количеств веществ в воздухе и воде широко используются концентрационные колонки с пористыми сорбентами [15-18]. Однако эти устройства имеют ряд недостатков, среди которых наиболее существенными являются сравнительно низкая сорбционная емкость и низкая термостойкость сорбентов. Ранее нами было показано [19-21], что колонка-концентратор, выполненная в виде цилиндрической трубки, заполненная сополимером стирола с дивинилбензолом, обработанным ионизирующим излучением при различных температурах, является весьма перспективной и может служить основой для дальнейшего усовершенствования хроматографических устройств.

т Подобная методика, методы исследования и аппаратура применялись для создания концентрационных колонок с вышеуказанным сополимером, отличающийся тем, что использовался в одном случае гидроксилсодержащий, а в другом случае – карбоксилсодержащий мономер. Необходимость использования различных мономеров для концентрационных колонок вызвана, во-первых, необходимостью сравнения результатов экспериментальных исследований двумя независимыми способами и, во-вторых, расширением арсенала анализируемых загрязняющих веществ и повышение предела их обнаружения.

] На наш взгляд, наиболее быстрым и эффективным способом решения этой проблемы, является направленное модифицирование свойств используемых сорбентов. Модификация сорбента в данной работе проводилась несколькими способами [22]. Например, сорбент, выбранный в качестве эталона и принятый в качестве контроля для сравнения результатов экспериментальных данных,

подвергался облучению в слое жидкого мономера или в растворе мономера с концентрацией 0,1...95% по отношению к массе неполимерного растворителя, например, ацетона или изопропанола. Кроме этого, сополимер может быть облучен с нанесенной на его поверхность тонкой пленкой мономера в количестве 1...70% по весу сорбента в парах мономера (насыщенных или разреженных).

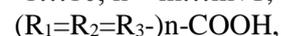
Особенностью предлагаемой нами технологии является то, что сорбент подвергается облучению в среде излучающего полимерного гидроксилсодержащего и карбоксилсодержащего мономеров. Их общая структурная формула выглядит следующим образом:



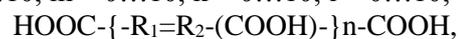
где:  $R_1 : =CH-(CH_2)_m-CH_3, =CH-C_6H_4-OH;$   
 $R_1 = R_2; R_2 : =CH-(CH_2)_k - ;$   
 $n = 1...20; m = 0...10; k = 1...10;$



где:  $R_1: CH_3, -(CH_2)_m-C\equiv, HO-C_6H_4-C\equiv, R_1 = R_2;$   
 $R_2: -(CH_2)_k;$   
 $n = 1...20; m = 1...10; k = m...m+1;$



где:  $R_1: CH_3, -(CH_2)_m-CH=, -C_6H_4-;$   
 $R_2: =CH-(CH_2)_k-CH=; R_3: =CH-(CH_2)_l-;$   
 $n = 1...10; m = 0...10; k = 0...10; l = 0...10;$



где:  $R_1: -(CH_2)_m-CH=; R_2: =CH; -(CH_2)_k;$   
 $n = 1...20; m = 0...10; k = 1...10.$

Модификация сорбентов и технология получения мономеров осуществлялась путем подбора состава мономера и вида ионизирующего излучения. Эти исследования представлены в виде четырех серий экспериментов, указанных в табл. 1, 2. В качестве мономеров использовались: *n*-фенилбутендиол-1,4, бутен-2-диол-1,4, пропенол + фенилэтендиол-1,4, фенилбутендиол-1,4, пропенная кислота, фенилэтендиоловая кислота, *n*-аминофенилбутеновая кислота, бутендиоловая кислота. В качестве ионизирующих излучений использовалось воздействие 600 Гр (первая серия), импульсные электронные пучки при температуре -23 °С до поглощенной дозы 50 Гр (вторая серия),  $Co^{60}$  при температурах 10-25 °С до поглощенной дозы 100 Гр (третья серия), рентгеновское излучение при температуре -50 °С до поглощенной дозы 400 Гр (четвертая серия).

Для всех разработанных концентрационных колонок были определены коэффициенты хроматографической полярности Роршнайдера (табл. 1), значение сорбционной емкости (табл. 2). Для оценки полярности в колонках-концентраторах были определены индексы удерживания Ковача

для соединений из серии Роршнайдера (бензол, этанол, метилэтилкетон, нитрометан, пиридин). Индексы удержания Ковача были рассчитаны с использованием следующего уравнения:

$$J = 100 \cdot \left( \frac{\lg t_{RX} - \lg t_{RZ}}{\lg t_{RZ+1} - \lg t_{RZ}} \right) + 100Z \quad (1)$$

где  $t_{RX}$  – исправленное время удерживания соединения ряда Роршнайдера на обработанном излучением сополимере стирола-дивинилбензола;  $t_{RZ}$  – исправленное время удерживания  $n$ -алкана с числом атомов  $Z$ ;  $t_{RZ+1}$  – исправленное время удерживания  $n$ -алкана с числом атомов  $Z+1$ .

Коэффициенты полярности Роршнайдера определяли как разность индексов удерживания Ковача вещества на обработанном излучением сополимере стирола-дивинилбензола и на колонке с неполярным Карбопаком В:

$$\Delta R = \frac{(J_X - J_B)}{100} \quad (2)$$

где:  $\Delta R$  – коэффициент полярности Роршнайдера;  $J_X$  – индекс удерживания Ковача на обработанном излучением сополимере стирола-дивинилбензола;  $J_B$  – индекс удерживания Ковача на колонке с неполярным Карбопаком В.

Тест-вещества характеризуют различные варианты специфических межмолекулярных взаимодействий сорбент/сорбат: бензол ( $\Delta R_x$ ) –  $\pi$ - $\pi$  взаимодействие, этанол ( $\Delta R_y$ ) – образование водородной связи с электроно-донорными функциональными группами сорбента, метилэтилкетон ( $\Delta R_z$ ) – ориентационное взаимодействие, донорно-акцепторное

комплексообразование, нитрометан ( $\Delta R_u$ ) – ориентационное, протонно-акцепторное взаимодействие, пиридин ( $\Delta R_s$ ) – образование водородной связи с электронно-акцепторными группами сорбата. Цифровые значения коэффициентов  $\Delta R_{x, y, z, u, s}$  – характеризуют силу таких межмолекулярных взаимодействий,  $\Sigma \Delta R$  – общую полярность сорбента.

Сорбционную емкость колонки-концентрактора  $Vg^{20}$  по веществам (табл. 2) определяли экстраполяцией линейного участка диаграммы удерживания вещества  $\lg Vg^{20} = f(1/T)$  к температуре концентрирования. Термодесорбцию сконцентрированных веществ в примерах проводили при температурах 280-300 °С.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из табл. 1, коэффициент полярности Роршнайдера носит полиэкстремальный характер и в четвертом случае достигает своего максимального значения, равного 16,79. Это позволяет сделать вывод об оптимальном режиме модификации мономера и достижении максимальной эффективности хроматографической колонки-концентрактора. Аналогичная зависимость характерна и для карбоксилсодержащего мономера. Максимальная общая полярность достигается также в четвертом случае и равна 17,78.

Как видно из табл. 2, для всех анализируемых веществ максимальная сорбционная емкость зарегистрирована во втором случае с использованием карбоксилсодержащего мономера для сероуглерода. А для гидроксилсодержащего мономера максимальное значение соответствует хлороформу.

Таблица 1

Коэффициенты полярности Роршнайдера  
Table 1. Rorschneider polarity coefficients

Мономеры	Коэффициенты полярности Роршнайдера $\Delta R$ , при 150 °С					Общая полярность $\Sigma \Delta R$
	Бензол X	Этанол Y	Метил-этил-кетон Z	Нитро-метан U	Пиридин S	
Контроль	1,57	3,21	2,27	3,16	3,65	13,86
1	1,65	3,39	3,33	3,99	3,95	16,31
1a	1,78	3,79	3,63	3,99	3,85	17,04
2	1,72	3,55	3,19	3,48	3,81	15,75
2a	1,82	3,85	3,69	3,98	3,87	17,21
3	1,83	3,96	3,50	3,79	3,69	16,77
3a	1,80	3,98	3,70	3,99	3,89	17,36
4	1,75	3,87	3,66	3,79	3,72	16,79
4a	1,85	3,97	3,75	4,09	4,12	17,78

Примечание: 1.  $n$  – фенилбутендиол-1,4, 1a.  $n$  – аминифенилбутеновая кислота

2. бутен-2-диол-1,4, 2a. бутендиовая кислота

3. пропенол + фенилэтендиол-1,4, 3a. пропеновая +  $n$  - аминифенилбутеновая кислота

4. фенилбутендиол-1,4, 4a. фенилэтендиовая кислота.

Note: 1.  $p$  – phenylbutenediol-1,4, 1a.  $p$  - aminophenylbutenoic acid

2. butene-2-diol-1,4, 2a. butenedioic acid

3. propenol + phenylethenediol-1,4, 3a. propenoic +  $p$ -aminophenylbutenoic acid

4. phenylbutenediol-1,4, 4a. phenylethenedioc acid

Таблица 2

Сорбционная емкость колонки-концентратора  
Table 2. Sorption capacity of the concentrator column

Мономеры	Сорбционная емкость колонки-концентратора $V_g^{20}$ , л/г										
	Анализируемые вещества										
	Метанол	Формальдегид	Ацетон	Бензол	Фенол	Толуол	Сероуглерод	Хлороформ	Акрилонитрил	Ксилол	Стирол
Контроль	69	65	29	95	316	316	25	25	59	54	89
1	105	122	156	97	395	-	-	310	135	110	172
1a	111	125	136	105	-	396	392	-	162	120	192
2	98	112	138	99	362	-	-	479	131	135	167
2a	108	122	128	109	-	392	479	-	139	137	197
3	112	97	120	95	381	-	-	212	136	113	180
3a	123	117	124	115	-	391	412	-	153	133	193
4	99	110	139	101	358	-	-	263	105	130	184
4a	109	110	130	121	-	398	463	-	155	139	198

Примечание: 1. *para* – фенилбутендиол-1,4, 1a. *para* – аминифенилбутеновая кислота

2. бутен-2-диол-1,4, 2a. бутендиовая кислота

3. пропенол + фенилэтендиол-1,4, 3a. пропеновая + *n* - аминифенилбутеновая кислота

4. фенилбутендиол-1,4, 4a. фенилэтендиовая кислота

вещества, приведенные в таблице 2, выбраны как основные экзотоксины, подлежащие необходимому контролю в объектах окружающей среды, в соответствии с МУ 2.1.2. 1829-04.

Note: 1. *p* – phenylbutenediol-1,4, 1a. *p* - aminophenylbutenoic acid

2. butene-2-diol-1,4, 2a. butenedioic acid

3. propenol + phenylethenediol-1,4, 3a. propenoic + *p*-aminophenylbutenoic acid

4. phenylbutenediol-1,4, 4a. phenylethenedioic acid

the substances listed in Table 2 are selected as the main exotoxins subject to the necessary control in environmental objects, in accordance with MU 2.1.2. 1829-04.

Данные, представленные в табл. 1-2, доказывают, что разработанные концентрационные колонки характеризуются лучшим диапазоном рабочих параметров, а именно, большей хроматографической полярностью (табл. 1), более высокой сорбционной емкостью (табл. 2). Сравнительный анализ экспериментальных данных показывает, что оба рассматриваемых в настоящей статье способа и устройства для обнаружения концентрации загрязняющих веществ могут с достаточно высокой эффективностью применяться на практике. При этом разработанные колонки-концентраторы на основе карбоксилсодержащего мономера обладают рядом преимуществ по сравнению с устройством на основе гидроксилсодержащего мономера.

#### ВЫВОДЫ

Преимуществом таких устройств является не только их высокая термостойкость, но и более высокая хроматографическая полярность и сорбционная емкость. Экспериментально установлено,

что варьирование состава сорбентов и видов ионизирующих облучений для модификации их физико-химических свойств, позволило расширить диапазон определяемых аналитических характеристик загрязняющих веществ и повысить эффективность и работоспособность разрабатываемых технических устройств. Совершенствование контроля качества эксплуатационных характеристик полимерных строительных материалов позволяет расширить область их инженерного применения и улучшить качество окружающей среды, поскольку позволяет своевременно определить вид загрязнений и разработать методы их устранения.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Засурский И.И. Зеленый поворот. М.: Climatescience.ru. 2021. 194 с.
2. A. European Green Deal. European Commission. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/European-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/European-green-deal_en).

#### REFERENCES

1. Zasursky Ya.I. Green turn. M.: Climatescience.ru. 2021. 194 p. (in Russian).
2. A. European Green Deal. European Commission. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/European-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/European-green-deal_en).

3. Emissions Gap Report. United Nations Environment Programme. 2019. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.50011822/30797/EGR2019>.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. Москва. 2021. 104 с.
5. Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. 2–4 марта 2021 г. Ч. 2. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. 2021. С. 380.
6. **Саркисов Ю.С., Горленко Н.П.** Этическая приемлемость возможности применения на практике строительных материалов и технологий. Матер. XI Междунар. науч.-практ. конф. 2–4 марта 2021 г. Ч. 2. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. 2021. С. 618–625.
7. **Фомина Н.Н., Хозин В.Г.** Термопластичное связующее из полимерных отходов. *Строит. материалы*. 2021. № 1–2. С. 105–114. DOI: 10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-105-114.
8. **Дориomedов М.С.** Российский и мировой рынок полимерных композитов. *Тр. ВИАМ*. 2020. № 6-7 (89). С. 29-37. DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
9. **Jun Ma, Jian Xu, Jian-Hui Ren, Zhong-Zhen Yu, Yu-V. May.** A new approach to poly-mer/montmorillonite nanocomposites. *Polymer*. 2003. V. 44. N 16. P. 4619-4624. DOI: 10.1016/S0032-3861(03)00362-8.
10. **Тептерева Г.А., Пахомов С.И., Четвертнева И.А., Каримов Э.Х., Егоров М.П., Мовсумзаде Э.М., Евстигнеев Э.И., Васильева А.В., Севастьянова М.В., Волошин А.И., Нифантьев Н.Э., Носов В.В., Докичев В.А., Бабаев Э.Р., Роговина С.З., Берлин А.А., Фахреева А.В., Баулин О.А., Колчина Г.Ю., Воронов М.С., Староверов Д.В., Козловский И.А., Козловский Р.А., Тарасова Н.П., Занин А.А., Кривобородов Е.Г., Каримов О.Х., Флид В.Р., Логина М.Е.** Возобновляемые природные сырьевые ресурсы, строение, свойства, перспективы применения. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 9. С. 4–121. DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
11. **Ихсанов Е.С., Абилов Ж.А., Султанова Н.А., Чоудхари М.И.** Исследование компонентов гексанового экстракта из растения гребенщик методом газовой хроматографии. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 6. С. 83–87. DOI: 10.6060/tcct.20186106.5706.
12. **Yin C.Y., Aroua M.K., Daud W.M.A.W.** Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. *Separat. Purificat. Technol.* 2007. V. 52. N 3. P. 403–415. DOI: 10.1016/j.seppur.2006.06.009.
13. **Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Истрашкина М.В., Подоксенов А.А.** Изучение механизма адсорбции п-динитробензола модифицированными бентонитами при водоочистке в статических условиях. *Вода и экология: пробл. и реш.* 2020. № 2. С. 3-11. DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.2.3-11.
14. **Shojaimehr T., Rahimpour F., Schwarze M., Repke J., Godini H.R., Wozny G.** Use of RSM for the multivariate, simultaneous multiobjective optimization of the operating conditions of aliphatic carboxylic acids ion-exclusion chromatography column: Quantitative study of hydrodynamic, isotherm, and thermodynamic behavior. *J. Chromat. B: Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.* 2018. 1083146-159. DOI: 10.1016/j.jchromb.2018.03.009.
3. Emissions Gap Report. United Nations Environment Programme. 2019. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.50011822/30797/EGR2019>.
4. Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2020. Moscow. 2021. 104 p. (in Russian).
5. Investments, urban planning, real estate as drivers of socio-economic development of the territory and improvement of the quality of life of the population. Mater. of the XI Internat. Sci. and Pract. Conf. March 2–4, 2021. Pt. 2. Tomsk: Publishing house of Tom. gos. archit.- builds. un-ta. 2021. P. 380 (in Russian).
6. **Sarkisov Yu.S., Gorlenko N.P.** Ethical acceptability of the possibility of using building materials and technologies in practice. Mater. of the XI Internat. Sci. and Pract. Conf. March 2–4, 2021. Pt. 2. Tomsk: Publishing house of Tom. gos. archit.- builds. un. 2021. P. 618–625 (in Russian).
7. **Fomina N.N., Khozin V.G.** Thermoplastic binder from polymer compounds. *Stroit. Materialy*. 2021. N 1-2. P. 105-114 (in Russian). DOI: 10.31659/0585-430X-2021-788-1-2-105-114.
8. **Doriomedov M.S.** Russian and world market of polymer composites. *Tr. VIAM*. 2020. N 6-7 (89). P. 29-37 (in Russian). DOI: 10.18577/2307-6046-2020-0-67-29-37.
9. **Jun Ma, Jian Xu, Jian-Hui Ren, Zhong-Zhen Yu, Yu-V. May.** A new approach to poly-mer/montmorillonite nanocomposites. *Polymer*. 2003. V. 44. N 16. P. 4619-4624. DOI: 10.1016/S0032-3861(03)00362-8.
10. **Teptereva G.A., Pakhomov S.I., Chetvertneva I.A., Karimov E.H., Egorov M.P., Movsumzade E.M., Evstigneev A.I.I., Vasilyeva V.V., Sevastyanova M.V., Voloshin A.I., Nifantiev N.E., Nosov V.V., Dokichev V.A., Babaev E.R., Rogovina S.Z., Berlin A.A., Fakhreeva A.V., Baulin O.A., Kolchina G.Yu., Voronov M.S., Staroverov D.V., Kozlovsky I.A., Kozlovsky R.A., Tarasova N.P., Zanin A.A., Krivoborodov E.G., Karimov O.H., Flid V.R., Loginova M.E.** Renewable natural raw materials, structure, properties, prospects of application. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 9. P. 4-121 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216409.6465.
11. **Ikhsanov E.S., Abilov Zh.A., Sultanova N.A., Choudkhary M.I.** Investigation of the components of hexane extract from the grebenshchik plant by gas chromatography. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N 6. P. 83-87 (in Russian). DOI: 10.60/tcct.20186106.5706.
12. **Yin C.Y., Aroua M.K., Daud W.M.A.W.** Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. *Separat. Purificat. Technol.* 2007. V. 52. N 3. P. 403–415. DOI: 10.1016/j.seppur.2006.06.009.
13. **Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Istrashkina M.V., Podoksenov A.A.** Study of the mechanism of adsorption of p-dinitrobenzene by modified bentonites during water treatment under static conditions. *Voda Ekologiya: Probl. Resh.* 2020. N 2. P. 3-11 (in Russian). DOI: 10.23968/2305-3488.2020.25.2.3-11.
14. **Shojaimehr T., Rahimpour F., Schwarze M., Repke J., Godini H.R., Wozny G.** Use of RSM for the multivariate, simultaneous multiobjective optimization of the operating conditions of aliphatic carboxylic acids ion-exclusion chromatography column: Quantitative study of hydrodynamic, isotherm, and thermodynamic behavior. *J. Chromat. B: Analyt. Technol. Biomed. Life Sci.* 2018. 1083146-159. DOI: 10.1016/j.jchromb.2018.03.009.

15. **Барвинченко В.Н., Липковская Н.А.** Адсорбция природных 3-фенилпропеновых кислот на поверхности высокодисперсного оксида плуминия. *Коллоид. журн.* 2021. Т. 83. № 2. С. 150-156. DOI: 10.31857/S0023291221020026.
16. **Керимова Э.С., Азизов А.А., Алошманов Р.М.** Изучение сорбции ионов Cr(III) фосфорсодержащим полимерным сорбентом. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 6. С. 112-118. DOI: 10.6060/ivkkt20186100.5788.
17. **Филатова Е.Г., Дударев В.И., Николаенко Р.А.** Адсорбция ионов Ni(II), Zn(II) и Cu(II) электрогенерируемым гиббситом. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 7. С. 54-60. DOI: 10.6060/ivkkt.20216407.6392.
18. **Артемьянов А.П., Земскова Л.А.** Удаление хлорфенолов из растворов адсорбцией и окислением в присутствии модифицированного активированного углеродного волокна. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 6. С. 138-144. DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5821.
19. **Зибарев П.В., Zubkova O.A., Shepelenko T.S., Nedavniy O.I.** Газохроматографический контроль микропримесей токсичных органических веществ в воде методом концентрирования на модифицированных пористых полимерных сорбентах. *Дефектоскопия.* 2006. № 6. С. 93-100. DOI: 10.1134/S106183090606009X.
20. **Zubkova O.A.** Применение колонок-концентраторов с радиационно-модифицированными сорбентами для газохроматографического контроля объектов окружающей среды. *Вестн. ТГАСУ.* 2007. № 1. С. 146-155.
21. **Зибарев П.В., Zubkova O.A.** Химическая природа поверхности, полярность и селективность радиационно-модифицированных сорбентов-концентраторов для газохроматографического контроля объектов окружающей среды. *Изв. ТПУ.* 2008. Т. 312. № 3. С. 23-27.
22. **Zubkova O.A., Gorlenko N.P., Shepelenko T.S., Pavlova A.N.** Контроль микропримесей, выделяемых из полимерных строительных материалов на основе поливинилхлорида. *Сер. Конф. ИОР Науки о Земле и окр. среде.* 2018. 194. С. 1-6. DOI: 10.1088/17551315/194/4/042029.
15. **Barvinchenko V.N., Lipkovskaya N.A.** Adsorption of natural 3-phenylpropionic acids on the surface of highly dispersed plumbium oxide. *Colloid. Zhurn.* 2021. V. 83. N 2. P. 150-156 (in Russian). DOI: 10.31857/S0023291221020026.
16. **Kerimova E.S., Azizov A.A., Alosmanov R.M.** Study of the sorption of Cr (III) ions by a phosphorus-containing polymer sorbent. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 6. P. 112-118 (in Russian). DOI: 10.60/ivkkt20186100.5788.
17. **Filatova E.G., Dudarev V.I., Nikolaenko R.A.** Adsorption of Ni (II), Zn (II) and Cu (II) ions electrically generated gibbsite. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 7. P. 54-60 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216407.6392.
18. **Artemyanov A.P., Zemskova L.A.** Chlorophenols removal from solution using adsorption and oxidation in presence of activated carbon fiber. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 6. P. 138-144 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196206.5821.
19. **Zibarev P.V., Zubkova O.A., Shepelenko T.S., Nedavniy O.I.** Gas Chromatographic control of trace amounts of toxic organic substances in water by concentrating on modified porous polymer sorbents. *Defektoskopiya.* 2006. N 6. P. 93-100 (in Russian). DOI: 10.1134/S106183090606009X.
20. **Zubkova O.A.** Application of concentrator columns with radiation-modified sorbents for gas chromatographic control of environmental objects. *Vestn. TGASU.* 2007. N 1. P. 146-155 (in Russian).
21. **Zibarev P.V., Zubkova O.A.** Chemical nature of the surface, polarity and selectivity of radiation-modified sorbent concentrators for gas chromatographic control of environmental objects. *Izv. TPU.* 2008. V. 312. N 3. P. 23-27 (in Russian).
22. **Zubkova O.A., Gorlenko N.P., Shepelenko T.S., Pavlova A.N.** Control of microimpurities emitted from polymer construction materials based on polyvinyl chloride. *Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2018. 194. P. 1-6. DOI: 10.1088/17551315/194/4/042029.

Поступила в редакцию 07.04.2022  
Принята к опубликованию 24.05.2022

Received 07.04.2022  
Accepted 24.05.2022