

## **Использование природных алюмосиликатов для очистки сточных вод от антибиотиков различных классов**

*Л.И. Соколова, Д.С. Гальченко, М.Г. Смирнова, Я.Ю. Блиновская*

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток,  
sokolova.li@dvvfu.ru

Исследована возможность применения природных алюмосиликатов вермикулита Кокшаровского месторождения (Приморский край), каолинита Сухоложского месторождения (Иркутская обл.), цеолитов Шивертуйского и Талан-Гозагорского месторождений (Восточное Забайкалье) и монтмориллонитовой глины (Приморский край) для очистки сточных вод предприятий от антибиотиков (цефалоспоринового ряда, левомицетина и тетрациклина). Рассмотрена возможность применения сорбентов для концентрирования антибиотиков при проведении аналитического определения. Показано, что сорбенты на основе природных алюмосиликатов эффективны для очистки сточных вод от остаточных количеств лекарственных препаратов. Наиболее перспективным сорбентом для очистки водных объектов от антибиотиков (в статическом и динамическом режимах сорбции) является вермикулит, модифицированный соляной кислотой.

*Ключевые слова:* сорбция, сорбенты, алюмосиликаты, антибиотики, сточные воды.

## **Using of natural aluminosilicates for clean wastewater from antibiotics various classes**

*L.I. Sokolova, D.S. Gal'chenko, M.G. Smirnova, Ya.Yu. Blinovskaya*

FGAOU VO «Far Eastern Federal University», Vladivostok, Russia

Antibiotics are biologically active substances widely used in medicine, agricultural and food production. At the same time, their entering into the environment leads not only to soil and water pollution, but can also cause antibiotic resistant bacteria and genes to appear. Currently, in Russia the content of antibiotics in wastewater and drinking water is not standardized, but the possibility of treating antibiotic-containing wastewater from food and agricultural enterprises is being actively considered. According to it, the possibility of using natural vermiculite aluminosilicates from the Koksharovsky Deposit (Primorsky Krai), kaolinite from the Sukholozhskoye deposit (Irkutsk region), zeolites from the Shivertuysky and Talan-Gozagorskoye deposits (East Transbaikalia) and the montmorillonite clay (Primorsky Territory) to treat antibiotic-containing industrial wastewater is investigated. The possibility of using sorbents for concentrating antibiotics when conducting analytical definition is considered. Sorption of levomycetine, tetracycline, cefazoline and ciprofloxacin on natural aluminosilicates is investigated for a selection of sorbents with high sorption properties under static conditions. The investigation of competitive sorption of antibiotics is conducted to determine the most promising sorbent for treating antibiotic-containing water. Sorbents based on natural aluminosilicates are shown to be effective for wastewater purification from residual amounts of pharmaceuticals. The most promising sorbent for treating antibiotic-containing water bodies (in static and dynamic sorption modes) is vermiculite modified with hydrochloric acid. As a result of the research conducted, a number of decreases in sorption capacity for the studied sorbents are proposed: vermiculite > montmorillonite clay > kaolinite burned > montmorillonite clay modified with chitosan > kaolinite unburned. Sorption of antibiotics occurs in the following order: tetracycline, ciprofloxacin, cefazolin, levomycetine.

*Keywords:* sorption, sorbents, aluminosilicates, antibiotics, wastewater.

---

**For citation:** *L.I. Sokolova, D.S. Gal'chenko, M.G. Smirnova, Ya.Yu. Blinovskaya.* Using of natural aluminosilicates for clean wastewater from antibiotics various classes. *Gidrometeorologiya i Ekologiya. Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University).* 2021. 62: 113—126. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-113-126

---

## Введение

Антибиотики — биологически активные вещества, используемые в качестве лекарственных средств при профилактике, лечении заболеваний и стимулировании роста сельскохозяйственных животных и гидробионтов, выращиваемых в искусственных условиях. При этом неизбежно попадание лекарственных препаратов в окружающую среду вместе со сточными водами предприятия, с отходами жизнедеятельности людей и животных, принимающих антибиотики, а также прямого применения их в сельском хозяйстве.

Антибиотики присутствуют в остаточных количествах в различных природных матрицах, что приводит к загрязнению почвы, поверхностных и грунтовых вод или стоков. При попадании в организм человека с пищевыми продуктами или водой могут становиться причиной появления антибиотикорезистентных бактерий и генов [1, 2].

Антибиотикорезистентные бактерии и антибиотикорезистентные гены обнаружены в различных природных средах: в воде, включая питьевую, почвах и т. д. Из-за угрозы здоровью человека Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) классифицировала их распространение как одну из трех наиболее серьезных угроз общественного здравоохранения в XXI веке [3, 4, 5, 6].

К настоящему времени присутствие антибиотиков обнаружено в сточных водах Китая [7, 8, 9, 10, 11], Индии [2, 12, 13], Кении [14] Японии [15], США [16, 17], Мексике [18], Германии [19, 20, 21], Вьетнаме [22], Великобритании, Швейцарии, Италии [20, 21], России [23, 24], Португалии, Сербии и Южной Корее [16]. По данным обзора [5] антибиотики обнаружены в Эстонии, Италии и США.

Наиболее высокая концентрация антибиотиков обнаруживается в сточных водах больниц [9, 25], сельскохозяйственных ферм [7, 11] (на свинофермах большее разнообразие и более высокие концентрации, чем на фермах по выращиванию крупного рогатого скота). В сточных водах фармацевтических производств обнаружены не только антибиотики, но и антибиотикорезистентные бактерии [1].

В настоящее время в России активно рассматривается возможность очистки сточных вод пищевых предприятий и убойных цехов агропромышленного комплекса от антибиотиков. Содержание антибиотиков в сточных и питьевых водах не нормируется.

Для очистки сточных вод от антибиотиков исследуются возможности применения следующих методов:

- озонирование [26, 27, 28, 29, 30];
- хлорирование [30, 31];
- коагуляционные методы с применением коагулянтов различного состава (алюминий- или железосодержащих) [32];

- использование нитрифицирующих бактерий [33];
- применение нанокompозита  $MnO_2$  / графен [34];
- применение магнитных наночастиц  $Fe_3O_4$ , обработанные  $\beta$ -лактамазой для деградации  $\beta$ -лактамных антибиотиков [35];
- ферментный метод [36];
- УФ-облучение [37];

Одним из перспективных методов очистки сточных вод является сорбционная очистка с применением в качестве сорбентов активированного угля [38] и сорбентов на основе природных глин [39, 40, 41], в которых сорбция идет за счет обмена катионов межслоевого пространства глины. Данный метод не требует высоких материальных затрат (стоимость монтмориллонита — от 3 руб. за кг, каолинита — от 10 руб. за кг, вермикулита — от 28 руб. за л) и прост в осуществлении.

Возможность применения природных глин для очистки сточных вод ранее исследовались в Дальневосточном федеральном университете, Белгородском университете потребительской кооперации [39, 40,], а также в работе [41].

Таким образом, цель работы заключается в оценке возможности применения сорбентов на основе природных алюмосиликатов для очистки сточных вод от антибиотиков (левомецетина, тетрациклина, ципрофлоксацина, цефазолина, цефуроксима, цефтриаксона, цефепима).

### Методика исследования

Для изучения свойств сорбентов по отношению к антибиотикам выбраны наиболее используемые группы антибиотиков: левомецетин, антибиотики тетрациклиновой, цефалоспориновой и фторхинолоновой групп. Из каждой группы выбраны типичные представители, традиционно применяемые при лечении различных заболеваний и отражающие основные свойства группы: левомецетин, тетрациклин, цефазолин и ципрофлоксацин.

#### *Характеристика применяемых антибиотиков*

Фармацевтические формы — цефазолин (натриевая соль)®, цефуроксим (натриевая соль)®, цефтриаксон (натриевая соль)®, цефепим (цефепима гидрохлорид)®, левомецетин (хлорамфеникол)®, тетрациклин®, ципрофлоксацин (гидрохлорида моногидрат)® — получены из аптечной сети.

Сорбенты:

- каолинит необожженный Сухоложского месторождения (Иркутская обл.);
- каолинит обожженный Сухоложского месторождения, модифицированный 7%-ной соляной кислотой;
- монтмориллонитовая глина обожженная с острова Русский (Приморский край);
- монтмориллонитовая глина обожженная с острова Русский, модифицированная хитозаном;
- вермикулит Кокшаровского месторождения (Приморский край), модифицированный 7%-ной соляной кислотой;
- цеолиты Шивыртуйского и Талан-Гозагорского месторождения (Читинская обл.), обработанные при силе тока 5 А.

Данные сорбенты были выбраны в качестве типичных представителей алюмосиликатов с различной структурой слоя.

#### **Аппаратура**

Растворы антибиотиков фотометрировали на УФ-спектрофотометре «UV-mini 1240» «Shimadzu» (Япония). Диапазон используемых длин волн: 200—400 нм. Длина кварцевой кюветы: 1 см. Хроматографический анализ выполнен на хроматографе LC20 Prominence со спектрофотометрическим детектором.

#### **Сорбция антибиотиков левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина на природных сорбентах в статическом режиме**

В конические колбы объемом 100 мл помещали 1 г исследуемого сорбента, приливали 5 мл раствора антибиотика с концентрацией 0,1 мг/мл и перемешивали на шейкере в течение 24 ч. Отделяли растворы от сорбентов фильтрованием. Левомицетин элюировали дистиллированной водой, подкисленной соляной кислотой до pH 4,0. Концентрацию антибиотика в фильтрате и в элюате определяли спектрофотометрическим методом.

Расчет степени поглощения ( $R_s$ ) проводили по формуле:

$$R_s = (m_{\text{вн.}} - m_{\text{ф.}}) / m_{\text{вн.}} \times 100\%,$$

где  $m_{\text{ф.}}$  — масса антибиотика, содержащаяся в фильтрате;  $m_{\text{вн.}}$  — масса антибиотика, внесенного в раствор.

Расчет степени элюирования ( $R_e$ ) велся по формуле:

$$R_e = m_{\text{эл.}} / (m_{\text{вн.}} - m_{\text{ф.}}) \times 100\%,$$

где  $m_{\text{эл.}}$  — масса антибиотика, содержащаяся в элюате;  $m_{\text{ф.}}$  — масса антибиотика, содержащаяся в фильтрате;  $m_{\text{вн.}}$  — масса антибиотика, внесенного в раствор.

#### **Сорбция цефазолина, цефуроксима, цефтриаксона и цефепима из разбавленных растворов в динамических условиях**

В колонку мокрым способом вносили 1 г сорбента. Пропускали через алюмосиликат 5 мл исследуемого раствора с содержанием антибиотика 0,05 мг/мл. Препарат элюировали с сорбента дистиллированной водой (порции объемом 3 мл) до тех пор, пока содержание препарата в элюате не становилось ниже предела обнаружения. Остаточное количество антибиотика последовательно элюировали раствором гидроксида натрия с pH = 12 и ацетонитрилом. Пробы собирали порциями по 3 мл и определяли содержание антибиотика спектрофотометрическим методом. В качестве раствора сравнения использовали водный смыв с сорбента.

Расчет степени поглощения ( $R_s$ ) и степени элюирования ( $R_e$ ) проводили так же, как и при исследовании сорбции в статическом режиме.

Сорбция антибиотиков (левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина) при их совместном присутствии

В конические колбы объемом 100 мл помещали 1 г исследуемых сорбентов, заливали их 5 мл смеси антибиотиков левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина с концентрацией 0,05 мг/мл и перемешивали на шейкере в течение 1 ч при скорости вращения 175 об/мин, далее колбы оставляли на 24 ч для улучшения сорбции. Отделяли растворы от сорбентов фильтрованием. Концентрацию антибиотика в фильтрате определяли хроматографическим методом.

В качестве объектов исследования выбраны сточные воды предприятий аквакультуры и хозяйственно-бытовые сточные воды. В качестве модельных систем использовали растворы антибиотиков.

Применяемые методики разработаны на кафедре физической и аналитической химии Дальневосточного федерального университета. Методики валидированы с использованием стандартных растворов антибиотиков.

### Результаты исследования

Для выбора сорбента, обладающего высокими сорбционными свойствами в статических условиях, на модельных растворах исследована сорбция левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина на природных алюмосиликатах. Рассчитаны степени поглощения и степени извлечения для каждого исследуемого препарата. В табл. 1 представлены результаты определения степени поглощения и степени элюирования выбранных антибиотиков с используемых сорбентов.

Таблица 1

Степени поглощения ( $R_s$ ) и элюирования ( $R_e$ ) левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина в статических условиях, %

Degree of uptake and elution of levomycetine, tetracycline, cefazoline and ciprofloxacin under static conditions, %

Сорбент	Антибиотик							
	Левомицетин		Тетрациклин		Цефазолин		Ципрофлоксацин	
	$R_s$	$R_e$	$R_s$	$R_e$	$R_s$	$R_e$	$R_s$	$R_e$
Каолинит необожженный	48,7 ± 9,4	17,9 ± 3,6	> 99,0	< 1,0	49,2 ± 9,8	< 1,0	89,3 ± 17,8	< 1,0
Каолинит обожженный	43,7 ± 8,7	29,6 ± 5,9	> 99,0	< 1,0	56,3 ± 11,3	< 1,0	87,7 ± 17,5	< 1,0
Монтмориллонитовая глина, модифицированная хитозаном	50,5 ± 10,1	28,3 ± 5,7	> 99,0	< 1,0	56,4 ± 11,3	19,3 ± 3,9	> 99,0	< 1,0
Монтмориллонитовая глина	46,1 ± 9,2	31,0 ± 6,2	> 99,0	< 1,0	49,4 ± 9,9	18,7 ± 3,7	> 99,0	< 1,0
Вермикулит, модифицированный 7%-ной соляной кислотой	40,2 ± 8,0	45,2 ± 9,0	> 99,0	< 1,0	73,0 ± 14,6	< 1,0	> 99,0	< 1,0

Исследована сорбция цефазолина, цефуросима, цефтриаксона и цефепима на природных алюмосиликатах в динамических условиях. Рассчитаны степени поглощения и степени извлечения для каждого исследуемого препарата. В табл. 2 представлены результаты определения степени поглощения и степени элюирования выбранных антибиотиков с используемых сорбентов.

Таблица 2

Степени поглощения ( $R_s$ ) и элюирования ( $R_e$ ) цефазолина, цефуроксима, цефтриаксона и цефепима в динамическом режиме при атмосферном давлении, %

Absorption and elution rate of cefazoline, cefuroxime, ceftriaxone and cefepim dynamically at atmospheric pressure, %

Сорбент	Антибиотик							
	Цефазолин		Цефуроксим		Цефтриаксон		Цефепим	
	$R_s$	$R_e$	$R_s$	$R_e$	$R_s$	$R_e$	$R_s$	$R_e$
Каолинит обожженный	31,2 ± 6,4	58,8 ± 11,8	20,3 ± 4,1	53,4 ± 10,7	17,1 ± 3,4	> 95,0	28,5 ± 5,7	40,7 ± 8,2
	20,0 ± 4,0	> 95,0	23,8 ± 4,8	65,1 ± 13,0	27,7 ± 5,5	48,5 ± 9,7	24,0 ± 4,8	31,9 ± 6,4
Монтмориллонитовая глина, модифицированная хитозаном	41,6 ± 8,3	50,8 ± 10,2	30,7 ± 6,14	> 95,0	82,4 ± 16,5	> 95,0	64,5 ± 12,9	90,8 ± 18,2
	55,7 ± 11,4	46,7 ± 9,3	41,6 ± 8,3	58,9 ± 11,8	> 95,0	16,0 ± 3,2	> 95,0	6,3 ± 1,3
Вермикулит, модифицированный 7%-ой соляной кислотой	> 95,0	< 1,0	79,2 ± 15,8	30,5 ± 6,1	> 95,0	11,3 ± 2,3	> 95,0	< 1,0

Проведено исследование конкурентной сорбции левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина на исследуемых сорбентах для определения наиболее перспективного сорбента для очистки вод от антибиотиков. Рассчитаны массы поглощенных антибиотиков для каждого исследуемого сорбента в условиях конкурентной сорбции и максимальная нагрузка на сорбенты в статическом режиме. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Степень поглощения антибиотиков в условиях конкурентной сорбции

Antibiotic uptake rate under competitive sorption conditions

Сорбент	Антибиотик				Суммарная степень поглощения, %
	Степень поглощения антибиотика, %				
	Левомецетин	Цефазолин	Ципрофлоксацин	Тетрациклин	
Вермикулит	52,5 ± 10,5	> 99,0	> 99,0	> 99,0	88,1 ± 17,6
Монтмориллонитовая глина, модифицированная хитозаном	25,6 ± 5,1	39,2 ± 7,8	> 99,0	> 99,0	66,2 ± 13,2
Каолинит обожженный	48,4 ± 9,7	39,0 ± 7,8	78,4 ± 15,7	> 99,0	66,4 ± 13,3
Каолинит необожженный	38,9 ± 7,8	35,4 ± 7,1	82,4 ± 16,5	> 99,0	64,2 ± 12,8
Монтмориллонитовая глина	32,9 ± 6,6	49,0 ± 9,8	> 99,0	> 99,0	70,5 ± 14,1

**Очистка сточной воды, загрязненной антибиотиками, в статическом и динамическом режимах**

Рассмотрена возможность применения сорбента на основе вермикулита, как имеющего лучшие сорбционные свойства по отношению к исследуемым

антибиотикам и наибольшую максимальную емкость для очистки сточных вод от антибиотиков в статическом и динамическом режиме.

При исследовании возможности очистки модельной системы загрязненной сточной воды рассчитаны степени поглощения для суммы 4 антибиотиков (левомицетина, тетрациклина, цефазолина и ципрофлоксацина), результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Зависимость степени поглощения антибиотиков в сточной воде от соотношения сорбент : сорбат

Dependence of antibiotic uptake in waste water on sorbent : sorbate ratio

Соотношение сорбент : сорбат	Степень поглощения антибиотиков, %
1000:1	86,1 ± 17,2
500:1	85,1 ± 17,0
300:1	78,1 ± 15,6
250:1	75,7 ± 15,1

Вермикулит, модифицированный соляной кислотой, обладает наиболее выраженными сорбционными свойствами в сравнении с остальными исследуемыми сорбентами. При его использовании достигается полное удаление из раствора тетрациклина и ципрофлоксацина. Для цефазолина степень поглощения составляет 73 %. Степень поглощения левомицетина невелика и составляет от 20 до 40 %, возможно, за счет небольшого размера молекулы левомицетина, ускоряющего выход антибиотика из пор сорбента.

Степени элюирования антибиотиков с вермикулита низки и составляют менее 1 %. Сочетание высоких степеней поглощения и низких степеней элюирования делает вермикулит, модифицированный соляной кислотой, перспективным сорбентом для использования для очистки сточных вод от антибиотиков.

Степень поглощения цефазолина в динамическом режиме сорбции составляет более 95 % при использовании вермикулита, модифицированного соляной кислотой, а степень элюирования — менее 1 %.

Аналогичные результаты получены для цефуроксима и цефепима из разбавленных растворов. Кроме того, максимальная степень поглощения цефепима наблюдается при использовании сорбента на основе обожженной монтмориллоновой глины. Для цефтриаксона — при использовании сорбента на основе вермикулита, модифицированного соляной кислотой, и обожженной монтмориллоновой глины.

Таким образом, вермикулит, модифицированный соляной кислотой, перспективен для удаления антибиотиков из водных объектов в динамическом режиме. Экспериментальные исследования по изучению сорбционной способности цеолитов Шивыргуйского и Талан-Гозагорского месторождений проведены в отношении нефтепродуктов [42, 43], однако физические свойства исследованных цеолитов подобны физическим свойствам вермикулита Кокшаровского месторождения (Приморский край), что дало основание предположить возможность их

применения для очистки вод, загрязненных антибиотиками. Данные эксперименты находятся в стадии проработки.

В настоящее время антибиотики применяются комплексно, и в сточных водах могут обнаруживаться одновременно антибиотики различных классов, поэтому целесообразен выбор сорбента, способного очищать водные объекты от антибиотиков различных групп.

#### ***Сорбция антибиотиков из сточных вод в статическом и динамическом режимах***

Проведено извлечение в динамическом режиме цефазолина из образца сточной воды агропромышленного предприятия. При использовании вермикулита, модифицированного 7%-ной соляной кислотой, степень поглощения составила > 95 %, элюировать препарат с сорбента различными растворителями не удалось.

На системе, состоящей из хозяйственно-бытовых сточных вод, проведено исследование возможности применения вермикулита, модифицированного соляной кислотой, для очистки водных объектов от антибиотиков. Тетрациклин, цефазолин и ципрофлоксацин сорбируются полностью при массах антибиотиков от 1,00 мг до 4,00 мг суммарно. Эффективность поглощения антибиотиков из водных объектов вермикулитом, модифицированным соляной кислотой, наблюдается при сорбции, как в статическом, так и в динамическом режиме. Мутность исходной сточной воды перед внесением антибиотиков составляла 4,2 единицы мутности по формазину (ЕМФ), содержание взвешенных веществ — 467 мг/дм<sup>3</sup>. После очистки воды от антибиотиков при помощи вермикулита, модифицированного соляной кислотой, мутность воды составила 0,12 ЕМФ, содержание взвешенных веществ — 29 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, сорбент очищает исследуемый объект от антибиотиков взвешенных частиц, которые могут являться физическими носителями и сорбентами антибиотиков.

#### **Заключение**

Проведенные эксперименты показали, что для очистки вод, загрязненных антибиотиками, успешно могут быть применены природные сорбенты на основе алюмосиликатов. Установлено, что вермикулиты имеют лучшие сорбционные свойства по отношению к исследуемым антибиотикам и наибольшую максимальную емкость как в статическом, так и динамическом режимах. При их использовании достигается практически полное удаление антибиотиков из раствора.

В результате проведенных исследований предложен ряд уменьшения сорбционной емкости для исследованных сорбентов: вермикулит > монтмориллонитовая глина > каолинит обожженный > монтмориллонитовая глина, модифицированная хитозаном > каолинит необожженный. Сорбция антибиотиков происходит в следующем порядке — тетрациклин, ципрофлоксацин, цефазолин, левомицетин.

#### **Список литературы**

1. Zhang M., Zuo J., Yu X., Shi X., Chen L., Li Z. Quantification of multi-antibiotic resistant opportunistic pathogenic bacteria in bioaerosols in and around a pharmaceutical wastewater treatment plant // Journal of environmental sciences. 2018. V. 72. P. 53—63. doi: 10.1016/j.jes.2017.12.011.



2. *Kurasam J., Sihag P., Mandal P.K., Sarkar S.* Presence of fluoroquinolone resistance with persistent occurrence of *gyrA* gene mutations in a municipal wastewater treatment plant in India // *Chemosphere*. 2018. V. 211. P. 817—825. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.08.011.
3. *Inyinbor A.A., Bello O.S., Fadiji A.E., Inyinbor H.E.* Threats from antibiotics: A serious environmental concern // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2018. V. 6. P. 784—793. doi: 10.1016/j.jece.2017.12.056.
4. *Manaia C.M., Rocha J., Scaccia N., Marano R., Radu E., Biancullo F., Cerqueira F., Fortunato G., Iakovides I.C., Zammit I., Kampouris I., Vaz-Moreira I., Nunes O.C.* Antibiotic resistance in wastewater treatment plants: Tackling the black box // *Environment International*. 2018. V. 115. P. 312—324. doi: 10.3389/fmicb.2019.00172.
5. *Мухутдинова Н.А., Рычкова М.И., Тюмина Е.А., Вихарева Е.В.* Фармацевтические соединения на основе азотсодержащих гетероциклов — новый класс загрязнителей окружающей среды (обзор) // *Вестник Пермского университета. Серия: Биология*. 2015. № 1. С. 65—76.
6. *Гетьман М.А., Наркевич И.А.* Лекарственные средства в окружающей среде // *Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике*. 2013. № 2. С. 50—54. doi: 10.21518/1561-5936-2013-2-50-54.
7. *Zhi C., Zhou J., Yang F., Tian L., Zhang K.* Systematic analysis of occurrence and variation tendency about 58 typical veterinary antibiotics during animal wastewater disposal processes in Tianjin, China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. V. 165. P. 376—385. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.08.101.
8. *Zhang Y., Wang B., Cagnetta G., Duan L., Yang J., Deng S., Huang J., Wang Y., Yu G.* Typical pharmaceuticals in major WWTPs in Beijing, China: Occurrence, load pattern and calculation reliability // *Water Research*. 2018. V. 140. P. 291—300. doi: 10.1016/j.watres.2018.04.056.
9. *Hamjinda N.C., Chiemchaisri W., Watanabe T., Honda R.* Toxicological assessment of hospital wastewater in different treatment processes // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V. 25. P. 7271—7279. doi: 10.1007/s11356-015-4812-0.
10. *Li Z., Zheng T., Li M., Liu X.* Organic contaminants in the effluent of Chinese wastewater treatment plants // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V. 25. P. 26852—26860. doi: 10.1007/s11356-018-2840-2.
11. *Zhang M., Liu Y., Zhao J., Liu W., He L., Zhang J., Chen J., He L., Zhang Q., Ying G.* Occurrence, fate and mass loadings of antibiotics in two swine wastewater treatment systems // *Science of the Total Environment*. 2018. V. 639. P. 1421—1431. doi: 10.1016/j.amjcard.2008.02.056.
12. *Williams M., Kookana R.S., Mehta A., Yadav S.K., Tailor B.L., Maheshwari B.* Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 647. P. 1256—1265. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.084.
13. *Lamba M., Gupta S., Shukla R., Graham D.W., Sreekrishnan T.R., Ahammad S.Z.* Carbapenem resistance exposures via wastewaters across New Delhi // *Environment International*. 2018. V. 119. P. 302—308. doi: 10.1016/j.envint.2018.07.004.
14. *K'oreje K.O., Kandje F.J., Vergeynst L., Abira M.A., Langenhove H.V., Okoth M., Demeestere K.* Occurrence, fate and removal of pharmaceuticals, personal care products and pesticides in wastewater stabilization ponds and receiving rivers in the Nzoia Basin, Kenya // *Science of the Total Environment*. 2018. V. 637—638. P. 336—348. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.331.
15. *Yasojima M., Nakada N., Komori K., Suzuki Y., Tanaka H.* Occurrence of levofloxacin, clarithromycin and azithromycin in wastewater treatment plant in Japan // *Water Science and Technology*. 2006. V. 53, No. 11. P. 227—233. doi: 10.2166/wst.2006.357.
16. *Баренбойм Г.М., Чиганова М.А.* Загрязнение поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами // *Вода: химия и экология*. 2012. № 10. С. 40—46.
17. *Karthikeyan K.G., Meyer M.T.* Occurrence of antibiotics in wastewater treatment facilities in Wisconsin, USA // *Science of the Total Environment*. 2006. V. 361. P. 196—207. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.06.030.
18. *Brown K.D., Kulis J., Thomson B., Chapman T.H., Mawhinney D.B.* Occurrence of antibiotics in hospital, residential, and dairy effluent, municipal wastewater, and the Rio Grande in New Mexico // *Science of the Total Environment*. 2006. V. 366. P. 772—783. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.10.007.

19. *Ribeiro A.R., Sures B., Schmidt T.C.* Cephalosporin antibiotics in the aquatic environment: A critical review of occurrence, fate, ecotoxicity and removal technologies // *Environmental Pollution*. 2018. V. 241. P. 1153—1166. doi: 10.1016/j.envpol.2018.06.040.
20. *Прожерина Ю.* Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема // *Ремедиум. Журнал о российском рынке лекарств и медицинской технике*. 2017. № 11. С. 14—19. doi: 10.21518/1561-5936-2017-11-14-19.
21. *Чиганова М.А., Шанин И.А., Еремин С.А., Баренбойм Г.М.* Современные подходы в системе выявления лекарственного загрязнения вод, включая применение методов иммунохимического анализа // *Вода: химия и экология*. 2015. № 12. С. 64—76.
22. *Binh V.N., Dang N., Anh N.T.K., Ky L.X., Thai P.K.* Antibiotics in the aquatic environment of Vietnam: Sources, concentrations, risk and control strategy // *Chemosphere*. 2018. V. 197. P. 438—450. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.01.061.
23. *Русских Я.В., Чернова Е.Н., Никифоров В.А., Жаковская З.А.* Лекарственные соединения в водных объектах Северо-Запада России // *Региональная экология*. 2014. № 1—2, вып. 35. С. 77—83.
24. *Маюрова А.С., Кустикова М.А., Быковская Е.А., Ступников А.В.* Оценка жизненного цикла медицинских препаратов, поступающих в водные объекты // *Ученые записки РГГМУ*. 2018. № 52. С. 102—109.
25. *Wiest L., Chonova T., Bergév, Baudot R., Bessueille-Barbier F., Ayouni-Derouiche L., Vulliet E.* Two-year survey of specific hospital wastewater treatment and its impact on pharmaceutical discharges // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V. 25. P. 9207—9218. doi: 10.1007/s11356-017-9662-5.
26. *Balcioglu I.A., Otker M.* Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by  $O_3$  and  $O_3/H_2O_2$  processes // *Chemosphere*. 2003. V. 50. P. 85—95. doi: 10.1016/s0045-6535(02)00534-9.
27. *Wu C., Zhou Y., Sun X., Fu L.* The recent development of advanced wastewater treatment by ozone and biological aerated filter // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. V. 25. P. 8315—8329. doi: 10.1007/s11356-018-1393-8.
28. *Alsager O.A., Alnajrani M.N., Abuelizz H.A., Aldaghmani I.A.* Removal of antibiotics from water and waste milk by ozonation: kinetics, byproducts, and antimicrobial activity // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. V. 158. P. 114—122. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.04.024.
29. *Souza F.S., Da Silva V.V., Rosin C.K., Hainzenreder L., Arenzon A., Pizzolato T., Féris L.J.L.A.* Determination of pharmaceutical compounds in hospital wastewater and their elimination by advanced oxidation processes // *Journal of environmental science and health, part A*. 2018. V. 53, No. 3. P. 213—221. doi: 10.1080/10934529.2017.1387013.
30. *Proia L., Anzil A., Subirats J., Borrego C., Farre M., Llorca M., Balcazar J.L., Servais Pierre P.* Antibiotic resistance in urban and hospital wastewaters and their impact on a receiving freshwater ecosystem // *Chemosphere*. 2018. V. 206. P. 70—82. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.163.
31. *Qiang Z., Macauley J.J., Mormile M.R., Surampalli R., Adams C.D.* Treatment of Antibiotics and Antibiotic Resistant Bacteria in Swine Wastewater with Free Chlorine // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006. V. 54. P. 8144—8154. doi: 10.1021/jf060779h.
32. *Сорокина И.Д., Дресвянников А.Ф.* Получение, физико-химические и эксплуатационные свойства железозалюминиевого коагулянта для очистки природных и сточных вод // *Вода: химия и экология*. 2009. № 9. С. 16—21.
33. *Zheng W., Wen X., Zhang B., Qiu Y.* Selective effect and elimination of antibiotics in membrane bioreactor of urban wastewater treatment plant // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 646. P. 1293—1303. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.240.
34. *Song Z., Ma Y., Li C.* The residual tetracycline in pharmaceutical wastewater was effectively removed by using  $MnO_2$ /graphene nanocomposite // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 651. P. 580—590. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.240.
35. *Gao X.J., Fan X.J., Chen X.P., Ge Z.Q.* Immobilized  $\beta$ -lactamase on  $Fe_3O_4$  magnetic nanoparticles for degradation of  $\beta$ -lactam antibiotics in wastewater // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2018. V. 15. P. 2203—2212. doi: 10.1166/nnl.2016.2246.
36. *Park H., Choung Y.K.* Degradation of antibiotics (tetracycline, sulfathiazole, ampicillin) using enzymes of Glutathion S-transferase // *Human and Ecological Risk Assessment*. 2007. V. 13. P. 1147—1155. doi: 10.1080/10934529.2017.1356191.

37. Yin K., Deng L., Luo J., Crittenden J., Liu C., Wei Y., Wang L. Destruction of phenicol antibiotics using the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process: Kinetics, byproducts, toxicity evaluation and trichloromethane formation potential // *Chemical Engineering Journal*. 2018. V. 351. P. 867—877. doi: 10.1016/j.cej.2018.06.164.
38. Mansour F., Al-Hindi M., Yahfoufi R., Ayoub G.M., Ahmad M.N. The use of activated carbon for the removal of pharmaceuticals from aqueous solutions: a review // *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 2018. V. 17. P. 109—145. doi: 10.1007/s11157-017-9456-8.
39. Кормош Е.В., Алябьева Т.М., Погорелова А.Г. Химико-минералогические аспекты возможности использования глин белгородской области в разработке сорбентов для очистки сточных вод // *Фундаментальные исследования: технические науки*. 2011. № 8. С. 131—135.
40. Павлюченко Ю.А., Соколова Л.И., Шапкин Н.П. Исследование возможности применения природных алюмосиликатов для очистки сточных вод рыбозаводов от антибиотиков // *Национальная ассоциация ученых*. 2015. № 2—2, Т. 7. С. 160—161.
41. Wu Q., Li Z., Hong H., Yin K., Tie L. Adsorption and intercalation of ciprofloxacin on montmorillonite // *Applied Clay Science*. 2010. V. 50. P. 204—211. doi: 10.1016/j.clay.2010.08.001.
42. Блиновская Я.Ю., Размахнин К.К., Зацепина П.П. Перспективы использования сыпучих сорбентов для ликвидации разливов тяжелых нефтепродуктов // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2017. № 2. С. 30—32.
43. Мазлова Е.А., Мерициди И.А., Блиновская Я.Ю., Размахнин К.К., Куликова О.А. Преимущества и недостатки нефтяных сорбентов для ликвидации разливов на акватории в условиях низких температур // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2020. № 6 (297). С. 55—60. doi: 10.33285/2411-7013-2020-6(297)-55-60.

### References

1. Zhang M., Zuo J., Yu X., Shi X., Chen L., Li Z. Quantification of multi-antibiotic resistant opportunistic pathogenic bacteria in bioaerosols in and around a pharmaceutical wastewater treatment plant. *Journal of environmental sciences*. 2018, 72: 53—63. doi: 10.1016/j.jes.2017.12.011.
2. Kurasam J., Sihag P., Mandal P.K., Sarkar S. Presence of fluoroquinolone resistance with persistent occurrence of gyrA gene mutations in a municipal wastewater treatment plant in India. *Chemosphere*. 2018, 211: 817—825. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.08.011.
3. Inyinbor A.A., Bello O.S., Fadiji A.E., Inyinbor H.E. Threats from antibiotics: A serious environmental concern. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2018, 6: 784—793. doi: 10.1016/j.jece.2017.12.056.
4. Manaia C.M., Rocha J., Scaccia N., Marano R., Radu E., Biancullo F., Cerqueira F., Fortunato G., Jakovides I.C., Zammit I., Kampouris I., Vaz-Moreira I., Nunes O.C. Antibiotic resistance in wastewater treatment plants: Tackling the black box. *Environment International*. 2018, 115: 312—324. doi: 10.3389/fmicb.2019.00172.
5. Mukhutdinova N.A., Rychkova M.I., Tyumina E.A., Vikhareva E.V. Pharmaceutical compounds based on nitrogen-containing heterocycles as new class of environmental pollutants (overview). *Vestnik Permskogo universiteta. Seria: Biologiya*. Bulletin of Perm University. Series: Biology. 2015, 1: 65—76. [In Russian].
6. Get'man M.A., Narkevich I.A. Materia medica in the environment. *Lekarstvennye sredstva v okruzhayushey srede. Remedium. Zhurnal o rossiyskom rynke lekarstv i medicinskoj tekhnike*. Remedium. Journal on the Russian market of medicines and medical equipment. 2013, 2: 50—54. doi: 10.21518/1561-5936-2013-2-50-54. [In Russian].
7. Zhi C., Zhou J., Yang F., Tian L., Zhang K. Systematic analysis of occurrence and variation tendency about 58 typical veterinary antibiotics during animal wastewater disposal processes in Tianjin, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018, 165: 376—385. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.08.101.
8. Zhang Y., Wang B., Cagnetta G., Duan L., Yang J., Deng S., Huang J., Wang Y., Yu G. Typical pharmaceuticals in major WWTPs in Beijing, China: Occurrence, load pattern and calculation reliability. *Water Research*. 2018, 140: 291—300. doi: 10.1016/j.watres.2018.04.056.
9. Hamjinda N. C., Chiemchaisri W., Watanabe T., Honda R. Toxicological assessment of hospital wastewater in different treatment processes. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25: 7271—7279. doi: 10.1007/s11356-015-4812-0.

10. Li Z., Zheng T., Li M., Liu X. Organic contaminants in the effluent of Chinese wastewater treatment plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25: 26852—26860. doi: 10.1007/s11356-018-2840-2.
11. Zhanga M., Liu Y., Zhao J., Liu W., He L., Zhang J., Chen J., He L., Zhang Q., Ying G. Occurrence, fate and mass loadings of antibiotics in two swine wastewater treatment systems. *Science of the Total Environment*. 2018, 639: 1421—1431. doi: 10.1016/j.amjcard.2008.02.056.
12. Williams M., Kookana R.S., Mehta A., Yadav S.K., Tailor B.L., Maheshwari B. Emerging contaminants in a river receiving untreated wastewater from an Indian urban centre. *Science of the Total Environment*. 2019, 647: 1256—1265. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.08.084.
13. Lamba M., Gupta S., Shukla R., Graham D.W., Sreekrishnan T.R., Ahammad S.Z. Carbapenem resistance exposures via wastewaters across New Delhi. *Environment International*. 2018, 119: 302—308. doi: 10.1016/j.envint.2018.07.004.
14. K'oreje K.O., Kandie F.J., Vergeynst L., Abira M.A., Langenhove H.V., Okoth M., Demeestere K. Occurrence, fate and removal of pharmaceuticals, personal care products and pesticides in wastewater stabilization ponds and receiving rivers in the Nzoia Basin, Kenya. *Science of the Total Environment*. 2018, 637: 336—348. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.331.
15. Yasojima M., Nakada N., Komori K., Suzuki Y., Tanaka H. Occurrence of levofloxacin, clarithromycin and azithromycin in wastewater treatment plant in Japan. *Water Science and Technology*. 2006, 53 (11): 227—233. doi: 10.2166/wst.2006.357.
16. Barenboim G.M., Chiganova M.A. Contamination of surface and wastewater with medicines. *Voda: khimiya i ecologia*. Water: chemistry and ecology. 2012, 10: 40—46. [In Russian].
17. Karthikeyan K.G., Meyer M.T. Occurrence of antibiotics in wastewater treatment facilities in Wisconsin, USA. *Science of the Total Environment*. 2006, 361: 196—207. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.06.030.
18. Brown K.D., Kulis J., Thomson B., Chapman T.H., Mawhinney D.B. Occurrence of antibiotics in hospital, residential, and dairy effluent, municipal wastewater, and the Rio Grande in New Mexico. *Science of the Total Environment*. 2006, 366: 772—783. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.10.007.
19. Ribeiro A.R., Sures B., Schmidt T.C. Cephalosporin antibiotics in the aquatic environment: A critical review of occurrence, fate, ecotoxicity and removal technologies. *Environmental Pollution*. 2018, 241: 1153—1166. doi: 10.1016/j.envpol.2018.06.040.
20. Prozherina Yu. Pharmaceutical waste as a new environmental problem. *Remedium. Zhurnal o rossiyskom rynke lekarstv I medicinskoy tekhnike*. Remedium. Journal on the Russian market of medicines and medical equipment. 2017, 11: 14—19. doi: 10.21518/1561-5936-2017-11-14-19. [In Russian].
21. Chiganova M.A., Shanin I.A., Eremin S.A., Barenboim G.M. Modern approaches in the detection system of medicine contamination of water including the use of immunochemical analysis methods. *Voda: khimiya i ecologia*. Water: chemistry and ecology. 2015, 12: 64—76. [In Russian].
22. Binh V.N., Dang N., Anh N.T.K., Ky L.X., Thai P.K. Antibiotics in the aquatic environment of Vietnam: Sources, concentrations, risk and control strategy. *Chemosphere*. 2018, 197: 438—450. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.01.061.
23. Russkikh Ya.V., Chernova E.N., Nikiforov V.A., Zhakovskaya Z.A. Medicinal compounds in water bodies of northwestern Russia. *Regionalnaya ecologiya*. Regional ecology. 2014, 1—2 (35): 77—83. [In Russian].
24. Maiurova A.S., Kustikova M.A., Bykovskaia E.A., Stupnikov A.V. The assessment of pharmaceutical active compounds life cycle discharged in aquatic environment. *Uchenye zapiski RGGMU*. Russian Hydrometeorological University scientific notes. 2018, 52: 102—109. [In Russian].
25. Wiest L., Chonova T., Bergév, Baudot R., Bessueille-Barbier F., Ayouni-Derouiche L., Vulliet E. Two-year survey of specific hospital wastewater treatment and its impact on pharmaceutical discharges. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25: 9207—9218. doi: 10.1007/s11356-017-9662-5.
26. Balcioglu I.A., Otker M. Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Chemosphere*. 2003, 50: 85—95. doi: 10.1016/s0045-6535(02)00534-9.
27. Wu C., Zhou Y., Sun X., Fu L. The recent development of advanced wastewater treatment by ozone and biological aerated filter. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018, 25: 8315—8329. doi: 10.1007/s11356-018-1393-8.

28. *Alsager O.A., Alnajrani M.N., Abuelizz H.A., Aldaghmani I.A.* Removal of antibiotics from water and waste milk by ozonation: kinetics, byproducts, and antimicrobial activity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018, 158: 114—122. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.04.024
29. *Souza F.S., Da Silva V.V., Rosin C.K., Hainzenreder L., Arenzon A., Pizzolato T., Féris L.J.L.A.* Determination of pharmaceutical compounds in hospital wastewater and their elimination by advanced oxidation processes. *Journal of environmental science and health, part A*. 2018, 53 (3): 213—221. doi: 10.1080/10934529.2017.1387013.
30. *Proia L., Anzil A., Subirats J., Borrego C., Farre M., Llorca M., Balcazar J.L., Servais Pierre P.* Antibiotic resistance in urban and hospital wastewaters and their impact on a receiving freshwater ecosystem. *Chemosphere*. 2018, 206: 70—82. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.04.163.
31. *Qiang Z., Macauley J.J., Mormile M.R., Surampalli R., Adams C.D.* Treatment of Antibiotics and Antibiotic Resistant Bacteria in Swine Wastewater with Free Chlorine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006, 54: 8144—8154. doi: 10.1021/jf060779h.
32. *Sorokina I.D., Dresvyannikov A.F.* Preparation, physicochemical and operational properties of iron-aluminium coagulant for treatment of natural and waste water. *Voda: khimiya i ekologiya. Water: chemistry and ecology*. 2009, 9: 16—21. [In Russian].
33. *Zheng W., Wen X., Zhang B., Qiu Y.* Selective effect and elimination of antibiotics in membrane bioreactor of urban wastewater treatment plant. *Science of the Total Environment*. 2019, 646: 1293—1303. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.240.
34. *Song Z., Ma Y., Li C.* The residual tetracycline in pharmaceutical wastewater was effectively removed by using MnO<sub>2</sub>/graphene nanocomposite. *Science of the Total Environment*. 2019, 651: 580—590. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.240.
35. *Gao X.J., Fan X.J., Chen X.P., Ge Z.Q.* Immobilized β-lactamase on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles for degradation of β-lactam antibiotics in wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2018, 15: 2203—2212. doi: 10.1166/nnl.2016.2246.
36. *Park H., Choung Y.K.* Degradation of antibiotics (tetracycline, sulfathiazole, ampicillin) using enzymes of Glutathion S-transferase. *Human and Ecological Risk Assessment*. 2007, 13: 1147—1155. doi: 10.1080/10934529.2017.1356191.
37. *Yin K., Deng L., Luo J., Crittenden J., Liu C., Wei Y., Wang L.* Destruction of phenicol antibiotics using the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process: Kinetics, byproducts, toxicity evaluation and trichloromethane formation potential. *Chemical Engineering Journal*. 2018, 351: 867—877. doi: 10.1016/j.cej.2018.06.164.
38. *Mansour F., Al-Hindi M., Yahfoufi R., Ayoub G.M., Ahmad M.N.* The use of activated carbon for the removal of pharmaceuticals from aqueous solutions: a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 2018, 17: 109—145. doi: 10.1007/s11157-017-9456-8.
39. *Kormosh E.V., Alyab'eva T.M., Pogorelova A.G.* Chemical and mineralogical aspects of the possibility of using clays of the Belgorod region in the development of sorbents for wastewater treatment. *Fundamentalnye issledovaniya: technicheskie nauki*. Fundamental research: technical Sciences. 2011, 8: 131—135. [In Russian].
40. *Pavlyuchenko Yu.A., Sokolova L.I., Shapkin N.P.* Possibility investigation of using natural aluminosilicates to treat the waste water of factory fish from antibiotics. *Natsionalnaya assosiasia uchenykh*. National Association of Scientists. 2015, 2—2 (7): 160—161. [In Russian].
41. *Wu Q., Li Z., Hong H., Yin K., Tie L.* Adsorption and intercalation of ciprofloxacin on montmorillonite // *Applied Clay Science*. 2010. Vol. 50, C. 204—211. doi: 10.1016/j.clay.2010.08.001.
42. *Blinovskaya Ya.Yu., Razmakhnin K.K., Zatsepina P.P.* Prospects for the using of bulk sorbents to remove heavy oil spills. *Zaschita ocruzhayushey sredy v nephtegazovom complekse*. Environmental protection in the oil and gas complex. 2017, 2: 30—32. [In Russian].
43. *Mazlova E.A., Meritsidi I.A., Blinovskaya Ya.Yu., Razmakhnin K.K., Kulikova O.A.* Advantages and disadvantages of oil sorbents for spill removal at the low temperatures. *Zaschita ocruzhayushey sredy v nephtegazovom complekse*. Environmental protection in the oil and gas complex. 2020, 6 (297): 55—60. doi: 10.33285/2411-7013-2020-6(297)-55-60. [In Russian].

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 15.01.2021  
Принята к публикации 24.02.2021*

### ***Сведения об авторах***

*Соколова Лариса Ивановна*, канд. хим. наук, профессор кафедры физической и аналитической химии Школы естественных наук, директор Эколого-аналитического центра ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», sokolova.li@dvfu.ru.

*Гальченко Дарья Сергеевна*, аспирант кафедры физической и аналитической химии Школы естественных наук ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

*Смирнова Мария Георгиевна*, ведущий инженер Эколого-аналитического центра ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

*Блиновская Яна Юрьевна*, д-р техн. наук, профессор департамента природно-технических систем и техносферной безопасности Политехнического института ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», blinovskaia.iaiu@dvfu.ru.

### ***Information about authors***

*Sokolova Larisa Ivanovna*, PhD (Chem. Sci.), professor, Physical and Analytical Chemistry department, director of Ecological and Analytical Center Environmental School FGAOU VO «Far Eastern Federal University».

*Gal'chenko Daria Sergeevna*, post-graduate student of Physical and Analytical Chemistry department Environmental School FGAOU VO «Far Eastern Federal University».

*Smirnova Mariya Georgievna*, master engineer of Ecological and Analytical Center Environmental School FGAOU VO «Far Eastern Federal University».

*Blinovskaya Yana Yurievna*, Grand PhD (Tech. Sci.), professor of natural and technical system and technosferical safety Polytechnical institute FGAOU VO «Far Eastern Federal University».