

## УДК 628.1

Л. Ф. ДОЛИНА<sup>1\*</sup>, О. П. САВИНА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0001-6082-7091

<sup>2\*</sup>Каф. «Гидравлика и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, эл. почта savina.o.p@gmail.com, ORCID 0000-0001-7872-6416

## ОЧИСТКА ВОД ОТ ОСТАТКОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

**Цель.** Основная цель статьи – проанализировать наличие в воде Украины и мира остаточных количеств лекарственных препаратов, а также на основании мирового и собственного опыта предложить методы очистки вод от лекарств. **Методика.** Исследования выполнены на основании анализа научных источников и отчетных данных о наличии лекарств в воде Украины, европейских стран, США (1999–2017 гг.). **Результаты.** Проанализированные источники свидетельствуют, что основной экологической угрозой мирового масштаба является наличие лекарств в питьевой воде. Очистные сооружения не приспособлены для обнаружения и разложения лекарственных средств. Во всем мире не предусмотрена борьба с данными веществами. Авторы представляют результаты комплексного рассмотрения вопросов, связанных с определением наличия лекарств в различных водах, их концентраций и наиболее опасных лекарственных препаратов-токсикантов. Медикаменты могут накапливаться не только в организме людей и животных, но и в морской и речной рыбе и т. под. Воздействие даже следовых количеств некоторых лекарств (наркотики, гормональные средства) может оказывать негативное влияние на здоровье более уязвимых слоев населения, особенно детей. Установлено, что главным виновником гормонального загрязнения воды является сельское хозяйство, а именно животноводство. **Научная новизна.** В работе обобщены имеющиеся и представлены новые методы и технологии очистки воды, такие как: электрохимический, мембранный, адсорбция на основе активированного угля, ультразвуковая обработка в присутствии катализаторов, обработка вод ферментами и персульфатами. Как второй путь снижения количества лекарств в воде предложено создание экологически чистых лекарств. **Практическая значимость.** Водные проблемы являются главными во всем мире и в Украине в том числе. Нужно предусмотреть дополнительное финансирование для решения проблемы очистки воды от лекарственных препаратов не по остаточному принципу, а по основному финансированию, учитывая то, что вода – это основа жизни на земле, и от качества воды зависит здоровье и жизнь человечества.

**Ключевые слова:** загрязнение вод лекарственными препаратами; основные лекарства-загрязнители; методы очистки вод от лекарств

## Введение

*Лекарственные средства* – это средства, которые состоят из фармакологически активных веществ и служат для профилактики, диагностики и лечения заболеваний. Лекарственные препараты, имея фармакологическую активность, обладают свойствами изменять функциональное состояние организма [15]. Как правило, прежде чем внести лекарственные препараты в медицинскую практику, их побочные эффекты на здоровье человека и животных тщательно изучаются. Тем не менее потенциальные экологические исследования фармацевтического производства и использования ле-

карственных средств лишь недавно стали темой научных интересов [19].

*Метаболиты* лекарственных препаратов – это полярные водорастворимые вещества, которые образуются вследствие физико- и биохимических процессов. В большинстве случаев они являются первоначальными соединениями. Как правило, метаболиты лекарственных препаратов (в дальнейшем будем называть лекарства) не являются токсичными по сравнению с их первоначальными соединениями. Тем не менее некоторые метаболиты могут оказаться более активными, чем исходные лекарства, введенные в организм [3].

Впервые загрязнения окружающей среды фармацевтическими препаратами были обна-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

ружены в 1970-е гг. Лекарства были найдены в сточных водах очистительного сооружения «Big Blue River» в Канзасе (США) в 1976 г. [18, 21]. Лекарства с истекшим сроком хранения или препараты, использованные не полностью, могут быть обнаружены на свалках, поскольку утилизируют их вместе с химическими отходами. Но в большинстве случаев выводимые из организма с мочой и фекалиями человека лекарства попадают в сточные воды, а затем на очистные сооружения. Данные медикаменты сами по себе являются биологически активными элементами в организме человека. Лекарства могут быть устойчивыми во внешней среде, и они не всегда адсорбируются или разрушаются полностью в организме [18, 21]. В настоящее время нет очистных сооружений, которые могут удалять метаболиты лекарств или других нерегулируемых загрязнителей, таких как средства личной гигиены. Химические реакции метаболитов в водной экосистеме до сих пор полностью не изучены. Нужно учитывать, что лекарства первоначально разрабатывают с высокой биологической активностью, и, как правило, они имеют высокую устойчивость в окружающей среде. Поскольку во многих случаях они не поддаются биологическому разложению, даже низкая концентрация лекарств и их метаболитов может накапливаться в организме людей, животных и рыб [17].

Во всех странах на сегодняшний день идет интенсивное развитие фармацевтической продукции, и это увеличивает риск производства большого количества фальсифицированной, некачественной, просроченной продукции. Более того, могут возникать риски по несоблюдению или нарушению условий хранения, несоответствию оборудования большинства медицинских предприятий современным требованиям экологической безопасности. В отличие от других токсичных загрязнителей окружающей среды, таких как тяжелые металлы, пестициды и др., лекарства специализированы для индивидуального применения, и их попадание в окружающую среду не имеет географических, климатических и других ограничений. Существует большое количество путей, которыми лекарства поступают в поверхностные воды. Основными из них являются: сточные воды фарма-

цевтических заводов, городские очистные сооружения, больницы и свалки.

На сегодняшний день лучше всего изучен процесс поступления лекарств в окружающую среду через муниципальные очистные сооружения. Впервые специалисты Touro University (США) [15] установили, что не только туалет, но и ванна, и стиральная машинка служат источником загрязнения озер, рек и океанов за счет смывания в канализацию остаточных веществ лекарственных кремов, лосьонов, мазей и гелей. Так называемые активные фармацевтические ингредиенты попадают в водостоки и потенциально загрязняют воду и почву. К таким веществам относятся стероиды (например, кортизон и тестостерон), средства от акне и другие препараты. Также отмечено, что, в отличие от внутреннего применения, наружные лекарственные средства, смываемые с водой, содержат неметаболизируемые лекарства в своей полной форме [12].

Фармоиндустрия по обороту находится в первых рядах бизнеса [2], оборот мирового фармацевтического рынка составляет 850 900 млрд долларов в год, и с каждым годом вырастает на 3 %. [21]. Общее количество лекарственных средств и их комбинаций в мире уже превышает 200 тыс. [10]. За один год человечество принимает миллионы тонн различных лекарств. Большое количество лекарств население не использует, и оно попадает в мусорные контейнеры. Идет накопление лекарств, и это представляет угрозу. Нужно начинать думать о жизненном цикле лекарств так, как мы думаем о жизненном цикле машин или одежды.

Медицинские отходы значительно отличаются от остальных и требуют к себе особого внимания из-за постоянного наличия в их составе возбудителей различных инфекционных заболеваний, токсических, а нередко и радиоактивных веществ, что создает опасность для человека.

Неправильная утилизация лекарств приводит к появлению неуязвимых вирусов-мутантов [1]. Микрочастицы даже самых новых антибиотиков или противовирусных препаратов через некоторое время можно обнаружить в почве, воде и даже продуктах питания. Оттуда микродозы лекарств неизбежно попадают в наш организм и «тренируют» бактерии и вирусы. Пе-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

чальний итог – появлення неузвимої супер-бактерії або віруса-мутанта, що мають абсолютну стійкістю до найрізніших антибіотиків та антивірусних препаратів. У Бостонському центрі адаптаційної генетики встановили, що концентрація антибіотиків у ґрунтових водах в тисячі раз перевищує той мінімальний рівень, з якого у бактерій починає розвиватися стійкість до ліків. Співробітники лабораторії німецького міста Висбаден [22] перевірили ґрунтові води Німеччини на наявність 60 найбільш поширених в Європі ліків. Результат досліджень жахає – у кожній (!) пробі води містилося більше 30 (!) з перевіряваних ліків у небезпечних для здоров'я концентраціях. Серед них снодійні, серцево-судинні, протизачаточні, протиепілептичні препарати. А коли хімічні речовини вживаються разом, виникає посилений ефект, який відомий як синергізм. Крім цього, дослідники не знають, яке вплив на організм мають комбінації фармацевтичних препаратів.

Для аналізу стічних або питьових вод на ідентифікацію ліків, присутніх у дуже низьких концентраціях, використовують дорогі методи, такі як високоефективна газожидкісна хроматографія та мас-спектрометрія. Вартість визначення деяких ліків у воді становить кілька тисяч доларів. Тут не обходиться без впливу великих фармацевтичних фірм, оскільки скандал примусив би їх почати цю інвестиційну кампанію по переведенню всієї індустрії з обсягом продажів 150 млрд доларів на нові шляхи, розробку та впровадження екологічно безпечних ліків.

### Цель

Проблеми, пов'язані з якістю питьової води, хвилюють мільйони людей в Україні та світі, незалежно від регіонів, в яких вони проживають.

Сьогодні йде інтенсивне забруднення Землі медичними препаратами. У ході досліджень останніх років було знайдено велике кількість медичних та ветеринарних препаратів у багатьох екосистемах земної кулі та навіть у таких віддалених місцях, як Аркти-

ка. На наш погляд, якщо не приймати серйозних заходів, то шкода від ліків може перевищити їх користь. Необхідно переходити до виробництва екологічно чистих ліків (екологічно безпечних) та вдосконалювати методи та технології очищення вод.

Враховуючи це, метою нашої статті є аналіз наявності в воді України та світу залишків ліків, а також на основі світового та власного досвіду розробити методи очищення вод від ліків.

### Методика

Для отримання повної інформації про масштаби забруднення води ліками препаратами було проведено аналіз наукових джерел та лабораторних звітів як українських, так і зарубіжних видань. Таким чином, теоретичною основою досліджень стали найновіші наукові розробки (1999–2017 рр.), в яких зображено, які саме ліки присутні в стічних водах, а також у питьовій воді, що постачається населенню.

### Результаты

Проведений нами інформаційний пошук показав, що кінець ХХ – початок ХХІ століття можна сміливо назвати «епохою нових ліків»: більше 90 % всіх медикаментів, які сьогодні лікарі призначають своїм пацієнтам, з'явилися в останні 30 років. Сучасні фармакологічні довідники містять до 10 тис. назв медичних препаратів. Уже не тільки в побуті, а й в медицині широко використовують штучно створені речовини, які не мають аналогів у природі. До кінця ХХ століття світова фармацевтична промисловість виробляла більше 200 тис. ліків. Статистичні дані свідчать, що сучасне людство за рік приймає мільйони тонн різних ліків. У США, наприклад, населення приймає тільки аспірин 20–30 г на день, тобто більше 10 млн кг на рік [20]. У ряді штатів США у водопровідній воді виявлено сліди десятків ліків, що призводить до виникнення невідомих захворювань. Близько третини ліків, продава-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

мых населению в Вашингтоне, каждый год остаются неиспользованными, что составляет около 33 млн контейнеров. Лекарства, выброшенные в мусорный контейнер, являются химически активными. Они могут попасть в окружающую среду, также могут быть найдены детьми или домашними животными. Никто ранее не обращал особого внимания на тот факт, что принятые нами антибиотики, гормоны и другие активные лекарственные компоненты (АЛК), покинув наш организм с мочой и фекалиями, в дальнейшем попадают на станции очистки вод, оборудование которых не способно разложить эти стойкие соединения на безопасные составляющие.

Число смертельных случаев от побочных эффектов лекарств в США достигло 125 тыс. в год, причем эта причина смерти вышла на 4-е место после заболеваний сердца, онкологии и инсультов [4]. Более половины употребленных лекарств покидают организм в биологически активной форме. В 2008 году была обнаружена по-настоящему шокирующая информация: в малых дозах те или иные лекарства (среди них антибиотики, аспирин, антидепрессанты и средства для снижения давления) содержатся в водопроводной воде практически во всех населенных пунктах США (<http://e-news.com.ua/print/366317.html>). И хотя содержание лекарств оказалось минимальным, ни один врач не может точно сказать, как повлияет на организм человека употребление такой воды в течение многих лет. Наркотики были обнаружены в питьевой воде 24 городов штатов от Южной Калифорнии до Северного Нью-Джерси. В США и Канаде вода вблизи всех крупных городов сильно загрязнена лекарствами.

В Берлине в водопроводной воде ученые обнаружили ортокислоту, которая используется при производстве лекарств, снижающих уровень холестерина. На очистных сооружениях Гётеборга (Швеция) обнаружено 14 препаратов в концентрациях, которые варьировали от наногаммов до миллиграммов на литр [10]. Широко применяемое противовоспалительное и болеутоляющее средство ибупрофен было обнаружено в наибольшей концентрации – 7 мг/дм<sup>3</sup>. Более 180 из 3 000 разрешенных активных веществ уже обнаружены в водах Германии [10], в том числе антибиотики, психотроп-

ные и противозачаточные средства, женские половые гормоны. Поверхностные воды Германии содержат около 2 мг/л женского полового гормона эстрогена.

В Великобритании в питьевой воде обнаружен бензоилэргонин – вещество, находящееся в моче после употребления кокаина. Помимо бензоилэргонина в воде также было обнаружено значительное количество кофеина, ибупрофена и противоэпилептического лекарства карбамазепина [18].

Фармацевтические заводы Индии хоронят большое количество опасных химических отходов. Шведские исследователи обнаружили в 2007 году в Хайдарабаде (Индия) очень высокие концентрации антибиотиков и других лекарств в очищенных сточных водах фармацевтических предприятий [16].

В израильской воде в прибрежном районе Беэр-Тувии обнаружены гормоны и антибиотики. Гормоны попали в воду из коровьих экскрементов. Эти животные получают гормональные препараты для улучшения качества молока.

Подземные питьевые источники в курортах Альп отравлены тридцатью видами наиболее распространенных лекарств [10].

В рамках проекта BASE проводится мониторинг рек Петербурга и Ленобласти на содержание в них лекарств и пластика. Пока экологов интересует наличие в воде двух препаратов – диклофенака и эстрадиола [17, 25]. Результаты настораживают: очистные сооружения практически не задерживают лекарства. Значительное содержание лекарств обнаружено в Ладожском озере.

В табл. 1 представлены некоторые обнаруженные в воде лекарственные вещества и их фармакологическое действие [6]. Лекарства действуют на фоне других ксенобиотиков (от греч. «чуждый» и «жизнь»), которые в свою очередь могут оказывать негативное воздействие на человека и гидробиоту, а также быть синергистами лекарств и их метаболитов.

Сейчас реализуется проект «Medical Waste» – «Экологическая утилизация опасных медицинских отходов в трансграничном регионе (Эстония–Латвия–Россия) [14].

Как видим из краткого обзора, лекарства в воде и почве присутствуют во всех странах Азии, Европы и Америки.

Таблица 1

## Концентрация лекарственных веществ в водоемах России

Table 1

## Concentration of medicines in the reservoirs of Russia

Лекарственное вещество	Фармакологическое действие	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	Место обнаружения
N-бутил-бензолсульфамид	Противогрибковое, противоопухолевое (лечение рака простаты)	0,026	Река Москва
1,3,7-триметилксантин (кофеин)	Психостимулирующее, analeptическое	0,026 0,027*	Река Москва Иваньковское водохранилище
13-докозенамид	Ранозаживляющее	0,006 0,024 0,012	Река Москва Иваньковское водохранилище Истринское водохранилище
12-метатетрадекановая кислота	Противоопухолевое	0,038	Иваньковское водохранилище
Буган-1,2,3,4-тетраол (эритиол)	Лечение острых неврологических расстройств, нейропротектор	0,0022 0,002	Иваньковское водохранилище Истринское водохранилище
Бета-ситостерол	Противовоспалительное, противовирусное, лечение расстройств простаты	0,005 0,234*	Угинское водохранилище Иваньковское водохранилище

Примечание \*. В случае пробы донных отложений, концентрация в мкг/г

*Загрязнение вод и почв лекарствами в Украине.* Выступая на FM-радио «Эра» 7 декабря 2017 года (18–00), исполняющая обязанности Министра охраны здоровья сказала, что в Украине используется 16 тыс. лекарств, из которых 76 % производится в Украине. Правительство Украины совместно с Государственным экспортным центром Министерства охраны здоровья работает над созданием прозрачного единого номенклатурного реестра всех лекарственных препаратов.

Исследование, проведенное Институтом химии воды НАН Украины ([http://www.vetom.com.ua/news/url/antibiotiki\\_v\\_vode](http://www.vetom.com.ua/news/url/antibiotiki_v_vode)) (2011 г.), показало, что питьевая вода, поставляемая украинцам, содержит множество фармацевтических препаратов, включая антибиотики, половые гормоны, успокоительные и

антидепрессанты, обезболивающие, а также многие другие, отпускаемые по рецепту врача. Концентрация этих лекарств в питьевой воде ничтожно мала, однако ученых беспокоят возможные последствия длительного употребления пусть и незначительных доз лекарств. Почти 70 % потребляемых лекарств выводится естественным путем и попадает в канализацию. Сточные воды, пройдя необходимую очистку, вновь попадают в реки, озера и почвы. Очистные сооружения в Украине не способны удалить из воды лекарства, а обеззараживание воды хлором усиливает токсичность некоторых содержащихся в ней лекарств. Ученые полагают, что по прошествии десятков лет негативный эффект от загрязненной таким образом воды проявится в полной мере.

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

Биолог А. Шпаков [15] утверждает, что лекарства, тоннами поглощаемые в больших городах, попадают вместе со стоками в водные системы, накапливаются там и создают значительную опасность для здоровья. Длительное время было принято считать, что после использования лекарства полностью разрушаются. Теперь установлено, что более половины употребленных лекарств покидают организм в биологически активной форме, т. е. практически не теряют своих свойств. Они в большом количестве попадают в сточные воды, а оттуда в источники питьевой воды.

Авторы этой статьи обнаружили в водах реки Днепр и водопроводной воде множество лекарств [1, 2]. Наши очистные сооружения не приспособлены для определения и разложения лекарственных средств, отсутствуют нормативно-правовые документы, регламентирующие сброс в водные объекты органических микрзагрязнителей (ОМЗ). До настоящего времени в Украине проблема загрязнения природных вод ОМЗ не рассматривалась ни на официальном, ни на академическом уровнях.

Полученные данные мониторинга качества воды в различных странах мира показали, что она загрязнена лекарствами в той или иной степени, но особенно вода загрязнена вблизи всех крупных городов. Ситуация настолько плоха, что химические стоки фармацевтики ставят под угрозу будущее жизни на нашей планете. Следы лекарств приводят к появлению неизвестных болезней. Всемирная организация здравоохранения установила, что наше здоровье зависит: на 50 % – от образа жизни, 20 % – от наследственности, 23 % – от экологической обстановки и только 7 % – от здравоохранения, т. е. от медицины [4].

Ученые всех стран обнаружили в реках, озерах и глубоких водоносных пластах различные группы лекарств:

- антибиотики;
- противовоспалительные;
- стероидные гормоны;
- противозачаточные средства;
- сердечно-сосудистые;
- противоэпилептические;
- для снижения веса и борьбы с ожирением;
- высокотоксичные противоопухолевые препараты;

- продукты косметики и парфюмерии;
- антидепрессанты, психотропные, снотворные;
- контрастные вещества, используемые при рентгенодиагностике;
- противогрибковые средства.

В журнале «Токсикология и химия окружающей среды» микробиолог Андрес Хартман из Швейцарского федерального института технологии (Цюрих) сообщает, что многие антибиотики «на выходе» из организма почти не изменяются и, сохраняя свою убийственную силу, попадают в водоемы, из которых мы затем пьем воду, оказываются в мясе домашнего скота, в овощах и фруктах [15]. Постоянно сосуществуя в природе с микробами, антибиотики делают их невосприимчивыми к лекарствам, и потому совершенно неуязвимы для них. Авторы этой статьи предполагают, что антибиотики, попадая на сооружения биологической очистки (аэротенки, биофильтры и биореакторы), влияют на работу активного ила и биопленку, понижая их эффективность. Ученые разных стран мира предупреждают, что регулярно попадающие в воду лекарства меняют экологию водоемов, обуславливая у их обитателей глубокие изменения на генетическом уровне [13]. Следовательно, необходимо ускорить разработку и внедрение экологически безопасных лекарств и методов доочистки сточных вод от лекарств. Экологически чистые лекарства – это препараты, которые после оказания человеку необходимой помощи будут быстро разрушаться, превращаясь в биологически неактивные «осколки» еще до того момента, как покинут организм. В крайнем случае это должно происходить в очень короткие сроки после их попадания в природную среду.

Еще лет десять назад при лечении различных инфекционных заболеваний можно было использовать 15–20 антибиотиков. Сейчас реально эффективны 5–6, а по прогнозам ВОЗ, еще через лет 10–20 практически все существующие микроорганизмы приобретут устойчивость к антибиотикам. Современные бактерии начинают игнорировать лекарства уже через 2–3 года после их появления [2].

В Бостонском центре адаптационной генетики установили, что концентрация антибиотиков в грунтовых водах в тысячи раз превышает тот минимальный уровень, с которого у бакте-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

рий начинает развиваться устойчивость к лекарствам [10].

В июне 2002 г. [10] Министерство окружающей среды (Берлин) обнаружило, что поверхностные воды Германии содержат около 2 мг/л женского полового гормона эстрогена. Этот гормон является основным компонентом противозачаточных таблеток. Они усваиваются организмом женщины только на 10–15 %, остальное попадает в канализацию. 2 мг/л женских гормонов в питьевой воде... Много это или мало? 0,5 мг/л этого вещества в воде через 6 месяцев вызывает у рыб мужского пола перерождение в женский и падение размножения на 90 %.

Исследователи Рурского университета Бохума установили прямую зависимость между эстрогенами в питьевой воде и тенденцией к понижению количества сперматозоидов у мужчин, снижению сексуального влечения, а также повышению заболеваний рака половых органов [10].

Установлено, что коммерческая бутилированная вода в Испании содержат более 50 фармакологически активных веществ, а также вызывающий привыкание никотин. Содержание никотина в воде варьировалось от 7 до 15 нг/л [9].

Национальным институтом общественного здоровья Чешской Республики были собраны образцы из 92 источников питьевой воды для исследований, в ходе которых было обнаружено высокое содержание ибупрофена, карбамазепина, напроксена и диклофенака. Концентрация варьировалась от 0,5 до 20,7 нг/л [11].

Исследователи из Нидерландов обнаружили в источниках воды 12 лекарств и 7 продуктов преобразования (метаболиты). Шведские исследователи между 2007 и 2009 годами протестировали четыре водоема в Монреале (Канада). Они обнаружили, наряду с гербицидами, значительное содержание кофеина и ряда лекарств: карбамазепин, напроксен, гемфиброзил, триметопром, а также эстрон и эстрадиол [21].

Результаты проверок качества питьевой воды удивили даже опытных британских инспекторов – в жидкости были обнаружены следы кокаина, точнее бензоилэксгонина – вещества, находящегося в моче после употребления кокаина [14]. Кроме того, были обнаружены значи-

тельные количества кофеина, болеутоляющего ибупрофена и противоэпилептического лекарства – карбамазепина. Воздействие даже следовых количеств наркотических средств в воде может оказать негативное влияние на здоровье более уязвимых слоев населения, таких как дети. Единственный способ решить проблему заключается в инвестировании в лучшую очистку сточных вод от фармацевтических средств.

Вода в пластиковых бутылках опаснее водопроводной [6]. К такому выводу пришли, когда обнаружили в воде бисфенол А, который похож на женский гормон эстроген. У людей, которые употребляют воду и другие напитки из пластиковых бутылок, наличие гормонов приводит к развитию сердечно-сосудистых заболеваний и диабета, и даже к поражению печени.

Лекарства в системе водоснабжения могут являться причиной развития аутизма у генетически уязвимых людей. К такому выводу пришли эксперты из Университета штата Айдахо в Бойсе (США) [24]. Исследование показало, что достаточно даже очень низких уровней лекарств – антидепрессантов в воде, чтобы вызвать это расстройство. Психотропные лекарства широко используются в современной медицине. Не исключено, что при попадании в систему водоснабжения они становятся причиной нарушений в психическом развитии людей.

Согласно исследованиям Гетеборгского университета в Швеции, клотримазол (лекарство, которое применяется для лечения грибковых инфекций) загрязняет экосистему океана [21]. Для эксперимента были использованы сообщества естественных микроводорослей – перифитон. Их подвергали различным концентрациям клотримазола в течение 4 дней. В результате исследования было обнаружено, что клотримазол нарушает метаболизм водорослей, которые находятся в нижней части пищевой цепи океана. Дело в том, что одноклеточные микроводоросли являются фундаментальной основой пищи и попадание в них клотримазола может повлиять на всю экосистему океана.

Диклофенак – биологически активное вещество, входящее в состав ряда широко распространенных противовоспалительных и болеутоляющих средств [14]. Установлено, что диклофенак токсичен для рыб, он нарушает работу их почек. Этот же эффект наблюдается и у лю-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

дей как одно из побочных действий при длительном приеме препарата. Специалисты предлагают полностью запретить его из-за увеличения (примерно на 40 %) риска инфарктов и других сердечно-сосудистых заболеваний.

### Научная новизна и практическая значимость

Лекарства в питьевой воде – это, по словам современного эколога Томаса Терне (2016 г.), страшная угроза мирового масштаба [3]. Для решения этой проблемы есть два пути: первый – это создание экологически чистых лекарств; второй – совершенствование действующих и создание новых эффективных методов и технологий для очистки вод от лекарств.

Методы очистки вод делятся на механические, химические, физико-химические, биологические и комбинированные. Применение того или иного метода в каждом конкретном случае определяется характером загрязнения, степенью вредности примесей, эффективностью очистки и другими показателями. Механическая очистка – это грубая очистка, которая заключается главным образом в очистке вод от взвешенных веществ, нерастворяющихся в воде. Многие лекарства – это растворимые в воде химические препараты, и для них применимы химические, физико-химические, некоторые биологические и комбинированные методы (рис. 1).

Химическую очистку применяют в тех случаях, когда выделение загрязнений, в том числе лекарств, возможно только в результате химической реакции между примесью (лекарством) и реагентом с образованием новых веществ, которые легко удалить из воды. Для такой очистки используют реакции окисления или восстановления, нейтрализации, перевод вредных примесей в безвредные, обезвреживание методом озонирования, хлорирования и др. Этот метод, наряду с физико-химическими и комбинированными, находит наиболее широкое применение в практике очистки вод от лекарственных препаратов.

Остановимся на традиционных биологических методах очистки сточных вод. Они имеют ряд преимуществ перед многими физико-химическими методами, поскольку экологически чище, не требуют сложного аппаратного

применения, имеют низкие эксплуатационные расходы. Наряду с бесспорными достоинствами традиционных методов, у них есть серьезные недостатки. Они непригодны для очистки стоков, с очень высоким химическим потреблением кислорода (ХПК), а также стоков, содержащих токсические или труднорастворяемые соединения, к которым относятся многие лекарства. Анализ научных источников показал, что только в редких случаях для очистки сточных вод от лекарств были использованы мембранные биореакторы, метан-реакторы и биофильтры, на загрузку которых были иммобилизованы активные ферменты.

*Озонирование.* Окислительно-восстановительный потенциал озона выше, чем у кислорода и хлора, вследствие чего он обладает более высоким окислительным и бактерицидным действием [7]. Следует отметить, что обработка воды озоном или ультрафиолетовыми лучами практически полностью вытеснила хлорирование на станциях очистки воды во многих странах Западной Европы [21]. В Украине применение этих экологически эффективных технологий ограничено из-за высокой стоимости переоборудования и реконструкции водочистных станций, но это должно быть сделано. В последние годы появились новые процессы на основе новых окислительных технологий [10].

К озонированию относятся как процессы прямого окисления органических соединений или обеззараживания растворенным в воде озоном, так и окислительные процессы, протекающие при участии гидроксильных радикалов, образующихся в результате химических трансформаций солей. Именно последние процессы рассматривают в числе новых окислительных технологий. При этом если стандартный восстановительный потенциал озона равен 2,07 В, то у гидроксильных радикалов этот показатель достигает 2,8 В. Образование гидроксильных радикалов в результате трансформации озона в водной среде увеличивается в присутствии пероксида водорода, катализаторов, активированного угля, при совмещении озонирования с ультрафиолетовым облучением и ультразвуковой обработкой [10].



ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

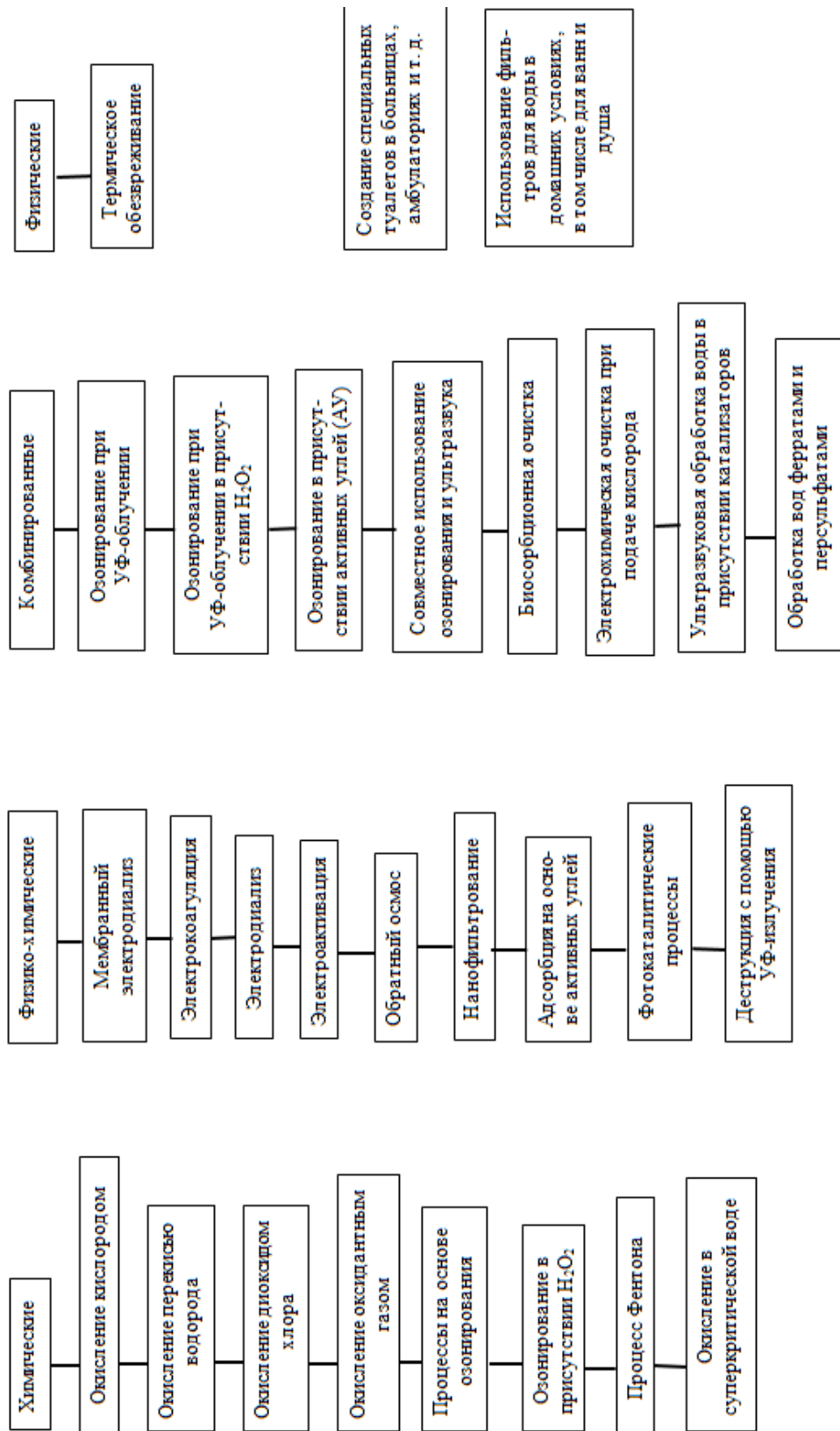


Рис. 1. Методы очистки вод от остатков лекарственных препаратов, разработанные в Днепропетровском национальном университете железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Fig. 1. Water cleaning techniques from residues of medical preparations, developed in Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

*Озонирование в присутствии пероксида водорода (процесс «Пероксон»)*. Концентрацию озона и  $H_2O_2$  подбирают экспериментально в зависимости от типа загрязнений (лекарств) и их исходной концентрации. Процесс «Пероксон» получил достаточное распространение вследствие его простоты, при этом в целом ряде случаев вышел на уровень пилотных испытаний и промышленной реализации. Данный процесс может быть проведен в обычном реакторе для озонирования [8], требуется лишь установка дозатора пероксида водорода. Его применяют при очистке питьевой воды от хлорорганических веществ, алифатических соединений, спиртов, при удалении бактерий, вирусов, цист. Пероксид водорода обычно добавляют после проведения озонирования, причем более эффективным является ступенчатое дозирование.

*Озонирование при ультрафиолетовом облучении*. В данном процессе деградация загрязняющих веществ происходит в результате прямого фотолиза, прямого озонирования и взаимодействия с гидроксильными радикалами. Последние образуются при трансформации озона под воздействием УФ-облучения через промежуточное образование пероксида водорода.

Преимущества процесса [10] по отношению к традиционному озонированию выявлены в многочисленных исследованиях по деградации веществ с гормональной активностью, метилметакрилата, фталатов, фенантрена, нитробензола, фенольных соединений (фенолы, хлорофенолы, нитрофенолы, крезолы, ксиленолы, катехины). Во всех случаях достигается максимальная минерализация загрязняющих веществ, в том числе и лекарств.

*Озонирование при ультрафиолетовом облучении в присутствии пероксида водорода*. Это весьма эффективный метод деградации и минерализации веществ в сточных водах с высокой степенью загрязнения. Проведены исследования применения данного процесса для деградации фенола, бензойной кислоты, нитротолуола, резорцинола, мета-, орто- и паракрезоло, 2,3-, 2,5-, 2,6-диметилфенола, 5-метилрезорцина. Примеров полномасштабной реализации метода немного.

*Озонирование в присутствии катализаторов*. Используются гомогенные катализаторы в виде ионов металлов (Mn (II), Fe (II),  $C_5$  (III), Ag (I), Cu (II), Co (II), CD (II)) и гетерогенные

катализаторы в виде различных нерастворимых форм ряда металлов (оксиды и др.). Недостатком процесса является присутствие в водной фазе после обработки ионов тяжелых металлов. Используется в промышленности для удаления хлорированных углеводов из подземных вод и фильтрата полигонов ТБО.

*Озонирование в присутствии активированного угля (процесс «Карбозон»)*. Данный процесс является сравнительно новым, но весьма перспективным среди новых окислительных процессов. Результаты достижимы при pH выше 6. При очистке вод от красителей и ароматических сульфониевых соединений были получены хорошие результаты деградации.

*Совместное использование озонирования и ультразвука (процесс «Сонозон»)*. Ультразвуковые волны в жидкой среде вызывают явления кавитации и микротурбулентности, способствующие деградации молекул озона и образованию гидроксильных радикалов. В присутствии ультразвука расход озона может сокращаться на 60–70 %. Были получены хорошие результаты при очистке вод от органических веществ, ароматических соединений, текстильных красителей, фенола, очистке сточных вод ликеро-водочных заводов. Однако метод является достаточно затратным, что препятствует его широкому применению.

*Процесс Фентона*. Этот процесс основан на использовании реагента Фентона, т. е. смеси соли  $Fe^{2+}$  (катализатора) и пероксида водорода (окислителя) [9, 10]. Процесс Фентона ускоряется при воздействии света, что повышает степень минерализации органических веществ и снижает эксплуатационные расходы.

Примеров проведения экспериментов различного масштаба по использованию процесса Фентона в схемах очистки воды чрезвычайно много.

Так, в процессе Фентона при расходе Fe (II) 20 мг/л и молярном соотношении  $H_2O_2$  / Fe (II) 2,5 достигнута полная деструкция лекарств в сточных водах: ацетаминофена, атенолола, атразина, карбамазепина, метопролола, дилантина, диклофенака, пентоксифиллина, оксибензола, кофеина, флуоксетина, гемфиброзила, ибупрофена, йопромида, напроксена, пропранолола, сульфаметоксазола, бисфенола А и триметоприма. Снижение содержания об-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

шого органічного вуглецю в цьому випадку становить 30 %. Повна деструкція і 95-процентна мінералізація гербіциду мезотриона досягнута при рН 3,5. Інтересні результати отримані при обробці схеми доочистки (після біологічної очистки в системі з активним илом) комунальних стічних вод, скинутих в Женевське озеро (Лозанна, Швейцарія). Тут на очистних спорудах вдалося досягти зниження вмісту 32 органічних мікрозабруднень (лікарства, інгібітори корозії, пестициди) на 97–98 % при використанні фотокаталітичної системи Фентона з облученням ультрафіолетом (254 нм) практично в нейтральній середі. Крім цього, ввиду вмісту в стічних водах заліза (1,5 мг/л), сталося можливим виключити використання цього реагента.

При використанні процесів електро-Фентон і фотоелектро-Фентон досягнута 94–98 % деструкції в воді наркотичного препарату ацетамінофену і в стічних водах противірусного препарату флуімуцилу [5].

*Оксидантний газ.* В відміння від використовуваних в даний час в Україні систем, що використовують хлор, в системах ОХІ застосовується унікальна технологія отримання оксидантного газу – оптимальної суміші окислювальних газів (хлору, діоксида хлору, перекиси водню, атомарного кисню) [14]. Система працює за принципом електролітичного розкладання розчину кухонної солі (NaCl) з використанням іоноселективної мембранної технології. Мембрана від Dupont high-tech є ключем до успіху всієї технології отримання оксидантного газу. Система ОХІ – електролітична установка мембранного типу, що дозволяє отримувати оксидантний газ локально, дозувати і направляти його в воду і контролювати процес обеззараження і очистки води автоматично.

Газогенеруюча установка по виробництву оксидантного газу ОХІ складається з двох полівинілхлоридних відділень, анодного і катодного, з'єднаних між собою. Анодне відділення містить титановий сітчастий електрод, а катодне відділення – сітчастий електрод з нержавіючої сталі. Між двома електродами встановлена перфорована мембрана, що здатна пропускати тільки позитивно заряджені іони. Оксидантний газ

подається, за потреби, безпосередньо в воду (без резервуару) для її обробки. Він є ефективним засобом дії в окислювальних процесах при очищенні вод.

*Очистка води киснем* – ефективний метод видалення шкідливих для здоров'я людини хімічних сполук, зокрема ліків. Кисень – найлегше доступний екологічний окислювач. Він подається в напорну водопровідну магістраль за допомогою аераційного ежектора або компресора для аерації води. Очищення води киснем може бути двох типів: безнапорна аерація і напорна аерація.

*Окислення діоксидом хлору (ClO<sub>2</sub>)* Особливістю цього методу є те, що діоксид хлору відштовхує всі електрони і ніколи не з чим не комбінується. Він руйнується в процесі. Таким чином, це «чиста ліквідація»: і речовина, яке знищено, і діоксид хлору не залишають ніяких нових хімічних сполук після себе.

*Фізико-хімічні і комбіновані методи.* Як зазначено вище, при озонуванні води використовувалися інші методи (УФ-облучення, ультразвук, активоване вугілля і др.) для підвищення ефективності і економічності процесів. В результаті застосування комбінованих схем можуть бути значно зменшені експлуатаційні витрати при високій ефективності очистки води порівняно з індивідуальними методами. Полагаємо, що за розвитку науково-дослідницьких випробувань в цій області кількість промислових установок, що використовують комбіновані методи і схеми очистки стічних вод, буде зростати.

*Адсорбція.* Один з найбільш ефективних методів глибокої очистки води від розчинених речовин і ліків. Перевагою методу є можливість поглинання речовин багатоконпонентних сумішей, а також висока ефективність очистки, особливо слабконцентрованих стічних вод. Як сорбенти використовують різні штучні і природні пористі матеріали (активоване вугілля, цеоліти, зола, торф і др.). Ефективність адсорбційної очистки досягає 80–95 %.

Вивчені кінетичні закономірності адсорбції ліків стрептоциду (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S), норсульфазолу (C<sub>9</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>O<sub>2</sub>S<sub>2</sub>), прокаїну

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

( $C_{13}H_{20}N_2O_2$ ), кофеїна ( $C_8H_{10}N_4O_2$ ), левамизола ( $C_{11}H_{12}N_2S$ ) на активному углі різної пористої структури. В якості сорбентів використовували активний вугіль КАУ (косточковий), F400 (бітуминозний) і активний антрацит (АА). Концентрацію лікарств визначали на спектрофотометрі Shimadzu UV-2450 з точністю до  $0,2 \text{ мг/дм}^3$  по максимуму поглинання в УФ-області при довжині світла:  $258 \text{ нм}$  – для стрептоцида і норсульфазола,  $272 \text{ нм}$  – для кофеїна,  $289$  і  $212 \text{ нм}$  – відповідно для прокаїна і левамизола. Швидкість адсорбції лікарств зменшується в ряду стрептоцид–кофеїн–прокаїн–норсульфазол–левамизол і зменшується з збільшенням частки мікропор в структурі сорбентів. Використання  $50\%$  сорбційної ємкості активного вугля досягається за  $10\%$  часу, необхідного для встановлення адсорбційного рівноваги. Кінетика адсорбції деяких лікарств (ацетамінофен, карбамазепін, диклофенак, гемфіброзил, ібупрофен, кетопрофен, сульфаметоксазол, триметоприм) була вивчена на гранульованому мезопористому сорбенті SBA-15 (GMS), кофеїна і диклофенака – на F400. Вивчена можливість застосування перспективного сорбента на основі скорлупи кокосового ореха PICASTIFTE.

Прокаїн – один з широко використовуваних місцевих анестетиків. При його гідролізі утворюється параамінобензойна кислота (ПАБК) і діетиламіноетанол. Для людського організму велика кількість ПАБК може викликати пошкодження печінки. Тому фактично повне її видалення з води є актуальною задачею [11].

При очищенні води від поверховно-активних речовин (ПАВ), хлор- і нітропродуктів фенолів, барвників і фармацевтичних препаратів використовують біосорбційні методи. Немалу роль при цьому грають мікроорганізми, утворюючи біоплівку на поверхні активного вугля (АУ).

*Обробка ферратами і персульфатами.* Феррати є одними з найбільш сильних відомих окислювачів. В кислому середовищі окислювальний потенціал іонів  $FeO_4^{2-}$  ( $2,2 \text{ в}$ ) вище значення цього показника для озона ( $2,07 \text{ в}$ ). Під впливом ферратів здатні деградувати багато токсичних речовин, зокрема лікарств, до нетоксичних продуктів [10].

Феррати є достатньо дорогим реагентом, для їх отримання застосовують багатоступінчастий синтез. При доочищенні стічних вод від лікарств, засобів особистої гігієни були отримані хороші результати: ступінь очищення становила в межах  $67\text{--}88\%$ , а витрати ферратів склали  $2,5 \text{ мг/дм}^3$  в розрахунок на Fe. Іншим сильним реагентом з окислювальним потенціалом  $2,1$  є персульфати  $S_2O_8^{2-}$ .

*Електрохімічні процеси (електродіаліз, електрокоагуляція, внутрішній мікроелектроліз і др.).* Характеризуються незначительним впливом на навколишнє середовище, гнучкістю застосування, безпекою, більш високою рентабельністю. В останній час проведено багато численні експерименти різного масштабу по очищенню анодним окисленням синтетичних розчинів і стічних вод від лікарств з використанням ДБАА, а також платинових і титанових (з покриттям з оксидів олова, рутенію і іридію) анодів [10]. ДБАА – це допирований бором алмазний анод. Електроди з цього матеріалу, наприклад, мають високу перенапругу виділення кисню і водню в водних електролітах. Дані електроди добре зарекомендували себе в нових областях застосування, таких як електрохімічне обеззараження води, видалення хімічних сполук з гормональною активністю, стійких органічних речовин (фенольних сполук, барвників ПАВ і др.). В Німеччині проведено випробування по очищенню промислових стічних вод з використанням анодів ДБАА.

### Висновки

Як видно з аналізу досліджень останніх років, багато екосистем земної кулі забруднені великою кількістю медичних і ветеринарних препаратів.

Випускаються фармацевтичною промисловістю лікарств усваиваються людським і тваринним організмом на  $10\text{--}20\%$ , а решта йде в відходи. Крім цього, лікарств розробляються з високою біологічною активністю, вони мають високу стійкість в навколишньому середовищі.

Особливо забруднена вода лікарствами поблизу великих міст.

Дослідження показали, що постачувана вода в Україні містить велику кількість фармацев-

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

тических препаратов, включая антибиотики, половые гормоны, успокоительные и противосудорожные препараты, обезболивающие, а также многие другие. Концентрация этих лекарств разная, но в целом невелика, однако ученых всерьез беспокоят возможные последствия длительного употребления пусть и незначительных доз лекарств с питьевой водой.

Наибольшая опасность от наличия лекарств в воде состоит в том, что все эти химические вещества потребляются вместе. Исследователи не знают, какое влияние на организм оказывают комбинации фармацевтических препаратов.

Из исследовательских методов очистки воды от лекарств наиболее перспективными являются: химические, некоторые физико-химические и комбинированные. Обработка воды новыми методами озонирования или УФ-лучами практически полностью вытеснила хлорирование на станциях очистки вод во многих странах. В Украине применение этих экологически эффективных технологий ограничено из-за высокой стоимости переоборудования и реконструкции водоочистных станций.

В последние годы появились новые процессы на основе окислительных технологий: процесс «Пероксон», озонирование при УФ-облучении, озонирование при УФ-облучении в присутствии пероксида водорода, процесс «Карбозон», процесс «Сонозон», окисление оксидантным газом, процесс Фентона, окисление в суперкритической воде, фотокаталитические процессы и др. Из физико-химических и комбинированных методов очистки вод от лекарств могут быть рекомендованы следующие:

- электрохимические (мембранный электролиз, электроактивация, электрохимическая очистка при подаче кислорода);
- адсорбция на основе активных углей;
- мембранные (наночистка + обратный осмос и др.);
- ультразвуковая обработка в присутствии катализаторов;
- обработка вод ферментами и персульфатами.

Кроме того, для устранения загрязнения воды фармацевтическими препаратами необходимо переходить на производство экологически безопасных лекарств.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андрищенко, Е. Лекарства травят питьевую воду [Электронный ресурс] / Е. Андрищенко // Днепр вечерний. – 2017. – 17 июл. – Режим доступа: <http://dv-gazeta.info/vechyorka/zdorovje/lekarstva-travyat-ritevuuch-vodu.html> – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
2. Бактерии обзавелись иммунитетом [Электронный ресурс] / Санкт-Петербургские Ведомости. – 2014. – 16 окт. – Режим доступа: [https://spbvedomosti.ru/news/obshchestvo/bakterii\\_obzavelis\\_immunitetom/](https://spbvedomosti.ru/news/obshchestvo/bakterii_obzavelis_immunitetom/) – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
3. Баренбойм, Г. М. Загрязнение природных вод лекарствами / Г. М. Баренбойм, М. А. Чиганова. – Москва : Наука, 2015. – 283 с.
4. Белоусов, Ю. Б. Клиническая фармакология и фармакотерапия / Ю. Б. Белоусов, В. С. Моисеев, В. К. Лепяхин. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Универсум Паблишинг, 1997. – 531 с.
5. Биосорбция прокаина на биологически активном угле / Е. А. Корж, Н. А. Клименко, С. К. Смолин, Л. Р. Решетняк // Химия и технология воды. – 2016. – Т. 38, № 5. – С. 519–530.
6. Вода в бутылках опаснее водопроводной [Электронный ресурс] / підг. М. Доржиева. – Режим доступа: <https://www.epochtimes.ru/content/view/69576/7/> – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
7. Долина, Л. Ф. Новые методы и оборудования для обеззараживания сточных и природных вод : монография / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Континент, 2003. – 218 с.
8. Долина, Л. Ф. Реакторы для очистки сточных вод : учеб. пособие / Л. Ф. Долина. – Днепропетровск : Стандарт, 2001. – 28 с.
9. Корж, Е. А. Кинетика адсорбции фармацевтических веществ из водных растворов на активных углях / Е. А. Корж, С. К. Смолин, Н. А. Клименко // Химия и технология воды. – 2016. – Т. 38, № 4. – С. 342–353.
10. Кофман, В. Я. Новые окислительные технологии очистки воды и сточных вод : обзор зарубежных изданий. Ч. 2 / В. Я. Кофман // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 11. – С. 70–77.

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

11. Лекарства и лекарственная болезнь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.medn.ru/statyi/lechenie-solyu-skipidarom-kerosinom/lekarstva-i-lekarstvennaya-bolezn.html> – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
12. Лившиц, В. Лекарства как экологическая проблема [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proza.ru/2013/02/27/1830> – Загл. с экрана. – Проверено : 19.06.2018.
13. Оценка биологической опасности органических ксенобиотиков в источниках водоснабжения / В. Н. Данилов-Данильян, В. В. Поройков, М. А. Чиганова [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 10. – С. 17–24.
14. Фармацевтические средства в питьевой воде [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/emerging/info\\_sheet\\_pharmaceuticals/ru/](http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/info_sheet_pharmaceuticals/ru/) – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
15. Шпаков, А. Антибиотики и стероиды отравляют сточные воды [Электронный ресурс] : Смерть из канализации / А. Шпаков // Коммерсант. – 1999. – 26 июн. – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/220792> – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
16. Al-Khazraji, O. S. A. Factors affecting the dissipation of pharmaceuticals in freshwater sediments / Omar S. A. Al-Khazraji, Ed Bergström, Alistair B. A. Boxall // Environmental Toxicology and Chemistry. – 2017. – Vol. 37. – Iss. 3. – P. 829–838. doi: 10.1002/etc.4015
17. Boxall, A. B. A. The environmental side effects of medication / A. B. A. Boxall // EMBO reports. – 2004. – Vol. 5. – Iss. 12. – P. 1110–1116. doi: 10.1038/sj.embor.7400307
18. Domercq, P. Emission and fate modelling framework for engineered nanoparticles in urban aquatic systems at high spatial and temporal resolution / Prado Domercq, Antonia Praetorius, Alistair B. A. Boxall // Environmental Science: Nano. – 2018. – Vol. 5. – Iss. 2. – P. 533–543. doi: 10.1039/c7en00846e
19. Fent, K. Ecotoxicology of human pharmaceuticals / K. Fent, A. Weston, D. Caminada // Aquatic Toxicology. – 2005. – Vol. 76. – Iss. 2. – P. 122–159. doi: 10.1016/j.aquatox.2005.09.009
20. Human Pharmaceuticals: Assessing the impacts on aquatic ecosystems / Edited by R. Williams. – Pensacola : SETAC, 2005. – 392 p.
21. Occurrence and ecotoxicological assessment of pharmaceuticals: Is there a risk for the Mediterranean aquatic environment? / F. Desbiolles, L. Malleret, C. Tiliacos, P. Wong-Wah-Chung, I. Laffont-Schwob // Science of the Total Environment. – 2018. – Vol. 639. – P. 1334–1348. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.351
22. Probe: Pharmaceuticals in Drinking Water [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cbsnews.com/news/probe-pharmaceuticals-in-drinking-water/> – Загл. с экрана. – Проверено : 04.06.2018.
23. Sumpter, J. P. Pharmaceuticals in the Environment: Moving from a Problem to a Solution / J. P. Sumpter // Green and Sustainable Pharmacy / Editors K. Kummerer and M. Hempel. – Berlin : Springer-Verlag, 2010. – P. 11–22.
24. Waters reality in Ukraine worldwide / L. F. Dolina, P. B. Mashykhina, A. A. Karpo, A. A. Mishchenko // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – № 5 (71). – С. 7–18. doi: 10.15802/stp2017/113695

Л. Ф. ДОЛИНА<sup>1\*</sup>, О. П. САВИНА<sup>2\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта [water.supply.treatment@gmail.com](mailto:water.supply.treatment@gmail.com), ORCID 0000-0001-6082-7091

<sup>2\*</sup>Каф. «Гідравліка та водопостачання», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 273 15 09, ел. пошта [savina.o.p@gmail.com](mailto:savina.o.p@gmail.com), ORCID 0000-0001-7872-6416

## ОЧИЩЕННЯ ВОД ВІД ЗАЛИШКІВ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ

**Мета.** Основна мета статті – проаналізувати наявність у воді України та світу залишкових кількостей лікарських препаратів, а також на підставі світового та власного досвіду запропонувати методи очищення вод від ліків. **Методика.** Дослідження виконані на підставі аналізу наукових джерел і звітних даних про наявність ліків у воді України, європейських країн, США (1999–2017 рр.). **Результати.** Проаналізовані джерела свідчать, що основною екологічною загрозою світового масштабу є наявність ліків у питній воді. Очисні споруди не пристосовані для виявлення і розкладання лікарських засобів. У всьому світі не передбачена боротьба з цими речовинами. Автори представляють результати комплексного розгляду питань, пов'язаних із

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

визначенням наявності ліків у різних водах, їх концентрацій та найбільш небезпечних лікарських препаратів-токсикантів. Медикаменти можуть накопичуватися не тільки в організмі людей і тварин, а й у морській та річковій рибі й т. под. Наявність навіть слідів деяких ліків (наркотики, гормональні засоби) може чинити негативний вплив на здоров'я найбільш уразливих верств населення, таких як діти. Встановлено, що головним винуватцем гормонального забруднення води є сільське господарство, а саме тваринництво. **Наукова новизна.** У роботі узагальнено наявні й подано нові ефективні методи й технології очищення води, такі як: електрохімічний, мембранний, адсорбція на основі активованого вугілля, ультразвукова обробка в присутності каталізаторів, обробка вод ферментами і персульфатами. Як другий шлях зниження кількості ліків у воді запропоновано створення екологічно чистих ліків. **Практична значимість.** Водні проблеми є головними в усьому світі й в Україні в тому числі. Потрібно передбачити додаткове фінансування для вирішення проблеми очищення води від лікарських препаратів не за залишковим принципом, а з огляду на те, що вода – це основа життя на землі, й від якості води залежить здоров'я та життя людства.

*Ключові слова:* забруднення вод лікарськими препаратами; основні ліки-забруднювачі; методи очищення вод від ліків

L. F. DOLINA<sup>1\*</sup>, O. P. SAVINA<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail water.supply.treatment@gmail.com, ORCID 0000-0001-6082-70912\*  
<sup>2</sup>Dep. «Hydraulics and Water Supply», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 273 15 09, e-mail savina.o.p@gmail.com, ORCID 0000-0001-7872-6416

## WATER CLEANING FROM RESIDUES OF MEDICINAL PREPARATIONS

**Purpose.** The paper aimed at analyzing the presence of residual quantities of medicinal preparations in the water of Ukraine and the world. Based on the world and own experience to propose methods for waters cleaning from medicines. **Methodology.** The research was carried out on the basis of analysis of scientific sources and reporting data on the availability of medicines in the water of Ukraine, European countries, the USA (1999-2017). **Findings.** Analyzed sources inform that the main environmental threat of a global scale is the presence of medicines in drinking water. The treatment facilities are not suitable for the detection and decomposition of medicinal preparations. The fight against these substances is not envisaged all over the world. The authors present the results of a comprehensive review of issues related to the determination of the medicines availability in various waters, their concentrations and the most dangerous medicinal preparations - toxicants. Medications can be accumulated not only in the body of humans and animals, but also in marine and river fish, etc. The impact of even trace amounts of certain medicines (drugs, hormones) can have a negative effect on the health of more vulnerable segments of population, such as children. It was found that the main culprit of hormonal water pollution is agriculture, namely animal husbandry. **Originality.** The paper summarizes available and presents new methods and technologies for water cleaning, such as: electrochemical, membrane, adsorption based on activated carbon, ultrasonic treatment in the presence of catalysts, treatment of water with enzymes and persulfates. As the second way to reduce the number of medicines in the water, it is proposed to produce environmentally friendly medicines. **Practical value.** Water problems are the main ones all over the world and in Ukraine as well. It is necessary to provide the additional financing to solve the problem of water cleaning from medicines not on a residual principle, but considering that water is the basis of life on the earth, and in general the health and life of mankind depends on the quality of water.

*Key words:* water pollution with medicinal preparations; basic medications-pollutants; methods of water cleaning from medicines

### REFERENCES

1. Andryushchenko, Y. (2017). Lekarstva travyat pityevuyu vodu. *Dnepr vecherniy*, 49(13211), 23. Retrived from <http://dv-gazeta.info/vechyorka/zdorovje/lekarstva-travyat-pitevuyu-vodu.htm> (in Russian)
2. Bakterii obzavelis immunitetom (2014). *Sankt-Peterburgskie Vedomosti*, October 16. Retrieved from: [https://spbvedomosti.ru/news/obshchestvo/bakterii\\_obzavelis\\_immunitetom/](https://spbvedomosti.ru/news/obshchestvo/bakterii_obzavelis_immunitetom/) (in Russian)

## ЕКОЛОГІЯ НА ТРАНСПОРТІ

3. Barenboym, G. M., & Chiganova, M. A. (2015). *Zagryazneniye prirodnykh vod lekarstvami*. Moscow: Nauka. (in Russian)
4. Belousov, Y. B., Moiseev, V. S., & Lepakhin, V. K. (1997). *Klinicheskaya farmakologiya i farmakoterapiya*. Moscow: Universum Publishing. (in Russian)
5. Korzh, Y. A., Klimenko, N. A., Smolin, S. K., & Reshetnyak, L. R. (2016). Biosorbtsiya prokaina na biologicheskii aktivnom ugle. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 38(5), 519-530. (in Russian)
6. Voda v butylkakh opasnee vodoprovodnoy (n.d.). Retrived from <https://www.epochtimes.ru/content/view/69576/7/> (in Russian)
7. Dolina, L. F. (2003). *Novye metody i oborudovaniya dlya obezzarazhivaniya stochnykh i prirodnykh vod: monografiya*. Dnepropetrovsk: Kontinent. (in Russian)
8. Dolina, L. F. (2001) *Reaktory dlya ochistki stochnykh vod: uchebnoe posobie*. Dnepropetrovsk: Standart. (in Russian)
9. Korzh, Y. A., Smolin, S. K., & Klimenko, N. A. (2016). Kinetika adsorbtsii farmatsevticheskikh veshchestv iz vodnykh rastvorov na aktivnykh uglyakh. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 38( 4), 342-353. (in Russian)
10. Kofman, V. Y. (2013). New advanced oxidation technologies of water and wastewater treatment (part 2) (foreign publications review). *Water Supply and Sanitary Technique*, 11, 70-77. (in Russian)
11. Lekarstva i lekarstvennaya bolezn (n.d.). Retrived from <http://www.medn.ru/statyi/lechenie-solyu-skipidarom-kerosinom/lekarstva-i-lekarstvennaya-bolezn.html> (in Russian)
12. Livshits, V. (n.d.). *Lekarstva kak ekologicheskaya problema*. Retrived from <http://proza.ru/2013/02/27/1830> (in Russian)
13. Danilov-Danilyan, V. I., Poroykov, V. V., Chiganova, M. A., Kozlov, M. N., Filimonov, D. A., & Barenboym, G. M. (2013). Otsenka biologicheskoy opasnosti organicheskikh ksenobiotikov v istochnikakh vodosnabzheniya. *Water Supply and Sanitary Technique*, 10, 17-24. (in Russian)
14. Farmatsevticheskie sredstva v pitevoy vode. (n.d.). Retrived from [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/emerging/info\\_sheet\\_pharmaceuticals/ru/](http://www.who.int/water_sanitation_health/emerging/info_sheet_pharmaceuticals/ru/) (in Russian)
15. Shpakov, A. (1999). Antibiotiki i steroidy otravlyayut stochnye vody: Smert iz kanalizatsii. *Kommersant*, 110. Retrived from <https://www.kommersant.ru/doc/220792> (in Russian)
16. Al-Khazrajy, O. S. A., Bergström, E., & Boxall, A. B. A. (2017). Factors affecting the dissipation of pharmaceuticals in freshwater sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 37(3), 829-838. doi: 10.1002/etc.4015 (in English)
17. Boxall, A. B. A. (2004). The environmental side effects of medication. *EMBO Reports*, 5(12), 1110-1116. doi: 10.1038/sj.embor.7400307 (in English)
18. Domercq, P., Praetorius, A., & Boxall, A. B. A. (2018). Emission and fate modelling framework for engineered nanoparticles in urban aquatic systems at high spatial and temporal resolution. *Environmental Science: Nano*, 5(2), 533-543. doi: 10.1039/c7en00846e (in English)
19. Fent, K., Weston, A., & Caminada, D. (2005). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology*, 76(2), 122-159. doi: 10.1016/j.aquatox.2005.09.009 (in English)
20. Williams, R. (Ed.). (2005). *Human Pharmaceuticals: Assessing the impacts on aquatic ecosystems*. Pensacola: SETAC.
21. Desbiolles, F., Malleret, L., Tiliacos, C., Wong-Wah-Chung, P., & Laffont-Schwob, I. (2018). Occurrence and ecotoxicological assessment of pharmaceuticals: Is there a risk for the Mediterranean aquatic environment? *Science of the Total Environment*, 639, 1334-1348. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.351 (in English)
22. Probe: Pharmaceuticals In Drinking Water (n.d.). Retrived from <https://www.cbsnews.com/news/probe-pharmaceuticals-in-drinking-water/> (in English)
23. Sumpter, J. P. (2010). Pharmaceuticals in the Environment: Moving from a Problem to a Solution. In Kummerer, K., & Hempel, M. (Eds.), *Green and Sustainable Pharmaco* (pp.11-22). Berlin: Springer-Verlag. (in English)
24. Dolina, L. F., Mashykhina, P. B., Karpo, A. A., & Mishchenko, A. A. (2017). Waters reality in Ukraine worldwide. *Science and Transport Progress*, 5(71), 7-18. doi: 10.15802/stp2017/113695 (in English)

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Н. Н. Беляевым (Украина)

Поступила в редколлегию: 06.03.2018

Принята к печати: 07.06.2018