

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАСЕЙНА ДНЕСТРА)

Езловецкая И.С.

Институт коллоидной химии и химии воды имени А.В. Думанского
Национальной академии наук Украины
бульвар Академика Вернадского, 42, 03142, г. Киев
i.ezlovetskaya@ukr.net

Современный уровень природно-техногенной безопасности источников питьевого водоснабжения обусловлен истощением водных ресурсов. Поэтому изучение и анализ основных факторов техногенной нагрузки позволили очертить главные проблемы репрезентативных водных источников бассейна Днестра, которые требуют их дальнейшего решения.

Была выполнена оценка качественной составляющей природно-техногенной безопасности репрезентативных источников питьевого водоснабжения. Оценены качественные характеристики гидроэкологического потенциала Днестра в районе питьевых водозаборов. Рассчитан индекс гидроэкологического потенциала (далее – ИГЭП) для периода с наихудшими условиями (маловодного).

Определено, что состояние водных экосистем источников в целом «настораживающее», способность водной экосистемы к самоочищению – «средняя», а категория природно-техногенной безопасности «удовлетворительная». Ухудшение характеристик отмечено на питьевых водозаборах среднего участка Днестра. Установлено, что определяющими при расчете ИГЭП на верхнем участке Днестра были показатели токсикологического и гидробиологического блоков качества воды, на среднем – гидробиологического и общесанитарного химического.

Определены основные причины качественного истощения верхнего и среднего участка Днестра в районе репрезентативных питьевых водозаборов. Установлены источники загрязнения природных вод в результате техногенной нагрузки отдельных отраслей экономики, определены приоритетные загрязняющие вещества. Доказано, что предприятия коммунального сектора являются основным источником сброса загрязненных сточных вод, особенно на среднем участке (> 90%). Очерчены основные проблемы источников питьевого водоснабжения бассейна Днестра, которые требуют дальнейшего решения.

Установлено, что перспективы использования результатов исследования заключаются в последующей разработке комплекса мероприятий, которые позволят минимизировать и предупредить загрязнение источников питьевого водоснабжения. В первую очередь – это разработка новых, эффективных, наиболее рациональных с экологической точки зрения и экономически выгодных технологий водоподготовки и очистки сточных вод. *Ключевые слова:* техногенная нагрузка, источник, питьевое водоснабжение, качество воды, бассейн Днестра.

Аналіз стану природно-техногенної безпеки джерел питного водопостачання (на прикладі басейну Дністра). Езловецька І.С.

Сучасний рівень природно-техногенної безпеки джерел питного водопостачання зумовлений виснаженням водних ресурсів. Тому вивчення і аналіз основних чинників техногенного навантаження дозволили окреслити головні проблеми репрезентативних водних джерел басейну Дністра, які вимагають подальшого вирішення.

Була виконана оцінка якісного складника природно-техногенної безпеки репрезентативних джерел питного водопостачання. Оцінені якісні характеристики гідроекологічного потенціалу Дністера в районі питних водозаборів. Розрахований індекс гідроекологічного потенціалу (далі – ІГЕП) для періоду з найгіршими умовами (маловодного).

Визначено, що стан водних екосистем джерел загалом «насторожуючий», здатність водної екосистеми до самоочищення – «середня», а категорія природно-техногенної безпеки характеризується як «задовільна». Погіршення характеристик зафіксовано на питних водозаборах середньої ділянки Дністра. Встановлено, що визначальними при розрахунку ІГЕП на верхній ділянці Дністра були показники токсикологічного і гідробіологічного блоків якості води, на середньому – гідробіологічного і загально-санітарного хімічного.

Визначено основні причини якісного виснаження верхньої і середньої ділянок Дністра в районі репрезентативних питних водозаборів. Встановлено джерела забруднення природних вод у результаті техногенного навантаження окремих галузей економіки, визначено пріоритетні забруднюючі речовини. Доведено, що підприємства комунального сектору є основним джерелом скидання забруднених стічних вод, особливо на середній ділянці (> 90%). Окреслено основні проблеми джерел питного водопостачання басейну Дністра, які вимагають подальшого вирішення.

Встановлено, що перспективи використання результатів дослідження полягають у подальшому розробленні комплексу заходів, які дозволять мінімізувати і попередити забруднення джерел питного водопостачання. Насамперед це розроблення нових, ефективних, найбільш раціональних з екологічної точки зору і економічно вигідних технологій водопідготовки та очищення стічних вод. *Ключові слова:* техногенне навантаження, джерело, питне водопостачання, якість води, басейн Дністра.

Analysis of the state natural-technogenic safety of drinking water sources (on the example of the Dniester basin). Yezlovetska I.

The current level of natural-technogenic safety of drinking water sources is due to the depletion of water resources. Therefore, the study and analysis of the main factors of technogenic load allowed to outline the main problems of representative the Dniester basin water sources, which require further solution.

Assessment of the qualitative component of natural-technogenic safety of representative sources of drinking water supply was performed. Qualitative characteristics of the hydroecological potential of the Dniester River were assessed in the area of drinking water intakes. The index of hydroecological potential (IHEP) for the period with the worst conditions (shallow) was calculated.

It is determined that the state of aquatic ecosystems of sources is generally "alarming", and the category of natural-technogenic safety is "satisfactory", the ability of the aquatic ecosystem to self-cleanse is "medium". Deterioration of characteristics was noted at drinking water intakes of the middle section of the Dniester. It was established that the indicators of toxicological and hydrobiological units of water quality were decisive in the calculation of IHEP in the upper section of the Dniester and hydrobiological and general sanitary chemical in the middle part.

The main reasons for the qualitative depletion of the upper and middle part of the Dniester in the area of representative drinking water intakes were identified. Sources of natural water pollution due to technogenic load of certain sectors of the economy were identified, priority pollutants were identified. It has been proven that utilities sector enterprises are the main source of contaminated wastewater discharges, especially in the middle part (> 90%).

The main problems of the Dniester basin drinking water supply sources, which require their further solution, were outlined. It was established that the prospects for using the research results are in the subsequent development of a set of measures that will minimize and prevent pollution of drinking water supply sources. Firstly, it is the development of new, efficient, most environmentally sound and economically viable technologies for water treatment and wastewater treatment. *Key words*: technogenic load, source, drinking water supply, water quality

Постановка проблемы. Наблюдения последних лет за качеством воды в природных источниках питьевого водоснабжения многих стран мира свидетельствуют о росте их загрязнения, нарушении процессов самоочищения и несовершенстве принятых технологических и технических решений проблемы [1-6]. При этом основные действия в мировой водной политике ориентированы в первую очередь на сохранение существующих источников водоснабжения и восстановление природных водных экосистем [7-9]. Необходимым же условием решения проблемы дефицита пресной качественной воды является снижение техногенного воздействия на окружающую среду до безопасного уровня [9-12].

Водопользование в Украине в целом осуществляется нерационально: увеличиваются непроизводительные расходы воды (особенно в коммунальном хозяйстве), повышается аварийность систем водоснабжения и канализации, медленно растет доля производств с замкнутым водным циклом, а объем пригодных к использованию водных ресурсов вследствие загрязнения, истощения и изменения климата уменьшается [12-14].

В подобной ситуации необходим нетрадиционный подход к оценке эффективности использования водных ресурсов, особенно для питьевого водоснабжения. Необходимо оценивать эффективность природно-техногенной гидроэкосистемы, в которой взаимодействуют технологические, техногенные, природные элементы и процессы в целом, что требует анализа значительного количества элементов и оценки взаимоотношений между ними.

Анализ последних исследований и публикаций. Актуальность изучения эффективности природно-техногенной гидроэкосистемы Днестра, являющегося трансграничным водохозяйственным комплексом многоцелевого использования с высоким уровнем техногенной нагрузки и источником питьевого водоснабжения для почти восьми миллионов человек, не вызывает сомнения.

В целом водные экосистемы Карпатского региона в разное время были достаточно хорошо исследо-

ваны: рассмотрены фундаментальные особенности гидроэкологической среды [14-16], исследованы пространственно-временные закономерности изменений параметров их функционирования [16-20], предложены методы прогнозирования процессов формирования природно-техногенных воздействий с учетом глобальных климатических изменений [21], но больше с точки зрения общих положений гидрологии и гидрохимии водных объектов. Однако природно-техногенной безопасности именно источников питьевого водоснабжения в бассейне Днестра уделялось всё же недостаточно внимания.

Поэтому **целью** этой работы было изучение и анализ основных факторов техногенной нагрузки для оценки состояния источников питьевого водоснабжения на примере бассейна Днестра.

Методика эксперимента. Исследования проводили на участках в бассейне Днестра, имеющих разный уровень техногенной нагрузки на водные ресурсы в районе репрезентативных питьевых водозаборов, а именно:

1) верхний участок бассейна Днестра (от г. Роздол до г. Залещики) с питьевым водозабором г. Галич. Он представляет собой многоотраслевой хозяйственный комплекс с концентрацией экологически опасных предприятий энергетической, добывающей, нефтеперерабатывающей, химической и легкой промышленности. Однако здесь формируется 70% водных ресурсов всего бассейна;

2) средний участок бассейна Днестра (от г. Залещики до г. Сороки) с питьевыми водозаборами г. Черновцы и г. Каменец-Подольский. Он характеризуется высокой зарегулированностью водного стока (каскад Днестровских водохранилищ) и несколько меньшим уровнем промышленного развития (гидроэнергетика, деревообрабатывающая, легкая и пищевая отрасли экономики).

Методы исследования – анализ, систематизация и обобщение официальных статистических данных касательно основных показателей сброса сточных вод и количества загрязняющих веществ в них по отдельным водохозяйственным участкам в бассейне

Днестра, по отраслям экономики (промышленность, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство) и по более чем 800 предприятиям-загрязнителям [22; 23]; анализ и обобщение аналитических данных относительно качества воды Днестра в районах репрезентативных питьевых водозаборов за 26 показателями; метод расчета индекса гидроэкологического потенциала (ИГЭП) водных экосистем источников питьевого водоснабжения. Исследования проводились в период 2014 и 2018 годов, характеризующихся сложными условиями формирования качества воды в маловодье.

Сейчас особое внимание уделяют вопросам управления качеством водных ресурсов, основанных на комплексных экологических оценках физических свойств, химического и гидробиологического состава вод. Одним из таких показателей, позволяющих оценить стабильность и экологическую безопасность водных экосистем источников питьевого водоснабжения, является гидроэкологический потенциал. Под ним понимают «ту часть гидроресурсов, которая может быть использована народнохозяйственным комплексом в условиях сохранения экологической безопасности и при минимальном техногенном риске, подлежащем управлению» [16].

Обобщающим показателем качественной составляющей гидроэкологического потенциала является индекс гидроэкологического потенциала (ИГЭП), или комплексный индекс потенциала качества гидроэкосистем [16; 24]. Расчет ИГЭП осуществляют по формулам 1 и 2, а именно:

$$\text{ИГЭП} = \left(\sum \frac{\text{НК}_i}{C_i} \right), \text{ если } > 0 \quad (1)$$

$$\text{ИГЭП} = \left(\sum \frac{C_i}{\text{НК}_i} \right), \text{ если } < 0, \quad (2)$$

где НК_i – норматив качества воды для конкретного показателя, под которым понимают допустимые (предельные величины) показателей физико-химического и биологического состояния вод и их свойств, отвечающих требованиям различных потребителей;

i – показатель качества воды;

C_i – величина показателя качества воды.

Полученные закономерности позволяют оценить уровень потенциала качества по следующей шкале: буферный (зона экологического равновесия) – $\text{ИГЭП} > 5$; оптимальный – $3 < \text{ИГЭП} \leq 5$; напряженной адаптации – $1 < \text{ИГЭП} \leq 3$; зона пессимума в пределах $-1 < \text{ИГЭП} \leq 1$; критический – при значениях показателя $-3 < \text{ИГЭП} \leq -1$; кризисный – при значениях показателя $-3 < \text{ИГЭП} \leq -5$; катастрофический (зона экологического бедствия) – $-5 < \text{ИГЭП} \leq -3$ [16; 24].

Комплексная оценка гидроэкологического потенциала была выполнена для репрезентативных участков бассейна Днестра в местах питьевых водозаборов городов Галич, Черновцы, Каменец-Подольский. Для получения объективных результатов значения показателей качества воды сравнивали с нормативами,

приведенными в ДСТУ 4808:2007 [25], которые отвечали оптимальному 2 классу качества (для органолептических показателей – между 1 и 2 классами).

ИГЭП рассчитывали на основе 26 показателей, объединённых в блоки: *органолептический* (мутность, цветность, запах), *общесанитарный химический* (сухой остаток, хлориды, сульфаты, рН, магний, жесткость общая, соединения азота и фосфора, содержание растворенного кислорода, ХПК, БПК_п), *гидробиологический* (фитопланктон) и *токсикологический* (железо, медь, марганец, цинк, хром (VI), фенолы, нефтепродукты, СПАВ). Полученные результаты позволят оценить уровень гидроэкологического потенциала, способности водной экосистемы к самоочищению, категории природно-техногенной безопасности водного объекта и экологическое состояние водной среды в целом.

Изложение основного материала. Бассейн Днестра в верхней и средней его части – очень интересный объект для изучения. Природный сток обеспечивает достаточное количество воды не только для хозяйственно-питьевых нужд человека, но и для развития всех отраслей экономики даже в современных условиях аридизации климата. Как показали ранние исследования [16], которые подтверждены нашими расчётами, даже в наихудший период водности здесь не ощущается водного дефицита.

Запас воды при её интенсивном использовании на нужды различных отраслей экономики составляет 40% на верхнем участке и 25% – на среднем. То есть количественного истощения водных ресурсов на верхнем и среднем участке бассейна Днестра пока ожидать не стоит, а население региона исследования обеспечено природной водой для питьевого водоснабжения в полной мере.

Основываясь на анализе официальной статистической информации об использовании водных ресурсов в бассейне Днестра [22; 23], установлено, что главным источником техногенной нагрузки на водные экосистемы по-прежнему остаются сбросы сточных вод промышленности и коммунального хозяйства. Для природно-техногенной безопасности источников питьевого водоснабжения большое значение имеют их количественные и качественные характеристики: динамика и объем сбросов, эффективность очистных сооружений, категория очистки, отраслевая специфика состава и тоннаж загрязняющих веществ. Всё это влияет в конечном итоге и на эколого-гигиеническое состояние водоёмов, и на эффективность работы питьевых водозаборов, и на качество и стоимость питьевой воды.

В результате систематизации, обобщения и анализа статистической информации по отдельным водохозяйственным участкам в бассейне Днестра, по отраслям экономики (промышленность, сельское хозяйство, коммунальное хозяйство) и по более чем 800 предприятиям-загрязнителям [22; 23; 26; 27] установлено следующее. За последние 28 лет

сброс сточных вод в целом уменьшился в 2,5 раза сравнительно с 1990 годом, в 1,4 раза – с 2001 годом. В основном за счёт сокращения сброса загрязнённых (почти на порядок) и нормативно чистых без очистки сточных вод (в 3,5 и 1,2 раза сравнительно с 1990 и 2001 годами). При этом объём нормативно очищенных сточных вод остался фактически без изменений. Однако современный уровень загрязнения Днестра не уменьшился.

В последние годы увеличилась доля несанкционированных сбросов сточных вод в природные водоёмы и аварийность на очистных сооружениях. Возросла неэффективность городских очистных сооружений при очистке смешанных промышленных и бытовых сточных вод, что практикуется в бассейне Днестра достаточно часто, поскольку ряд предприятий не имеет собственных локальных очистных сооружений. Технологии очистки сточных вод не всегда справляются с чрезмерным поступлением загрязняющих веществ. Всё это обуславливает современные экологические проблемы Днестра и качество его питьевых водозаборов.

Парадоксально, но основными загрязнителями источников питьевого водоснабжения в бассейне Днестра являются предприятия коммунального хозяйства (особенно по сбросам загрязнённых сточных вод) (табл. 1).

Как на верхнем, так и на среднем участках бассейна Днестра его доля в общем водоотведении наибольшая – 42% (34,62 млн м³/год) и 45% (28,51 млн м³/год) от общего сброса соответственно. Именно на коммунальный сектор приходится более 90% сбросов загрязнённых сточных вод: 3,54 млн м³/год на верхнем участке, 1,91 млн м³/год – на среднем. Соответственно

наибольшее количество сточных вод, приносящих в водные объекты загрязняющие вещества (категории загрязнённых и нормативно очищенных сточных вод), сбрасывают именно предприятия коммунального хозяйства – 71% (33,99 млн м³/год) на верхнем и 94% (28,51 млн м³/год) на среднем участках бассейна Днестра.

Доля промышленного сброса сточных вод меньше и снижается от верхнего (21%, или 17,33 млн м³/год) до среднего участка (13%, или 7,90 млн м³/год) (табл. 1). Основываясь на анализе статистических источников [22, 23], установлены промышленные объекты, которые сбрасывают загрязнённые сточные воды в Днестр. Это предприятия нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, химической и нефтехимической, целлюлозно-бумажной, пищевой отраслей на верхнем участке; предприятия пищевой отрасли и легкой промышленности – на среднем участке.

Следует отметить, что приведенные отрасли промышленности представлены небольшим количеством предприятий-загрязнителей и с умеренным уровнем водоотведения. Их доля в загрязнении вод Днестра при сбросе загрязнённых и нормативно очищенных сточных вод составляет на верхнем участке – 29% (14,18 млн м³/год), на среднем – 5,5% (1,65 млн м³/год).

Анализ поступления загрязняющих веществ в гидросистемы Днестра показал, что на верхний участок их сброшено в количестве 44,72 тыс. т (57% от общего сброса по участкам), на средний – 32,98 тыс. т (43%) (табл. 1). При этом на верхнем участке доля промышленности в сбросе загрязняющих веществ составляет 45% (20,29 тыс. т/год), а коммунального хозяйства – 54% (24,12 тыс. т/год),

Таблица 1

Современные обобщенные показатели загрязнения бассейна Днестра в результате влияния разных отраслей экономики по [22; 23]

| Отрасли экономики | Объём сброса сточных вод, млн м ³ /год | | | | | | Количество загрязняющих веществ, тыс. т/год | |
|---|---|--------------|-------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|---|----------------------|
| | всего | в том числе | | | | нормативно чистых без очистки | | нормативно очищенных |
| | | загрязнённых | | нормативно чистых без очистки | нормативно очищенных | | | |
| | | всего | без очистки | | | | | |
| Верхний участок бассейна Днестра | | | | | | | | |
| Промышленность | 17,33 | 0,40 | 0,12 | 0,28 | 3,15 | 13,78 | 20,29 | |
| Коммунальное хозяйство | 34,62 | 3,54 | 0,54 | 3,00 | 0,63 | 30,45 | 24,12 | |
| Сельское хозяйство | 30,44 | – | – | – | 30,40 | 0,04 | 0,31 | |
| В целом по участку | 82,39 | 3,94 | 0,66 | 3,28 | 34,18 | 44,27 | 44,72 | |
| Средний участок бассейна Днестра | | | | | | | | |
| Промышленность | 7,90 | 0,13 | 0,02 | 0,11 | 6,22 | 1,52 | 1,76 | |
| Коммунальное хозяйство | 28,51 | 1,91 | 0,35 | 1,56 | – | 26,60 | 30,98 | |
| Сельское хозяйство | 25,502 | – | – | – | 25,50 | 0,002 | 0,24 | |
| В целом по участку | 61,912 | 2,04 | 0,37 | 1,67 | 31,72 | 28,122 | 32,98 | |
| В целом по участкам | 144,302 | 5,98 | 1,03 | 4,95 | 65,90 | 72,392 | 77,70 | |

на среднем соответственно 5,5% (1,76 тыс. т/год) и 94% (32,98 тыс. т/год).

В результате обработки статистических данных по водопользованию в бассейне Днестра [22; 23] автором установлено, что большая часть общего тоннажа загрязняющих веществ – это компоненты солевого состава (83-88%), менее значительная – биогенные (3-7%), органические (5,8-7,4%) и взвешенные вещества (1,6-4%), незначительная – тяжелые металлы и специфические вещества токсического действия (0,02-0,04%). Приоритетными загрязняющими веществами являются сухой остаток, сульфаты, хлориды, аммонийный азот, нитраты, ХПК, БПК_п, железо, алюминий, нефтепродукты, СПАВ.

Как известно, питьевое водоснабжение является приоритетом водохозяйственного комплекса Украины. Питьевые водозаборы всегда размещают на участках с достаточным количеством водных ресурсов наиболее подходящего качества. Поэтому оценка гидроэкологического потенциала участков бассейна Днестра, где размещены репрезентатив-

ные питьевые водозаборы, является первоочередной задачей. Приоритеты при разработке необходимых технологических и технических решений по защите источников питьевого водоснабжения устанавливаются путём определения «эталонных» участков водных объектов и тех, которые могут ранжироваться в зависимости от величины ИГЭП.

В результате выполненных расчётов установлено, что на всех участках Днестра, где размещены репрезентативные питьевые водозаборы, отмечены положительные значения ИГЭП, на первый взгляд делающие водный объект достаточно привлекательным как источник питьевого водоснабжения.

Однако положительные значения ещё не говорят о стабильности и экологической безопасности водного источника. Характеристика качественных параметров гидроэкологического потенциала свидетельствует в целом о «настораживающем» состоянии Днестра, средней способности его экосистемы к самоочищению, «удовлетворительном» уровне природно-техногенной безопасности источника

Таблица 2

Оценка качественных параметров гидроэкологического потенциала верхнего и среднего участков бассейна Днестра в местах репрезентативных питьевых водозаборов

| Качественные параметры гидроэкологического потенциала | Величины параметров | Верхний участок Днестра | | Средний участок Днестра | |
|--|---------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| | | г. Галич | г. Черновцы | г. Каменец-Подольский | |
| Значения ИГЭП | наихудшие | 1,9 | 0,4 | 1,8 | |
| | средние | 2,4 | 1,7 | 2,2 | |
| Оценка гидроэкологического потенциала источника | наихудшие | Напряженная адаптация | Зона пессимума | Напряженная адаптация | |
| | средние | Напряженная адаптация | Напряженная адаптация | Напряженная адаптация | |
| Способность водной экосистемы источника к самоочищению | наихудшие | Средняя | Низкая | Средняя | |
| | средние | Средняя | Средняя | Средняя | |
| Категория природно-техногенной безопасности источника | наихудшие | Удовлетворительная | Неудовлетворительная | Удовлетворительная | |
| | средние | Удовлетворительная | Удовлетворительная | Удовлетворительная | |
| Состояние источника | наихудшие | Настораживающее | Конфликтное | Настораживающее | |
| | средние | Настораживающее | Настораживающее | Настораживающее | |

Таблица 3

Блочные параметры гидроэкологического потенциала верхнего и среднего участков бассейна Днестра в местах репрезентативных питьевых водозаборов

| Питьевые водозаборы | Блоки показателей качества воды | | | | В целом по всем блокам показателей |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|
| | Органо-лептический | Общесанитарный химический | Гидробиологический | Токсикологический | |
| | Значения ИГЭП ¹⁾ | | | | |
| Верхний участок Днестра | | | | | |
| г. Галич | <u>10,5</u> 10,6 | <u>0,9</u> 1,0 | <u>-2,2</u> -2,0 | <u>-1,6</u> 0,2 | <u>1,9</u> 2,4 |
| Средний участок Днестра | | | | | |
| г. Черновцы | <u>5,0</u> 6,0 | <u>-0,5</u> 1,1 | <u>-3,4</u> -2,7 | <u>0,5</u> 2,4 | <u>0,4</u> 1,7 |
| г. Каменец-Подольский | <u>8,0</u> 8,5 | <u>0,5</u> 1,2 | <u>-4,4</u> -4,1 | <u>3,1</u> 3,2 | <u>1,8</u> 2,2 |

Примечание: в числителе – наихудшие значения, в знаменателе – средние.

и о «напряженной адаптации» источника к сбросу сточных вод (табл. 2).

Полученные результаты очень хорошо коррелируются с ранее рассмотренными факторами техногенной нагрузки на участках Днестра. Так, более позитивные значения ИГЭП отмечены в районе питьевых водозаборов г. Галича на верхнем участке и г. Каменец-Подольский на среднем, менее – в районе питьевого водозабора г. Черновцы. Это обусловлено тем, что водозабор г. Черновцы находится на узком отрезке на границе верхнего и среднего участка. Этот район принимает все стоки с верхнего участка, которые потом перераспределяются в каскаде Днестровских водохранилищ, где усредняются все загрязнители. Поэтому в районе питьевого водозабора г. Каменец-Подольский, как и г. Галич, качественные параметры гидроэкологического потенциала всё-таки немного лучше.

Участок водной экосистемы с водозабором г. Черновцы за наихудшими величинами имеет более низкие характеристики по ИГЭП – 0,4, чем на водозаборах г. Галич и г. Каменец-Подольский – 1,9 и 1,8 соответственно. Поэтому способность к самоочищению источника здесь «низкая», уровень природно-техногенной безопасности «неудовлетворительный», уровень гидроэкологического потенциала соответствует «зоне пессимума», а состояние источника «конфликтное». То есть район реки, на который оказывает техногенное давление промышленный и коммунальный секторы экономики всего верхнего участка бассейна Днестра, является самым неблагоприятным для питьевого водоснабжения населения.

Следует также обратить внимание на роль определённых блоков показателей при общей оценке качественных параметров гидроэкологического потенциала (табл. 3). Наиболее проблематичным является блок гидробиологических показателей, который имеет отрицательные значения ИГЭП как за наихудшими (от -2,2 до -4,4), так и средними (от -2,0 до -4,1) величинами. Это свидетельствует о дефиците запаса прочности гидроэкосистем Днестра относительно содержания фитопланктона в воде. Кроме того, при неблагоприятных условиях формирования качества воды жесткого контроля требуют на верхнем участке бассейна Днестра (питьевой водозабор г. Галич) показатели токсикологического блока (ИГЭП = -1,6); на среднем участке – общесанитарного химического (ИГЭП = -0,5 в районе водозабора г. Черновцы и ИГЭП = 0,5 – г. Каменец-Подольский).

Средние величины ИГЭП в целом свидетельствуют о положительном гидроэкологическом потенциале по всем блокам показателей, кроме гидробиологического (табл. 3).

Это говорит о том, что в штатной ситуации гидроэкосистемы Днестра в какой-то мере справляются с тем объемом сточных вод и тоннажем загрязняющих веществ, который сбрасывают коммунальные и промышленные предприятия. Однако

уровень гидроэкологического потенциала за блоком общесанитарных химических показателей свидетельствует о «напряженной адаптации» гидроэкосистемы к современной техногенной нагрузке на всех репрезентативных питьевых водозаборах (ИГЭП = 1,0-1,2), а за блоком токсикологических показателей – о «зоне пессимума» в районе питьевого водозабора г. Галич (ИГЭП = 0,2). Причиной является превышение нормативов для источников питьевого водоснабжения отдельными показателями качества воды: азотом нитратным, азотом нитритным, фосфором фосфатов, БПК_п, марганцем, железом.

Следовательно, ни один из участков Днестра в районе репрезентативных питьевых водозаборов не соответствует оптимальным условиям сохранения экологического благополучия реки и возможности самовосстановления в условиях постоянной техногенной нагрузки. Поэтому для предупреждения нарушения устойчивости водной экосистемы и снижения качества воды Днестра в дальнейшем необходимо более предметно разработать комплекс мероприятий по снижению риска негативных последствий загрязнения водных ресурсов.

Главные выводы.

1. Анализ состояния природно-техногенной безопасности источников питьевого водоснабжения (на примере бассейна Днестра) определил показатели сбросов сточных вод как основной фактор техногенной нагрузки даже при общей положительной динамике их уменьшения (особенно загрязнённых сточных вод), установил ведущую роль коммунального хозяйства в ухудшении экологического состояния водных объектов (более чем на 50% на верхнем участке Днестра и около 90% – на среднем).

2. Установлено, что экологическое состояние и уровень самоочищения вод Днестра в существующих условиях техногенной нагрузки в целом имеет «удовлетворительный» характер с ухудшением характеристик на питьевом водозаборе г. Черновцы в районе разгрузки природного и техногенного стока из верхнего участка Днестра.

3. Установлено, что определяющими при расчете ИГЭП на верхнем участке Днестра были показатели токсикологического и гидробиологического блоков качества воды, на среднем – общесанитарного химического и гидробиологического.

4. Показано, что ни один из участков Днестра в районе репрезентативных питьевых водозаборов не соответствует оптимальным условиям сохранения экологического благополучия реки.

Перспективы использования результатов исследования заключаются в последующей разработке комплекса мероприятий, которые позволят минимизировать и предупредить загрязнение источников питьевого водоснабжения. В первую очередь это разработка новых, эффективных, наиболее рациональных с экологической точки зрения и экономически выгодных технологий водоподготовки и очистки сточных вод.

Література

1. Водна стратегія України на період до 2025 року (наукові основи) / за наук. ред. М.І. Ромашенка, М.А. Хвесика, Ю.О. Михайлова. Київ, 2015. 46 с.
2. Toward a sustainable water future: visions for 2050 / editet by Walter M. Grayman, Daniel P. Loucks, Laurel Saito. Reston, 2012. 386 p.
3. Gleick P.H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21-th century. *Science*. 2003. 302, № 5650. P. 1524–1527.
4. Uche J., Martínez-Gracia A., Círez F., Carmona U. Environmental impact of water supply and water use in a Mediterranean water stressed region. *J. of Cleaner Production*. 2015. 88 (2015). P. 196–204.
5. Вергун О.М. Аналіз актуальних чинників погіршення якості джерел питного водопостачання в контексті екологічної безпеки України. *Екологічна безпека та природокористування* : зб. наук. праць. 2014. № 15. С. 22–30.
6. Meybeck M., Helmer R. The quality of rivers: From pristine stage to global pollution. *Global and Planetary Change*. 1989. Vol. 1, № 4. P. 283–309.
7. Данилов-Данильян В.И. *Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России*. Москва : ООО «Типография ЛЕВКО». 2009. 88 с.
8. Junguo Liu, Qingying Liu, Hong Yang. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators*. 2016. 60 (2016). P. 434–441.
9. Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посібн. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
10. Costanza R. Ecosystem health and ecological engineering. *Ecological Engineering*. 2012. 45 (2012). P. 24–29.
11. Гончарук В.В. Наука о воде. Киев : Наукова думка, 2010. 512 с.
12. Клименко М.О., Залеський І.І. Збалансоване використання водних ресурсів. Рівне : НУВГП, 2016. 337 с.
13. Осадчий В.І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін. *Вісн. НАН України*. 2017, № 8. С. 29–46.
14. Іванюта С.П., Качинський А.Б. Екологічна та природно-техногенна безпека України: регіональний вимір загроз і ризиків : монографія. Київ : НІСД, 2012. 308 с.
15. Рудько Г.І., Консевич Л.М. Наукові основи екологічної оцінки та оптимального використання гідроресурсів Карпатського регіону України. Київ : Т-во «Знання» України, 1998. 138 с.
16. Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем : монографія. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2011. 355 с.
17. Архипова Л.М. Моделювання і оцінка просторових закономірностей характеристик гідроекосистеми р. Дністер в межах Карпатського регіону. *Екологічна безпека*. 2012. № 1/2012 (13). С. 22–26.
18. Трансграничное диагностическое исследование бассейна р. Днестр / Проект ОБСЕ/ЕЭК ООН: Трансграничное сотрудничество и устойчивое управление бассейном реки Днестр. Киев, 2005. 90 с.
19. Розробка проекту Програми охорони і раціонального використання водних ресурсів басейну Дністра : звіт про НДР; кер. Є.Т. Шуліпенко. Київ, 1997. 146 с. № ДР 01960022019.
20. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона / за ред. В.К. Хільчевського. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. 172 с.
21. Качала С.В. Удосконалення комплексної оцінки природно-техногенного впливу на гідроекосистему (на прикладі верхнього Дністра) : дис. канд. техн. наук: спец. 21.06.01. Івано-Франківськ. 2018. 217 с. URL: https://nung.edu.ua/files/attachments/dis_sofia.pdf (дата звернення: 17.08.2020).
22. Державний водний кадастр. Основні показники використання водних ресурсів за 2014 рік. Басейн Дністра. Київ, 2015. 115 с.
23. Державний водний кадастр. Основні показники використання водних ресурсів за 2018 рік. Басейн Дністра. Київ. 2019. 86 с. URL: <https://www.davr.gov.ua/derzhavnij-oblik-vodokoristuvannya> (дата звернення: 19.07.2020).
24. Патент України № 64027. Архипова Л.М. Спосіб оцінки якості поверхневих вод. URL: <https://uapatents.com/5-64027-sposib-ocinki-yakosti-poverkhnevikh-vod.html> (дата звернення: 19.07.2020).
25. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. Київ, 2007. 36 с.
26. Основні показники використання вод в Україні за 1990 рік. Київ, 1991. Вип. 10. 42 с.
27. Основні показники використання вод в Україні за 2001 рік. Київ, 2002. Вип. 21. 56 с.