

УДК 574.63:556.012

О. П. Оксюк, О. А. Давыдов

**САНИТАРНАЯ ГИДРОБИОЛОГИЯ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ, ЗАДАЧИ**

Изложены концепция, методология и задачи санитарной гидробиологии в современный период в условиях многофакторного антропогенного воздействия на водные экосистемы. Рассмотрены вопросы биоиндикации по сообществам гидробионтов. Обсуждены методы оценки и пути улучшения эколого-санитарного состояния водных объектов.

**Ключевые слова:** санитарная гидробиология, биоиндикация, антропогенное воздействие, эколого-санитарное состояние водных экосистем, оценка, санация.

Санитарная гидробиология в процессе своего развития претерпевала существенные изменения. Ее задачи, содержание и методология закономерно расширялись благодаря прогрессу фундаментальных знаний, а также в связи с усилением антропогенного пресса и его негативных последствий для водных экосистем.

Первоначально, в конце XIX — начале XX ст., основным направлением санитарной гидробиологии было изучение загрязнения рек и озёр сточными водами с высоким содержанием органических веществ, что приводило к возрастанию сапробности водных объектов.

В середине XX ст. проблема загрязнения природных вод существенно углубилась в силу интенсификации хозяйственной деятельности человека. Во многих промышленных и сельскохозяйственных регионах обострился дефицит водных ресурсов и возникла необходимость перераспределения стока рек во времени и пространстве. Помимо антропогенного загрязнения глобальные масштабы приобрело самозагрязнение, в частности «цветение» воды. Приоритетным вопросом санитарной гидробиологии в этот период стало *качество воды*, изучение факторов и процессов его формирования и поиск путей улучшения, то есть так называемая проблема «чистой воды» [1, 4].

В конце XX ст. задачи санитарной гидробиологии существенно расширились. В современный период они не ограничиваются качеством воды, а ох-

© О. П. Оксюк, О. А. Давыдов, 2012

вывают проблему *состояния водных экосистем*, обуславливающего качество среды обитания гидробионтов и водной сферы окружающей среды человека [6, 14]. Вместе с тем, в настоящее время санитарная гидробиология также не оставляет без внимания вопросы качества воды. Это направление, занимающееся качеством воды как ресурса для водоснабжения населения, промышленности, сельского хозяйства и других потребителей, вслед за Г. Г. Винбергом [1] можно назвать водохозяйственной гидробиологией.

Состав и свойства воды, определяющие ее качество как среды обитания гидробионтов и как ресурса для хозяйственного использования, являются продуктом функционирования всей водной экосистемы. Оно обуславливается состоянием последней, уровнем ее благополучия или неблагополучия при нарушении структуры и жизнедеятельности в условиях антропогенного воздействия (загрязнение, изменение гидрологического режима, преобразование морфометрических параметров и др.).

Санитарная гидробиология, в соответствии со своим наименованием (от лат. *sanatio* — лечение, оздоровление), предусматривает разработку мероприятий по ликвидации или ограничению отрицательных последствий на основе изучения влияния антропогенных факторов на состояние водных экосистем для обеспечения благоприятного качества среды обитания гидробионтов, окружающей среды человека и водных ресурсов.

**Санитарная гидробиология** является специальным разделом гидробиологии, разрабатывающим фундаментальные аспекты присущих ей специфических задач и решающим на их базе прикладные вопросы, возникающие перед человеческим обществом.

Современная санитарная гидробиология исследует эколого-санитарное состояние водных объектов, осуществляет его оценку и разрабатывает научное обоснование путей его улучшения (санации) в условиях антропогенного воздействия. Эколого-санитарное состояние водных объектов (как специальный аспект их общего гидроэкологического состояния) характеризует *качество* (то есть состав и свойства) *среды* обитания гидробионтов, окружающей среды человека и *качество воды* для хозяйственного использования. Оно определяется структурными и функциональными характеристиками биоты, а также гидролого-морфологическими и физико-химическими условиями ее жизнеобеспечения.

Задачи санитарной гидробиологии состоят:

а) в характеристике эколого-санитарного состояния водных экосистем (в том числе трофо-сапробиологического статуса) и его нарушения под воздействием антропогенных факторов;

б) оценке эколого-санитарного состояния водных объектов, определяющего качество среды обитания гидробионтов и окружающей среды человека;

в) оценке качества водных ресурсов для водоснабжения и водопользования;

г) прогнозировании возможного изменения эколого-санитарного состояния водных экосистем при антропогенном воздействии;

д) разработке рекомендаций по улучшению и/или сохранению эколого-санитарного состояния водных объектов, уменьшению отрицательных последствий антропогенного пресса на качество среды обитания гидробионтов, окружающую среду человека и качество воды для хозяйственного использования.

**Концепция** современной санитарной гидробиологии базируется на экосистемной парадигме, отражающей идеологию тесных взаимосвязей биотических и абиотических компонентов водных экосистем.

Фундаментальные аспекты санитарной гидробиологии находятся в области факториальной экологии, которая занимается изучением взаимодействия организмов и их сообществ с экологическими факторами. Санитарно-гидробиологические исследования направлены на установление закономерностей и механизмов воздействия среды обитания на гидробионтов, изучение в водных экосистемах причинно-следственных связей между биотой и абиотическими факторами, включая антропогенные.

Принципиальное положение **методологии** санитарной гидробиологии состоит в соответствии используемых подходов, приёмов и методов условиям регионов, типам водных объектов и экотопов, что требует фундаментальных знаний об особенностях взаимосвязей в изучаемых водных экосистемах и о реакции гидробионтов и их сообществ на изменение экологических факторов.

Специальным методом санитарной гидробиологии при изучении состояния водных экосистем и его нарушения под влиянием факторов среды является **биоиндикация**. В этой связи важнейшая проблема заключается в разработке фундаментальных принципов системы биоиндикации, которая базируется на реакции гидробионтов и их сообществ на экологические факторы, в том числе антропогенные.

В современный период задача существенно усложняется тем, что антропогенный пресс включает достаточно широкий спектр разнообразных физико-химических факторов, совокупно воздействующих на эколого-санитарное состояние водных объектов. Поэтому во всех странах осуществляется переход от чисто химического контроля к биологическому [17, 18].

Биоиндикация — характеристика свойств и оценка состояния водных экосистем: **аутбиоиндикация** — по индикаторным видам, **синбиоиндикация** — по сообществам гидробионтов.

В условиях совместного влияния комплекса факторов на водные экосистемы аутбиоиндикация, индицирующая последствия одного определённого типа антропогенного воздействия (евтрофирование, ацидификация, термофикация и пр.), оказывается недостаточно информативной [8, 16]. Приоритетное значение в современный период приобретает синбиоиндикация на основе реакции сообществ гидробионтов разного ранга (экоотических группировок, био-, альго-, фито-, зооценозов и их структурных элементов, экологических и других групп и др.).

Структурные и количественные показатели сообществ гидробионтов более чувствительны к изменениям комплекса экологических факторов и имеют большую индикаторную ценность, чем отдельные виды [6, 8]. Трансформация видового состава и обилия сообществ гидробионтов отображает как моно-, так и мультифакторное воздействие на водные экосистемы, что позволяет наиболее надёжно оценить эколого-санитарное состояние водных объектов.

Синбиоиндикация — достаточно надёжный и вместе с тем сложный метод, требующий глубокого анализа и понимания не только закономерностей, но и механизмов причинно-следственных связей в гидрозкосистемах в зависимости от условий и особенностей определенных типов водных объектов. Без понимания этого зачастую трудно избежать искажения результатов оценки эколого-санитарного состояния. В качестве примера можно привести ненадёжность определения степени антропогенного загрязнения по показателям обилия микрофитобентоса в целом в условиях сильной проточности, физически снижающей численность и биомассу водорослей из-за нестабильности донных грунтов и тем самым нивелирующей их закономерное возрастание вследствие увеличения трофности при загрязнении (подробнее см. ниже).

Сообщества гидробионтов приурочены к определённым условиям экотопов в зависимости от экологических особенностей и предпочтений формирующих их видов. Поэтому важное значение для санитарной гидробиологии имеют фундаментальные исследования, направленные на установление и изучение структуры сообществ особенно ценологического ранга (био-, фито-, альго-, зооценозов). Для использования сообществ в качестве надёжных синбиоиндикаторов эколого-санитарного состояния водных экосистем и его изменения под воздействием антропогенных факторов, их следует выделять в соответствии с условиями среды обитания [5,18].

Так, например, в микрофитобентосе водохранилищ Днепра установлен ряд альгоценозов в зависимости от характера грунта, гидродинамических условий, морфометрических параметров экотопов. В мелководной зоне водохранилищ в речных частях в условиях внутрисуточных колебаний уровня воды при пиковых попусках днепровских ГЭС, а в озёрных частях — вследствие сильных ветро-волновых воздействий на промытых и слабо заиленных песках доминирует альгоценоз *Staurosira construens* Ehr. + *Melosira varians* Ag. Ведущая роль в нем принадлежит литоральным колониальным диатомовым водорослям, достаточно выносливым по отношению к усиленной

динамике водных масс. Данный альгоценоз вегетирует и в глубоководной зоне на заиленных песчаных грунтах, характеризующихся недостаточной стабильностью.

В глубоководной зоне речных частей водохранилищ за пределами колебания уровня воды при слабой и умеренной проточности на промытом и слабо заиленном песке развивается альгоценоз, характеризующийся вегетацией крупных диатомовых водорослей, свойственных стабильным донным грунтам: *Cymatopleura elliptica* (Bréb.) W. Sm. + *Surirella biseriata* Bréb. (иногда и другие крупные виды рода *Surirella*).

В озёрных частях водохранилищ в глубоководье на достаточно стабильных песчаных и плотных илесто-глинистых грунтах формируется альгоценоз *Campylodiscus hibernicus* Ehr. + *Oscillatoria ucrainica* Vladim., в котором константными являются также *Cymatopleura elliptica* и виды рода *Surirella*.

Средним расширенным частям водохранилищ с песчаным грунтом свойствен альгоценоз *Cymatopleura elliptica* + *Amphora ovalis* Kütz., который распространяется по всему вертикальному профилю откоса от уреза воды до глубоководья.

В застойных местах, где постоянно или периодически образуются подвижные иловые отложения, встречается альгоценоз *Nitzschia* Hass. + *Oscillatoria* Vaush. Доминирующие в нем диатомовые с веретеновидными клетками и нитчатые синезеленые водоросли способны к активному движению, что позволяет им перемещаться из-под ила на поверхность донных грунтов.

В качестве биоиндикаторов для характеристики и оценки состояния водных объектов используются фитопланктон, фитобентос, высшие водные растения, донные беспозвоночные животные и рыбы [2, 19]. В зависимости от типа водного объекта приоритетное значение имеют разные **экотопические группировки гидробионтов**.

В реках, особенно горных и крупных равнинных, наиболее надёжными синбиоиндикаторами являются сообщества фито- и зообентоса, которые обладают достаточно высокой чувствительностью к факторам среды. Они позволяют не только идентифицировать локальные источники загрязнения, но и охарактеризовать общее эколого-санитарное состояние водных экосистем и его изменение под антропогенным воздействием. Фитопланктон в горных реках часто недостаточно развит, а привнесенные из других водоёмов планктонты в условиях сильной проточности выпадают из толщи воды, опускаясь на дно.

В крупных озёрах основной экотопической группировкой для характеристики экологического состояния служит фитопланктон. В небольших мелководных озёрах и других водных объектах замедленного стока, подверженных интенсивному зарастанию, приоритетную роль в синбиоиндикации обычно играют сообщества высших водных растений. Они нередко рассматриваются как ключевой индикатор экологического состояния, поскольку

ку формируют среду обитания для других гидробионтов. Их преимущество определяется также длительным жизненным циклом, чувствительностью многих к физико-химическим факторам среды и непосредственной связью с локальными условиями как водной толщи, так и донных грунтов [17].

Микрофитобентос в озёрах, особенно зарастающих, обычно вегетирует слабо. В литоральной зоне его развитие лимитируется макрофитами, а на глубоководье неблагоприятным фактором является накопление нестабильных иловых отложений. В водоёмах и водотоках с естественными или искусственными твердыми субстратами (камни, бетонные гидротехнические сооружения и пр.) наиболее надежные синбиоиндикаторы — сообщества перифитона.

Характеристика и оценка состояния водных экосистем базируется на **резидентных флоре и фауне** [16]. В сообществах любой экотопической группировки гидробионтов помимо резидентных (аборигенных) присутствуют случайные аллохтонные виды, занесённые из других группировок. Так, благодаря гидродинамическим процессам в толще воды кроме планктонтов постоянно находятся бентонты, перифитонты и др., а на дне к бентонтам добавляются планктонты, перифитонты, эпифитонты и пр. При этом нередко, особенно в условиях, неблагоприятных для развития резидентных флоры и фауны, преобладают аллохтоны. В таких случаях характеристика и оценка состояния водной экосистемы по той или иной экотопической группировке в целом неизбежно приводят к неадекватным результатам. Так, например, в горных реках в толще воды планктонты практически отсутствуют, а встречаются, главным образом, перифитонты. В мелководных зарастающих водоёмах в планктоне преобладают представители бентонтов и перифитонтов. В этих типах водных объектов использование планктона для биоиндикации экологического состояния нецелесообразно.

Экологическое состояние водных объектов и его изменение под воздействием антропогенных факторов характеризуются по **показателям структуры и обилия** сообществ гидробионтов [2, 19]. Ключевые для индикации экотопические группировки устанавливаются в зависимости от особенностей водной экосистемы и главных факторов антропогенного воздействия. Показателями являются видовое богатство, таксономическая и эколого-морфологическая структура, численность и биомасса резидентных гидробионтов в сообществах, а также всех видов в целом, включая аллохтонные. При этом набор показателей не должен быть слишком обширным и включать только те из них, которые являются индикаторными.

Введение показателей, которые не реагируют или реагируют слабо и нечетко на изменение экологических условий в гидроэкосистемах, особенно антропогенных факторов, снижает адекватность определения эколого-санитарного состояния водных объектов, а также затрудняют его реальное осуществление. Рекомендуется четко разделять набор показателей на главные и второстепенные [17].

Результаты исследований и опыт применения свидетельствуют о том, что абсолютные и относительные показатели структуры сообществ гидробионтов как биоиндикаторы значительно надёжнее, чем численность и биомасса [6, 8, 18]. К числу важных в этом аспекте показателей принадлежит таксономический состав, преимущественно по таксонам высокого ранга, а также экологическая структура сообществ.

Информативными синбиоиндикаторами являются эколого-морфологические группы гидробионтов, которые объединяют виды, сходные по экологическим характеристикам и морфологическим признакам. Нередко эти группы состоят из одного таксона высокого ранга, отражая тем самым также таксономическую структуру сообщества.

Обоснованные и надёжные результаты биоиндикации состояния водных экосистем даёт использование комплекса структурных показателей, в то время как применение только одного, в том числе биотических индексов (например, индекса Шеннона и др.), является весьма проблематичным и нередко недостаточно соответствует степени нарушения среды [17]. При этом относительные параметры структуры сообществ гидробионтов часто эффективнее для синбиоиндикации, чем абсолютные характеристики, например численность и биомасса. Поэтому широкое распространение для оценки изменения состояния водных экосистем под воздействием антропогенных факторов получили методы, основанные на показателях доли тех или иных таксономических или экологических групп гидробионтов в структуре сообществ фито- и зоопланктона, макрозообентоса и др. [18]. Это справедливо также и для микрофитобентоса [6, 8].

В водохранилищах Днепра главными факторами антропогенного воздействия являются загрязнение из точечных источников и рассеянным поверхностным стоком, неравномерный гидрологический режим, обусловленный пиковыми попусками ГЭС. При этом реакция микрофитобентоса на эти факторы противоположная. Если загрязнение способствует интенсификации развития донных водорослей, то неравномерные попуски, вызывающие резкие колебания уровня воды и скорости течения, напротив, приводят к разрушению их сообществ и сокращению видового богатства и обилия.

Абсолютные показатели микрофитобентоса в водохранилищах могут использоваться для биоиндикации эколого-санитарного состояния, если степень влияния противоположно направленных факторов существенно различна и их взаимонивелирование не искажает результаты. В этих условиях видовое богатство, численность и биомасса донных водорослей индицируют воздействие сильного фактора, не отражая влияния более слабого из них.

Надёжным методом синбиоиндикации является использование структурных элементов микрофитобентоса — эколого-морфологических групп (ЭМГ) бентонтов, обладающих специфической чувствительностью к определённому экологическому фактору. Эффективным индикатором динамики водных масс является ЭМГ крупных диатомовых водорослей, которые первыми выпадают из донных альгоценозов в результате усиления гидродина-

мических процессов при увеличении проточности, колебаний уровня, ветро-волновой активности и других факторов, нарушающих стабильность грунта.

ЭМГ нитчатых синезеленых водорослей адекватно реагирует на загрязнение увеличением вегетации в силу свойственного им миксотрофизма. При этом относительные показатели, выраженные долей той или иной ЭМГ среди бентонтов, обладают преимуществом перед абсолютными величинами. Объясняется это тем, что под влиянием определенных экологических факторов претерпевают аналогичные изменения не только индикаторные ЭМГ, но и другие компоненты микрофитобентоса, однако последние в значительно меньшей степени и не могут служить надежными показателями воздействия этих факторов.

Определение **трофо-сапробиологического статуса** водных объектов должно базироваться на экосистемном принципе и включать все основные подсистемы и населяющие их экологические группировки биоты. Установить трофность и ориентировочно сапробность, которые в определенной мере связаны благодаря аналогичным первопричинам (особенно в нижнем и среднем диапазонах содержания органических веществ и биогенных элементов), только по одной подсистеме, например по характеристикам состава и свойств водной толщи и, соответственно, по планктону, не представляется возможным. Часто отклик на изменение трофо-сапробиологического состояния при антропогенном евтрофировании проявляется не в планктонной, а в бентосной подсистеме, а при наличии твердых субстратов — в перифитоне.

В процессе санитарно-гидробиологических исследований для установления трофического статуса водного объекта можно использовать шкалы градаций величин показателей биотических сообществ [3]. Разработаны ориентировочные девятиразрядные шкалы количественных показателей фито-, зоо- и бактериопланктона, микрофитобентоса, микрофитоперифитона, макрофитов, зообентоса, зооперифитона, зоофитоса для водных объектов Украины, примерно соответствующие преобладающим типам пяти классов трофности [9, 10].

Санитарно-гидробиологические исследования обычно выполняются в два этапа: первый предполагает общую **характеристику**, второй — **оценку эколого-санитарного состояния** водных объектов. На первом этапе используется достаточно широкий набор характеристик (дескрипторов) биотических сообществ, второй требует применения тех показателей, которые определенным образом реагируют на воздействие экологических факторов (в том числе антропогенных) и могут служить надёжными биоиндикаторами нарушений эколого-санитарного состояния водных экосистем, ухудшения качества среды обитания гидробионтов и человека. Неиндикаторные характеристики биотических сообществ нередко могут быть источником ненадёжности или даже ошибочности санитарно-гидробиологической оценки, в частности при интегрировании результатов ряда показателей.



Адекватная надежная оценка эколого-санитарного состояния водных экосистем является базой для разработки научно обоснованных экологически эффективных и технически возможных управленческих решений.

Оценка эколого-санитарного состояния водных экосистем и его ухудшения под воздействием неблагоприятных факторов может быть качественной, описывающей характер нарушений и отрицательные последствия для среды обитания гидробионтов и человека. Однако для обоснования необходимости улучшения состояния гидроэкосистемы и разработки мероприятий по санации водных объектов необходимо количественное выражение оценки с четким представлением меры нарушения и степени ухудшения качества среды.

Количественная оценка эколого-санитарного состояния водных объектов и степени его изменения основывается на метриках. Метриками являются показатели биоты, которые четко и однозначно реагируют на определённые экологические факторы и позволяют количественно измерить уровень ухудшения состояния и качества среды при изменении этих факторов, в том числе в результате антропогенного воздействия. В качестве метрик используются характеристики структуры и обилия сообществ гидробионтов, четко коррелирующие с факторами воздействия и поэтому имеющие достаточно высокую биоиндикационную способность.

Разные показатели одного сообщества — синбиоиндикатора проявляют неодинаковую чувствительность к изменению факторов среды. Обычно видовое богатство реагирует слабее, чем обилие. При этом численности и биомассе свойственна разная степень изменчивости, которая зависит от эколого-морфологических и других особенностей гидробионтов. Так, например, в альгоценозах микрофитобентоса для крупных диатомовых водорослей характерно значительно большее изменение биомассы, чем численности, тогда как у мелкоклеточных нитчатых синезеленых численность трансформируется сильнее биомассы. По этой причине отдельные показатели не могут обеспечить достаточную надежность биоиндикационной информации.

Для адекватной оценки степени нарушения состояния водной экосистемы рекомендуется использование мультиметрических показателей. Они рассчитываются как среднеарифметические или средневзвешенные (с учетом чувствительности показателей к определенному фактору) величины отдельных показателей того или иного биоиндикатора. Мультиметрический показатель позволяет в значительной степени нивелировать погрешности, возможные из-за довольно широкого диапазона результатов по отдельно взятым показателям, и избежать ошибок в оценке эколого-санитарного состояния водных объектов.

Поскольку показатели имеют различную размерность, для сопоставления их необходимо перевести в безразмерное выражение. Например, можно подвергнуть ранжированию по критериальным шкалам с выражением величин в виде рангов, классов, разрядов и т. п. или перевести в относительные значения, соответствующие доле (например, в процентах) определенно-

го компонента сообщества от общей величины показателя всего сообщества.

Оценка эколого-санитарного состояния водных объектов осуществляется компаративным методом: по отношению зарегистрированной величины того или иного показателя к **эталонной** (исходной, референсной [2]) **величине**, свойственной эталонным (референсным) условиям, которые характеризуют экосистему при отсутствии или очень незначительной степени нарушения ее абиотических и биотических компонентов под антропогенным воздействием [2, 19].

Эталонные величины показателей устанавливаются для каждого из основных сообществ гидробионтов с учетом физико-химических условий. Эти величины являются типовыми (типоспецифическими [2, 19]), присущими определенным типам местообитаний (эктопов), которые характеризуются сходными физико-химическими и биологическими условиями [8].

Так, например, для каждого из выделенных в водохранилищах Днепра альгоценозов микрофитобентоса нами установлены эталонные величины видового богатства, численности и биомассы [5]. При этом для водных объектов придаточной сети речных частей водохранилищ они несколько выше, чем для основного русла, где гидродинамические процессы более активны.

В каскаде водохранилищ сверху вниз по мере нарастания трофности закономерно расширяется видовой состав и возрастает обилие донных альгоценозов. Так, в тех же альгоценозах в Каховском водохранилище они в 1,3—1,6 выше, чем в Каневском. В устьевой области Днепра эти показатели еще больше: видовое богатство — в 2, численность и биомасса — в 3—10 раз чем в Каневском.

Для альгоценозов микрофитобентоса днепровских водохранилищ установлены также эталонные величины доли имеющих биоиндикационное значение эколого-морфологических групп водорослей в общем видовом богатстве, численности и биомассе бентонтов в зависимости от физико-химических условий водных объектов.

Для санитарно-гидробиологической оценки состояния водных экосистем и его нарушения под воздействием антропогенных факторов очень важно адекватное и четкое представление результатов биоиндикации. Для этого целесообразно применить индекс эколого-санитарного состояния (ИЭС), который представляет собой отношение измеренного в водном объекте значения определенного показателя к эталонному [6]. На основе результатов биоиндикации с помощью ИЭС можно получить адекватное представление о состоянии водной экосистемы и достаточно надёжную количественную оценку качества среды обитания гидробионтов, окружающей среды человека, водных ресурсов и степени их ухудшения в условиях антропогенного пресса.

**Оценка водных экосистем по индексу эколого-санитарного состояния (ИЭС)**

Характеристики	Градации эколого-санитарного состояния				
	I	II	III	IV	V
Качество среды	Отличное	Хорошее	Посредственное	Плохое	Очень плохое
Нарушение состояния	Очень слабое	Слабое	Умеренное	Сильное	Очень сильное
ИЭС:					
уменьшение показателей	1,0—0,9	0,8—0,7	0,6—0,4	0,3—0,2	< 0,2
увеличение показателей	1,0—1,1	1,2—1,5	1,6—3,0	3,1—5,0	> 5,0

Поскольку ИЭС должен учитывать и отображать воздействие многофакторной антропогенной нагрузки на водные экосистемы, следует принимать во внимание, что разные факторы могут вызывать противоположно направленную реакцию сообществ гидробионтов. Одни факторы приводят к снижению (например, усиленная динамика водных масс), другие, напротив, — к увеличению значений количественных показателей. Так, возрастание видового богатства и обилия сообществ водорослей имеет место при загрязнении органическими и биогенными веществами. Поэтому для ИЭС используется двойная шкала значений (таблица), отражающая как уменьшение, так и увеличение количественных показателей сообществ гидробионтов в исследуемом водном объекте по сравнению с эталонными. Если вследствие сильного антропогенного воздействия значения показателей изменяются на порядок и больше, рекомендуется применение ранжирования абсолютных значений [7]. При этом ИЭС вычисляются как отношение рангов зарегистрированных величин к эталонным.

Санитарно-гидробиологическая оценка состояния водных объектов выполняется, как правило, с вполне определенной целью. Поэтому ее результаты должны быть проанализированы в аспекте тех задач, для которых она производилась. В частности, необходимо установить степень нарушения эколого-санитарного состояния водных экосистем и основные антропогенные факторы, ответственные за ухудшение качества среды.

Использование ряда синбиоиндикаторов — сообществ гидробионтов и их структурных элементов, которым свойственна чувствительность к разным факторам, позволяет дифференцировать нарушения, возникающие при определенных воздействиях. Это дает возможность выделить основные из них, что необходимо для разработки эффективных мероприятий по улучшению и/или сохранению благоприятного для гидробионтов и человека эколого-санитарного состояния водных объектов и качества среды.

Основными **видами антропогенного воздействия** на водные объекты являются гидротехнические преобразования, загрязнения точечным и рассе-

янным стоком с урбанизированных территорий, промышленных предприятий, сельскохозяйственных угодий. Экологические последствия гидротехнического строительства состоят в нарушении морфометрических параметров и гидрологического режима (динамики водных масс, скорости течения, мутности воды, термических характеристик) водных объектов.

Загрязнение органическими веществами и биогенными элементами приводит к евтрофированию водных объектов вплоть до гиперевтрофного состояния. В результате этого воздействия интенсифицируется первичное продуцирование органического вещества и возникают биологическое самозагрязнение, «цветение» воды, накопление биомассы перифитона и высшей водной растительности, дефицит кислорода при разложении массы отмерших гидробионтов, что резко ухудшает эколого-санитарное состояние водных экосистем.

Поступление в водные объекты минерализованных сточных вод нарушает солевой состав воды как среды обитания гидробионтов и качество водных ресурсов для хозяйственного использования.

Главными **направлениями санации** водных объектов, улучшения состояния их экосистем, качества среды обитания биоты, окружающей среды человека и водных ресурсов, обоснования для которых разрабатывает санитарная гидробиология, являются:

— мероприятия на водосборной площади по предотвращению или максимально возможному ограничению поступления в водоёмы и водотоки загрязняющих веществ;

— экологически допустимое гидротехническое вмешательство в морфометрические и гидрологические характеристики водных объектов с предельной минимизацией отрицательных последствий;

— интенсификация как биологических, так и физико-химических процессов самоочищения в водных экосистемах;

— предотвращение самозагрязнения в результате гиперпродуцирования органического вещества в планктоне, бентосе, перифитоне и высшей водной растительности.

Для ограничения поступления загрязняющих веществ с водосборной площади необходимо обустройство береговой зоны водоёмов и водотоков, включая защиту от листового опада, чередование участков с травяным покровом и песчаным грунтом, биологическое закрепление берегов с помощью воздушно-водной растительности для предотвращения их размыва и другие мероприятия.

Для гидротехнических объектов большое значение в санитарно-гидробиологическом аспекте имеют не только конструктивные решения, но и режим эксплуатации [15]. В зарегулированных водных объектах для улучше-

ния эколого-санитарного состояния и качества среды эффективны экологические попуски, с помощью которых достигается существенная интенсификация физико-химических и биологических процессов самоочищения. Помимо разбавления и уменьшения концентрации загрязняющих веществ, они, как правило, способствуют улучшению кислородного режима и усилению биологической деструкции органических веществ. Необходимые объёмы попусков зависят от степени антропогенной нагрузки на водные экосистемы.

Экологические (точнее эколого-санитарные) попуски включают базовую экосистемную составляющую и санитарную надбавку [12, 13]. Первая обуславливает сбалансированность внутриводоёмных процессов продуцирования и деструкции органического вещества в водной экосистеме, вторая направлена на обеспечение самоочищения от антропогенного загрязнения.

К примеру, величина экосистемного попуска через плотину Киевской ГЭС в Каневское водохранилище в период летне-весенней межени составляет  $360 \text{ м}^3/\text{с}$  [12]. Санитарная надбавка вследствие сильного антропогенного пресса г. Киева необходима в объёме  $390 \text{ м}^3/\text{с}$ . Таким образом, эколого-санитарный попуск из Киевского водохранилища для обеспечения благополучного состояния Каневского водохранилища должен быть равным  $750 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Самозагрязнение водных объектов возникает, если первичная продукция органического вещества значительно превышает уровень его деструкции. Источником биологического загрязнения чаще всего является гиперпродукция фитопланктона или перифитона. Чрезмерное развитие планктонных водорослей вызывает «цветение» воды; перифитон образует макроскопические обрастания на твердых субстратах. Из-за короткого жизненного цикла скопления водорослей периодически отмирают и разлагаются. Биологическое загрязнение существенно ухудшает эколого-санитарное состояние водных объектов и качество среды для гидробионтов и человека.

Высшие водные растения при излишней вегетации также могут быть источником самозагрязнения, особенно в небольших слабопроточных водоёмах. Вместе с тем, при умеренном развитии высшая водная растительность играет положительную роль в процессах самоочищения за счет жизнедеятельности как самих макрофитов, так и населяющих заросли бактерий, микроводорослей и беспозвоночных. Высшие водные растения способны поглощать и накапливать различные загрязняющие вещества, надолго выводя их из круговорота водной экосистемы.

Для этой цели служат так называемые биоплато. Биоплато — водоохранное сооружение или конструктивный элемент гидротехнического сооружения, в котором сообщества высших водных растений естественного или искусственного происхождения используются в качестве биофильтров для очистки воды от загрязняющих веществ [11, 15]. Соответственно местоположению и конструктивным особенностям биоплато бывают русловые, береговые, устьевые, инфильтрационные, наплавные. Они применяются на раз-

личных водных объектах — реках, каналах, водохранилищах и других для улучшения эколого-санитарного состояния водных экосистем, обеспечения благоприятного качества среды обитания гидробионтов, окружающей среды человека и водных ресурсов для водоснабжения населения, промышленности, сельского хозяйства и других водопотребителей и водопользователей.

### *Заключение*

Санитарная гидробиология является специальным разделом гидробиологии. В современный период ее задачи заключаются в исследовании и оценке эколого-санитарного состояния водных экосистем, качества среды обитания гидробионтов, окружающей среды человека и водных ресурсов, а также в разработке путей его улучшения путем санации водных объектов в условиях антропогенного пресса.

Концепция санитарной гидробиологии базируется на экосистемном принципе. Санитарно-гидробиологические исследования направлены на установление закономерностей и изучение механизмов взаимосвязи биотических компонентов водных экосистем с физико-химическими и другими факторами среды, в том числе антропогенными.

Специальным методом санитарной гидробиологии является биоиндикация состояния водных экосистем, которая основывается на реакции отдельных видов гидробионтов (аутбиоиндикация) и их сообществ (синбиоиндикация) на изменение экологических факторов среды обитания.

В современный период из-за комплексного многофакторного антропогенного воздействия на водные экосистемы синбиоиндикация имеет существенное преимущество перед аутбиоиндикацией, сориентированной на один из его видов.

Характеристика и оценка эколого-санитарного состояния водных объектов осуществляются критериальными или компаративными методами на основе видового состава и обилия гидробионтов, структуры и количественных показателей их сообществ.

Санитарно-гидробиологическая оценка состояния водных экосистем и степени его нарушения под антропогенным прессом является базисом для решения о необходимости санации водных объектов. На основе оценки эколого-санитарного состояния водоёмов и водотоков определяются неблагоприятные факторы воздействия и разрабатываются эффективные пути ликвидации или ограничения отрицательных последствий для улучшения и/или сохранения благоприятного качества среды обитания гидробионтов, окружающей среды человека и водных ресурсов для хозяйственного использования.

\*\*

*Викладено концепцію, методологію, завдання санітарної гідробіології у сучасний період в умовах багатфакторного антропогенного впливу на водні екосистеми.*

*Розглянуто питання біоіндикації за угрупованнями гідробіонтів. Представлено методи оцінки та шляхи покращення еколого-санітарного стану водних об'єктів.*

\*\*

*The conception, methodology and issues of the actual sanitary hydrobiology under the multifactorial anthropogenic impact are presented. The methods of bioindication, assessment and improvement of the water ecosystems ecological-sanitary state are considered.*

\*\*

1. Винберг Г.Г. Гидробиология как экологическая наука // Гидробиол. журн. — 1977. — Т. 13, № 5. — С. 5—15.
2. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К., 2006. — 240 с.
3. Жукинський В.М. Використання методів гідроекологічних досліджень при комплексній оцінці стану поверхневих вод // Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д.Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — С. 376—400.
4. Константинов А.С. Общая гидробиология. — М.: Высш. шк., 1986. — 472 с.
5. Оксюк О.П., Давыдов О.А. Альгоценозы микрофитобентоса водохранилищ Днепра и Днепроовско-Бугской устьевой области // Гидробиол. журн. — 2010. — Т. 46, № 2. — С. 48—70.
6. Оксюк О.П., Давыдов О.А. Санитарно-гидробиологическая характеристика водных экосистем по микрофитобентосу // Там же. — 2011. — Т. 47, № 4. — С. 66—79.
7. Оксюк О.П., Давыдов О.А., Карпезо Ю.И. Оценка экологического состояния водных объектов по фитопланктону и фитобентосу (на примере украинского участка Дуная) // Там же. — 2009. — Т. 45, № 2. — С. 3—12.
8. Оксюк О.П., Давыдов О.А., Карпезо Ю.И. Микрофитобентос как биоиндикатор состояния водных экосистем // Там же. — 2010. — Т. 46, № 5. — С. 89—103.
9. Оксюк О.П., Жганова Г.А., Гусынская С.А., Головка Т.В. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. I. Планктон // Там же. — 1994. — Т. 30, № 3. — С. 26—31.
10. Оксюк О.П., Зимбалева Л.Н., Протасов А.А. и др. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон и зоофитос // Там же. — 1994. — Т. 30, № 4. — С. 31—35.
11. Оксюк О.П., Стольберг Ф.В. Управление качеством воды в каналах. — Киев: Наук. думка, 1986. — 176 с.
12. Оксюк О.П., Тимченко В.М., Давыдов О.А. и др. Экологические попуски Киевской ГЭС. — Киев: ЛОГОС, 2003. — 72 с.
13. Оксюк О.П., Тимченко В.М., Полищук В.С. и др. Управление состоянием экосистемы и качеством воды в устьевом участке Днепра. — Киев: ВИПОЛ, 1996. — 64 с.
14. Протасов А.А. О структуре фундаментальной и прикладной гидробиологии // Мор. екол. журн. — 2010. — Т. 9, № 3. — С. 5—13.

15. Романенко В.Д., Оксуюк О.П., Жукинський В.Н. *и др.* Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. — Киев: Наук. думка, 1990. — 256 с.
16. Семенченко В.П. Принципы и системы биоиндикации текучих вод. — Минск: Орех, 2004. — 125 с.
17. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод. — Минск: Беларуская навука, 2010. — 329 с.
18. Семенченко В.П. Биоиндикация воздействия АЭС на водные экосистемы // Техно-экосистема АЭС / Под ред. А.А.Протасова. — Киев: Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2011. — С. 192—199.
19. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy // Offic. J. EC. — L. 327, 22, 2000. — 72 p.

Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

Поступила 09.10.12