

УДК 556.012(581.526.325:556.113)(574.63)

*А. А. Протасов, Т. Н. Новоселова**Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев***ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОЗРАЧНОСТИ ВОДЫ И РАЗВИТИЕМ ВОДОРОСЛЕЙ ПЛАНКТОНА В ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ ХМЕЛЬНИЦКОЙ АЭС**

Представлены результаты исследований фитопланктона и прозрачности воды в водоеме-охладителе Хмельницкой АЭС. Показана зависимость показателей прозрачности воды от биомассы фитопланктона, что позволяет ориентировочно определить трофический статус водоема и показатели качества воды. Методика определения прозрачности вод по диску Секки рекомендована для гидробиологического мониторинга водоемов-охладителей АЭС.

Ключевые слова: фитопланктон, прозрачность воды, диск Секки, водоем-охладитель АЭС, трофность.

Прозрачность воды является одним из важных гидрофизических показателей, используемых для определения качества воды. Прозрачность является одним из элементов определения экологического состояния водных объектов согласно Водной Рамочной Директиве ЕС [1], а также входит в список показателей при проведении гидробиологического мониторинга водоёмов в Украине [2].

Прозрачность воды обусловлена содержанием взвешенных веществ органического и неорганического происхождения. Иными словами, основной фактор, определяющий величину прозрачности, — это мутность воды, т. е. содержание взвешенных в воде веществ. Эти характеристики обратно взаимосвязаны [3].

Взвешенные вещества в наливных водоёмах-охладителях образуются преимущественно автотонно за счет взмучивания донных грунтов и жизнедеятельности гидробионтов [4].

Исследования мутности и прозрачности вод имеют свою историю. Первые записи регулярных измерений прозрачности природных вод были сделаны немецким натуралистом А. Чамиссо во время экспедиции на российском корабле “Рюрик” в 1815—1818 гг. Измерения проводились путем опускания на глубину белой тарелки на тросе. Метод, основанный на погружении окрашенного в белый цвет диска в воду до глубины видимости, был описан итальянским физиком П. Секки в 1865 г. В начале двадцатого столетия определение прозрачности воды, с помощью белого диска, было названо методом диска Секки [5]. Согласно современным требованиям [6] измерительный диск или диск Секки представляет собой белый диск, диаметром 20 см, на нем могут быть нанесены черные сектора, что помогает более точно установить глубину видимости (рис. 1).

Мерой прозрачности воды является высота её столба, сквозь который еще можно наблюдать диск Секки или прочесть типографский шрифт определенного размера [7]. Кроме этого в настоящее время

в исследовании водных экосистем применяется спектрофотометрический метод, который позволяет определять мутность воды на разных глубинах [3]. Возможны ситуации, когда разные глубины характеризуются разным уровнем мутности воды. В частности, если на дне водоёма имеются большие поселения моллюска-фильтратора дрейссены, то прозрачность воды у дна может намного превышать прозрачность у поверхности.

Данные по измерениям прозрачности воды с помощью диска Секи накоплены по большому количеству водных объектов. Так, в континентальных водоёмах наблюдаются показатели прозрачности воды по диску Секки от 0,2 до 40 м. Глубина проникновения солнечного излучения напрямую связана с прозрачностью воды, таким образом, зная прозрачность воды, можно определить мощность так называемого трофогенного слоя, т. е. слоя воды, в котором происходят основные процессы фотосинтеза водорослями планктона [8].

В методиках, которые применяются при экологическом мониторинге на водоёмах-охладителях АЭС Украины, используется метод определения прозрачности по шрифту. Однако в реальных условиях, при достаточно малой мутности и, соответственно, высокой прозрачности, определение последней этим методом весьма сложно. Метод более приемлем для работ со сточными водами, где мутность, как правило, высокая.

Определение прозрачности воды, в том числе и в водоёмах-охладителях, важно не только как установление одного из гидрофизических параметров, но и как выявление экологического состояния, трофического статуса экосистемы. Это связано с тем, что в период вегетации основная составляющая совокупности (пула) взвешенных веществ — это, как правило, находящиеся в воде планктонные организмы (фито- и зоопланктон), а с увеличением количества водорослей в воде возрастает и первичная продукция, т. е. растёт трофность водоёма.

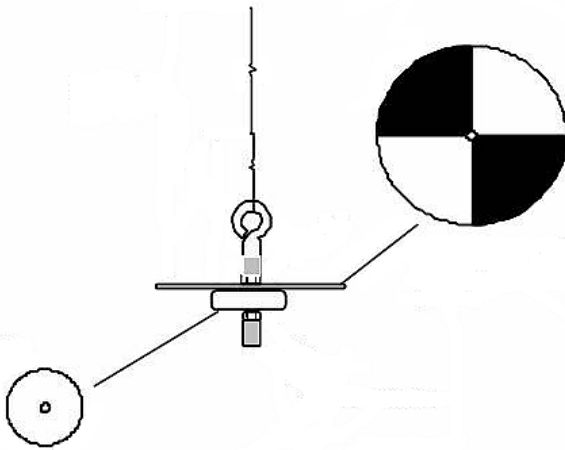


Рис. 1. Диск для определения прозрачности воды (диск Секки)

В истории экосистемы водоёма-охладителя ХАЭС можно выделить несколько периодов, сопровождающихся изменением прозрачности воды. Эта периодичность связана с введением в эксплуатацию второго энергоблока, общим усилением техногенной нагрузки на водоём, а также вселением активного моллюска-фильтратора дрейссены (*Dreissena polymorpha* Pall.).

На первом этапе (исследования проводили в 1998—2001 гг.) при работе одного энергоблока АЭС прозрачность воды по диску Секки (белый диск диаметром 30 см) в летне-осенний период в среднем по ряду измерений в разных точках водоёма составляла $(1,23 \pm 0,05)$ м. Показатели обилия фитопланктона были достаточно высокими: численность — $(42,50 \pm 10,43)$ млн кл./дм³, биомасса — $(13,78 \pm 2,19)$ мг/дм³. Согласно экологической классификации поверхностных вод суши [2] величины показателя прозрачности соответствовали II классу (мезотрофные воды). В то же время биомасса фитопланктона колебалась в пределах, характерных для III (эвтрофного) и IV (политрофного) классов.

С началом работы второго энергоблока (2004 г.) и вселением в водоём дрейссены произошло снижение количественных показателей фитопланктона — $(8,73 \pm 2,79)$ млн кл./дм³ и $(0,64 \pm 0,12)$ мг/дм³ (численность и биомасса, соответственно), что закономерно повлекло за собой увеличение прозрачности до $(2,62 \pm 0,08)$ м (средние данные за летне-осенний период 2006—2010 гг.). Начиная с октября 2006 г., когда в бентосе и перифитоне наблюдался пик развития дрейссены, по биомассе фитопланктона и по прозрачности трофность водоёма-охладителя соответствовала I классу (олиготрофные воды). Отдельно следует отметить, что жизнедеятельность вида-вселенца *D. polymorpha*

не только существенно ограничила количественное развитие фитопланктона, но и негативно сказалась на его видовом богатстве. Так, если в июле 2006 г. в фитопланктоне водоёма-охладителя ХАЭС насчитывалось 71 НОТ (низший определяемый таксон, в основном — вид) водорослей, то в сентябре 2008 г. — только 9, но в сентябре 2010 г. фитопланктон был представлен уже 26 НОТ.

На современном этапе (2012—2014 гг.) в условиях работы двух блоков АЭС и существенного снижения количественных показателей дрейссены [9] наблюдалось уменьшение прозрачности воды до $(1,94 \pm 0,05)$ м и, соответственно, увеличение обилия фитопланктона ($(19,21 \pm 2,34)$ млн кл./дм³ — численность, $(3,20 \pm 0,35)$ мг/дм³ — биомасса). Таким образом, в последние годы исследований трофность вод водоёма-охладителя, исходя из значений прозрачности, оставалась на прежнем уровне — олиготрофном, при этом значения биомассы фитопланктона возросли до уровня 2001 г. и соответствовали III классу качества воды — эвтрофные воды. Следует отметить, что в данном случае приводится оценка трофности и качества вод только по показателям развития фитопланктона и прозрачности воды. Для полной оценки экологического состояния водного объекта необходимо большее количество различных параметров [2].

Показатели прозрачности воды и биомасса фитопланктона, а также концентрация хлорофилла связаны обратной зависимостью [8, 10—13]. Многолетние исследования, проведенные на водоёме-охладителе Хмельницкой АЭС, подтверждают указанную закономерность (рис. 2).

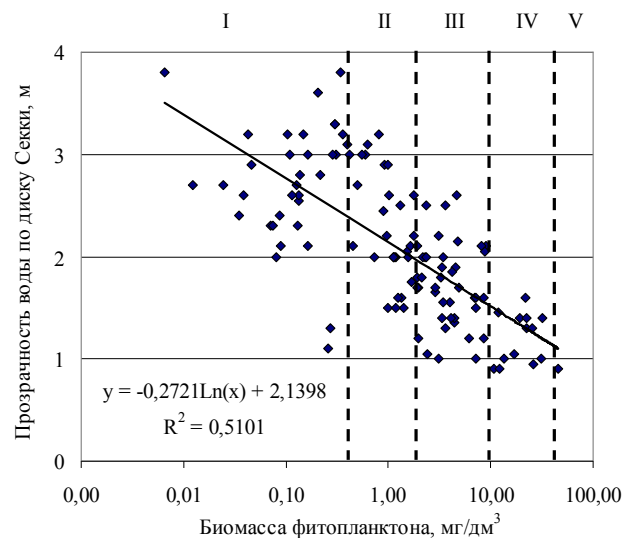


Рис. 2. Взаимосвязь изменения прозрачности воды и биомассы фитопланктона водоёма-охладителя ХАЭС на фоне границ классов трофности и качества вод (пунктир) (по [2]). Типы трофности и классы качества вод: I — олиготрофные, “очень чистые”; II — мезотрофные, “чистые”; III — эвтрофные, “загрязненные”; IV — политрофные, “грязные”; V — гипертрофные, “очень грязные”

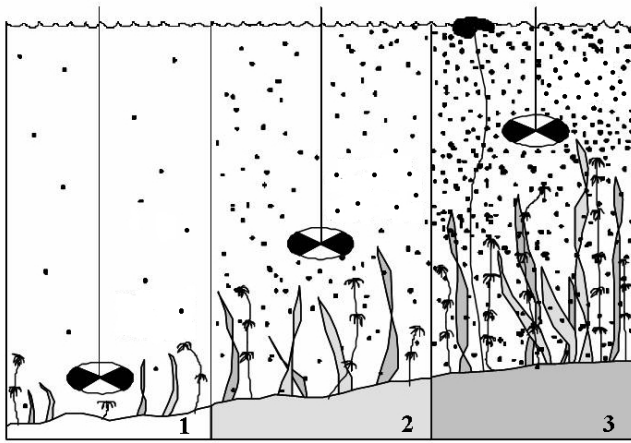


Рис. 3. Различные градации трофности и условного развития гидробионтов в водоёмах с различной прозрачностью воды (по [14]). Типы трофности водоёма: 1 — олиготрофные; 2 — мезотрофные; 3 — эвтрофные

Исследуя взаимосвязь между прозрачностью и количественными характеристиками фитопланктона, можно на основании оперативных данных о прозрачности с определенной достоверностью установить трофический статус водных экосистем и судить о вероятных изменениях в экосистеме.

Так, если на графике, изображенном на рис. 2, разделить шкалу с показателями биомассы фито-

планктона на соответствующие ее значениям классы трофности, то можно, зная прозрачность воды, определить область той или иной трофности. Наглядно эти взаимосвязи представлены на рис. 3 (шкала разделения зон трофности дана как в оригинале [14]).

Таким образом, показатель прозрачности воды, определяемый с использованием измерительного диска (диска Секки), является весьма информативным и позволяет получить данные не только о гидрофизических характеристиках данного водного объекта, но и о степени развития организмов планктона. Однако здесь следует иметь в виду, что в водоёме должны отсутствовать источники минеральных взвесей, факторы взмучивания донных отложений. Накоплено большое количество данных измерений прозрачности воды с применением этого метода в различных водоёмах. Во многих из них проводились исследования развития планктона и сравнительная оценка трофического статуса и экологического состояния.

Исходя из проведенного анализа, авторы считают целесообразным включение метода измерения мутности (прозрачности воды) согласно [6] в регламент гидробиологического мониторинга водоёма-охладителя АЭС, который разрабатывается в соответствии с [15].

Список использованной литературы

1. 2000/60/ЄС Водна Рамкова Директива ЄС. Основні терміни та їх визначення. — К.: 2006. — 240 с.
2. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуарій України / Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. — К., 2001. — 48 с.
3. Тимченко В. М. Экологическая гидрология водоемов Украины / В. М. Тимченко. — К.: Наук. думка, 2006. — 382 с.
4. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины / Отв. ред М. Ф. Поливанная. — К.: Наук. думка, 1991. — 192 с.
5. Wernand M. R. On the history of the Secchi disc / M. R. Wernand // Journal of the European Optical Society — Rapid Publications. — 2010. — Vol. 5, 1000135. — P. 1—6.
6. ДСТУ ISO 7027:2003 Національний стандарт України. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT). — К.: Держспоживстандарт України, 2004. — 9 с.
7. Руководство по определению прозрачности / Руководство по методам исследования качества вод. Т. 1: Гидрохимия. Радиология. — К., 1995. — С. 25—26.
8. Протасов А. А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии / А. А. Протасов. — К.: Академперіодика, 2011. — 704 с.
9. Протасов А. А. Контурные группировки гидробионтов в техно-экосистемах ТЭС и АЭС / А. А. Протасов, А. А. Силаева // Институт гидробиологии НАН Украины. — К., 2012. — 274 с.
10. Бульон В. В. Связь между концентрацией планктона и прозрачностью воды в озерах и водохранилищах / В. В. Бульон // Морфология, систематика и эволюция животных. Сб. науч. работ. — Л., 1968. — С.49—50
11. Романенко В. И. Связь между интенсивностью фотосинтеза при равномерном распределении водорослей в толще воды и прозрачностью по диску Секки / В. И. Романенко // Биология внутренних вод: Информ. бюллетень ИБВВ АН СССР. — Л.: Наука, 1973. — № 19. — С.11—15.
12. Brezonik R. Z. Effect of organic colour and turbidity on Secchi disk transparency / R. Z. Brezonik // J. Fish. Res. Board. Canada. — 1978. — V. 35, № 11. — P. 999—1024.
13. Dillon P. J. The phosphorus-chlorophyll relationships in lakes / P. J. Dillon, F. H. Rigler // Limnol. and Oceanogr. — 1974. — V. 19, № 5. — P. 767—777.
14. Green L. Measuring water clarity / L. Green, K. Addy, N. Sanbe // Natural Resources Facts. — 1996. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.uri.edu/ce/wq/ww/Publications/Secchi.pdf>
15. СТД 0.03.088-2010 Порядок розробки регламенту гідробіологічного моніторингу водойми-охолоджувача, систем охолодження і системи технічного водопостачання АЕС з реакторами типу ВВЕР. Методичні вказівки. — К., 2010. — 48 с.

Получено 29.05.2015