

3. Sharma S., Singh B., Manchanda V.K. Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water// *Environmental Science and Pollution Research*, 2015. Vol. 22, p.946-962.

4. Gaur N., Flora G., Yadav M., Tiwari A. A review with recent advancements on bioremediation-based abolition of heavy metals// *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2014. Vol. 16, p.180-193.

5. Islam S., Saito T., Kurasaki M. Phytofiltration of arsenic and cadmium by using an aquatic plant, *Micranthemum umbrosum*: Phytotoxicity, uptake kinetics, and mechanism. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015. Vol. 112, p.193-200.

6. Rivera-Utrilla J., Sanchez-Polo M., Ferro-Garcia M.A., Prados-Joya G., Ocampo-Perez R. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. *Chemosphere*, 2013. Vol. 93, p.1268-1287.

7. Li Y., Zhu G., Ng W.J., Tan S.K. A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: Design, performance and mechanism// *Science of the Total Environment*, 2014. Vol. 468-469, p.908-932.

8. Zhang D., Gersberg R.M., Ng W.J., Tan S.K. Removal of pharmaceuticals and personal care products in aquatic plant-based systems: A review. *Environmental Pollution*, 2014. Vol. 184, p.620-639.

## **ВОДОРОСЛИ ФИТОЭПИЛИТОНА КАК ИНДИКАТОРЫ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ОБИ**

Ким Г.В.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул  
king@iwep.ru

Несмотря на то, что ценотическая, трофическая и индикаторная значимость водорослей, развивающихся на твердых субстратах общепризнанна, использование этой группы в качестве инструмента мониторинга и для оценки качества воды применяется в странах СНГ в значительно меньшей степени, чем водорослей планктона, водных беспозвоночных и рыб. В тех случаях, когда состояние водных объектов оценивают и по фитоперифитону, в комплекс показателей включают всего четыре: общее число видов, массовые виды, частоту встречаемости, сапробность [1-3]. В европейских странах и

США фитоперифитон для оценки экологического состояния водных объектов используется более активно. В мониторинговых программах разных стран в целом отмечено около 14 показателей, которые рассчитываются на основе таксономической представленности и количественных показателей [4-6]. Одна из причин отсутствия подобных показателей в работах отечественных исследователей, возможно, связана с недостаточной изученностью фитоперифитона. Так, несмотря на то, что водоросли каменистого субстрата (фитоэпилитон) являются основной по обилию и таксономическому разнообразию группой низших растений в водных объектах горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби, данные о них в научных публикациях приведены для немного более 20 из десятков тысяч водотоков и озер.

В настоящей работе сделана попытка оценить экологическое состояние водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби по показателям фитоперифитона, принятым в отечественных нормативных документах, а также применить для оценки качества воды некоторые показатели, используемые зарубежными исследователями.

Изучение фитоэпилитона Телецкого озера, 9 высокогорных озер, 30 горных водотоков бассейнов рек Бия, Катунь, включая и эти крупнейшие водные артерии, 7 предгорных водотоков бассейнов рек Катунь, Чарыш, Алей (1989-2010 гг.) проводили с использованием стандартных гидробиологических и альгологических методов. Качество воды оценивали по процентному содержанию видов-индикаторов галобности, рН, растворенного органического вещества, а также численности, биомассе, индексу сапробности, процентному содержанию цианопрокариот, процентному содержанию деформированных створок диатомовых водорослей. Для сравнения использованы гидрохимические данные за этот период, любезно предоставленные сотрудниками ИВЭП СО РАН (г. Барнаул).

Водосборные бассейны большинства водных объектов относятся к территориям с низкой (до 3 баллов) степенью антропогенной нагрузки [7]. Поэтому первоначально были оценены региональные особенности структуры фитоэпилитона как сообщества фоновых водных объектов. Из 628 выявленных видов наиболее разнообразно представлены диатомовые (262 вида), зеленые (136) водоросли и цианопрокариоты (178). Видовое разнообразие цианопрокариот превышает таковое зеленых водорослей в 1,3 раза. Но связано это

исключительно с нестабильностью среды обитания в горных водотоках и литорали горных озер (ежесуточным колебанием уровня воды, высокой скоростью течения, ветроволновой деятельностью). Цианопрокариоты, как организмы более физиологически устойчивые, например, к высыханию, получили преимущество над зелеными водорослями в таксономическом разнообразии. По численности же они редко становятся доминантами в сообществах.

Выявлена асимметричность структуры фитоэпилитона. Доля одно-трехвидовых семейств и родов превышает 50,6 %. Высокая частота встречаемости (50,0-88,0 %) и доминирования (10,0-57,0 %) отмечена только для 10 видов (*Achnanthes minutissima* Kütz., *Cymbella ventricosa* (Ag.) Kütz., *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kütz., *Hannaea arcus* (Ehr.) Patr., *Synedra ulna* (Ralfs) Kütz., *S. pulchella* (Nitzsch) Ehr., *Diatoma hiemale* (Lyngb.) Heib., *D. elongatum* (Lyngb.) Ag., *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M.Schmidt, *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kütz.). Асимметричность альгофлоры связывают с экстремальными условиями обитания [8]. В данном случае она является результатом преобладающего влияния гидродинамического фактора и связана с естественными природными условиями [9], а не является признаком деградации сообществ в результате антропогенного загрязнения.

Из выявленных 628 видов водорослей и цианопрокариот информация о видах-индикаторах галобности и активной реакции среды известна для 65,0 и 47,1 % общего таксономического состава, соответственно. Спектр видов-индикаторов отражает низкую минерализацию воды и слабощелочную реакцию среды. Так, общая минерализация в период исследования составляла – 2,0-300,0 мг/дм<sup>3</sup> в горных и 80,0-568,0 мг/дм<sup>3</sup> в предгорных водных объектах, рН – 7,40-8,65. Более высокая доля галофилов и мезогалобов в фитоэпилитоне предгорных водотоков (14,2 %) по сравнению с горными (до 10,1 %) отражает повышение минерализации воды в них. Это соответствует результатам гидрохимического анализа. Отмечена также тенденция увеличения биомассы водорослей при увеличении общей минерализации воды в пределах 12,0-568,0 мг/дм<sup>3</sup>. Однонаправленное изменение этих показателей определяется тем, что в межливневый период биомасса увеличивается при стабилизации гидрологического режима, а увеличение минерализации происходит за счет увеличения доли грунтовых вод.

Не выявлено зависимости биомассы фитоэпилитона от рН, но отмечено изменение в спектре водорослей-индикаторов: при увеличении рН увеличивается соотношение (алкалифилы+алкали-бионты)/ацидофилы. В гидрохимическом режиме исследуемых водных объектов не выявлено изменений за период 1929-2010 гг. [10-13]. Так же, как и гидрохимические характеристики, состав и структура фитоэпили-тона в исследуемый период не отличались от таковых в 1902, 1928-1931, 1949, 1963 гг. [14-18].

Экологический спектр фитоэпилитона отражает низкое содержание органического вещества. Информация о видах-индикаторах сапробности известна для 57,4 % водорослей. Большая часть из них – обитатели чистых вод (ксено-, олиго-, бетамезосапробионты).

По индексу сапробности Телецкое озеро характеризуется как очень и вполне чистое (класс II, разряды 2а, 2б), горные водотоки бассейна р. Бия – как предельно чистые (I) и чистые (II (2а, 2б)). В горных водотоках бассейна р. Катунь содержание растворенного органического вещества также незначительно (I, II (2а, 2б)). Вода предгорных водотоков удовлетворительно чистая (III (3а, 3б)). Большинство горных озер чистые (II (2а, 2б)). Но есть озера, содержание органического вещества в которых выше (III, 3а). Если в горных озерах (1590-2490 м над уровнем моря) высокое содержание органических веществ можно связать с какими-либо естественными причинами из-за полного отсутствия антропогенной нагрузки, то в предгорных водотоках – с антропогенной (в большей степени сельскохозяйственной) деятельностью. Например, индекс сапробности, отражающий содержание органического вещества в воде, имеет более высокие значения (2,0-2,5) в предгорных водотоках бассейнов рек Алей, Чарыш и Катунь, относящихся к территориям с пониженной (4 балла) и высокой (5 баллов) степенью антропогенной нагрузки [7, 19]. В водотоках и озерах на территориях с низкой степенью антропогенной нагрузки (до 3 баллов) значение индекса сапробности не превышало 1,5.

Биомасса фитоэпилитона не превышала до 600 г/м<sup>2</sup>. Так как ее низкие значения связаны исключительно с гидродинамической нагрузкой, то использовать этот показатель для оценки содержания органических веществ и трофности водотоков и озер данного региона использовать не рекомендуется. Содержание NO<sub>3</sub><sup>-</sup> составляло 0,03-0,80 мг/дм<sup>3</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> – 0,005-0,08 мг/дм<sup>3</sup>. Выявлена отрицательная корреляция между биомассой и содержанием NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (r=-0,95, p≤0,05),

$\text{PO}_4^{3-}$  ( $r=-0,51$ ,  $p\leq 0,05$ ),  $\text{Si}$  ( $r=-0,93$ ,  $p\leq 0,05$ ). Полученный результат можно объяснить следующим: увеличение содержания биогенов в воде горных водотоков происходит в половодье и паводки в результате смыва с территории водосборного бассейна, а уменьшение биомассы фитоэпилитона в эти периоды связано со смывом водорослей с камней при увеличении скорости течения. Отсутствие зависимости между содержанием биогенов в воде и обилием водорослей в перифитоне отмечено в горных водотоках Северной Америки, Исландии, Швеции [9].

Еще одним показателем, используемым в мировой практике для оценки качества воды, является процент деформированных створок диатомовых водорослей. Он применим также к фитоэпилитону водных объектов данного региона, поскольку диатомовые водоросли являются основным по обилию и таксономической представленности отделом водорослей. Деформацию створок диатомовых водорослей связывают с высоким содержанием тяжелых металлов. Это выявлено и в фитоэпилитоне водотоков бассейна Верхней Оби. Например, в притоках р. Катунь, дренирующих ртутное месторождение (Улаганский район), отмечены высокие концентрации ртути в толще воды (до  $35,0 \text{ мкг Hg/дм}^3$ ), в донных отложениях (до  $332,0 \text{ мкг Hg/г}$ ) [20]. Доля деформированных створок диатомовых водорослей (*Fragilaria sp.*, *Synedra sp.*, *Gomphonema olivaceum*, *Diatoma elongatum* var. *tenuis* (Ag.) V.H., *Diatoma vulgare* Bory) в фитоэпилитоне составляла в соответствующий период 4,5-50,0 %. Данный показатель значительно превышает фоновый уровень частоты морфологических аномалий (1-2 %) [21].

Высокая доля аномальных створок диатомовых водорослей отмечена на некоторых участках вдоль береговой линии Телецкого озера. Так, на участке складирования пестицидов у п. Артыбаш в поверхностном слое почвы содержание ДДТ достигало  $750,37 \text{ мг/кг}$ . Глубина проникновения ДДТ в почву превышает 2,0-2,5 м. В результате поверхностного смыва или с грунтовыми водами в донных осадках на соответствующем участке озера содержание данного пестицида достигало  $1,27 \text{ мг/кг}$  [22], а доля аномальных створок диатомовых водорослей (*Cocconeis sp.*, *Cymbella sp.*, *G. olivaceum*, *Synedra pulchella* var. *lacerata* Hust., *Synedra ulna*, *Synedra sp.*) – 56,0 %. Причина высокой доли деформированных створок (10,0-66,1 %), отмеченных в разные годы на других участках озера, требует выяснения.

Все вышесказанное подтверждает, что фитоэпилитон является информативным сообществом и применим в мониторинговых исследованиях и для оценки качества воды водных объектов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби. Стабильность структуры фитоэпилитона и гидрохимического режима за последние 70-100 лет свидетельствуют об отсутствии изменений в экологическом состоянии большинства водотоков и озер. Перечисленные выше виды водорослей можно считать типичными, а количественные показатели – характерными для фоновых водных объектов данного региона.

При увеличении степени антропогенной нагрузки на территории водосборных бассейнов до 4-5 баллов значение индекса сапробности, отражающего содержание органического вещества в воде, возрастает до 2,5.

В результате применения пестицидов и разработки месторождений тяжелых металлов на территории водосборных бассейнов, в фитоэпилитоне соответствующих водных объектов наблюдается индуцированный мутагенез, приводящий к деформации клеток диатомовых водорослей.

#### Литература

1. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В.А. Абакумова. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – 318 с.

2. *Оксиюк О.П.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О.П. Оксиюк, В.Н. Жуковский, Л.П. Брагинский [и др.] // Гидробиол. журн. – 1993. – Т. 29, вып. 4. – С. 62-76.

3. ГОСТ Р 52.24.763–2012. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей [Электронный ресурс]. — <http://www.standartGOST.ru>.

4. *Fore L.S., Grafe C.* Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (U.S.A.) *Freshwater biology* 2002 47 P/ 2015-2037.

5. Water Quality and biological assessment of selected segments in the Illinois river basin and Kings river basin, Arkansas: Final report Ecological engineering group University of Arkansas – Dallas, 2004. – V.1. –430 p.

6. Water framework directive intercalibration technic report: Technical reports of European Commission, Joint Research Centre, Institute

for Environment and Sustainability. – Ispra, 2014. –P.1. Rivers. – 135 p.

7. *Рыбкина И.Д.* Методика зонирования территории речного бассейна по совокупной антропогенной нагрузке (на примере Обь-Иртышского бассейна) / И.Д. Рыбкина, Н.В. Стоящева, Н.Ю. Курепина // Водное хозяйство России. – 2011. – № 4. – С. 42–52.

8. *Сафонова Т.А.* Водоросли р. Катунь (Горный Алтай, Россия). Разнообразие, таксономическая структура / Т.А.Сафонова // Альгология. – 1996. – Т. 6, № 1. – С. 42–51.

9. *Ким Г.В.* Фитозепилитон водотоков и водоемов горной и предгорной частей бассейна Верхней Оби: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.02.10 / Г.В. Ким. – Новосибирск, 2015. – 22 с.

10. *Алекин О.А.* К исследованию притоков Телецкого озера / О.А. Алекин // Исследования озер СССР. – Л.: Изд-во ГГИ, 1934. – Вып. 7. – С. 101–120.

11. *Иоганзен Б.Г.* Водоемы бассейна реки Чульчи / Б.Г. Иоганзен, А.Н. Гундризер, Д.С. Загороднева, В.М. Круглова // Тр. Том. Гос. ун-та. – 1950. –Т. III. – С. 21–50.

12. *Селегей В.В.* Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Телецкое озеро / В.В. Селегей, Т.С. Селегей. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 141 с.

13. *Малолетко А.М.* Телецкое озеро по исследованиям 1973–1975 гг. / А.М. Малолетко. – Томск, 2007. – 224 с.

14. *Скворцов Б.В.* Материалы по флоре водорослей азиатской части СССР. 1. О фитопланктоне оз.Телецкого / Б.В. Скворцов // Журн. Русск. ботан. о-ва. – 1930. – Т.15, вып. 1–2. – С. 91–92.

15. *Воронихин Н.Н.* Микрофитобентос Телецкого озера и некоторых притоков / Н.Н. Воронихин // Споровые растения. – М.: Изд-во АН СССР, 1940. – Вып. 4. – С. 237–245.

16. *Порецкий В.С.* Диатомовые Телецкого озера и связанных с ним рек / В.С. Порецкий, В.С. Шешукова // Диатомовый сборник.– Л.: Изд-во Ленингр. гос. ун-та, 1953. – С. 107–172.

17. *Якубова А.И.* Основные черты водорослевой растительности р. Оби в ее верхнем течении /А.И. Якубова // Тр. БИН СО АН СССР. – 1961. – Вып. 7. – С. 65–79.

18. *Левадная Г.Д.* Водорослевые обрастания в Верхней Оби / Г.Д. Левадная // Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд, 1970. – Ч. 1, № 3. – С. 58–61.

19. *Винокуров Ю. И.* Территориальная организация водопользования в бассейне р. Алей / Ю.И. Винокуров, И.Д. Рыбкина, Н.В.

Стоящева, Н.Ю. Курепина // География и природные ресурсы. – 2014. – № 3. – С. 135–142.

20. Папина Т.С. Гидрохимические и химико-аналитические работы по исследованию водных экосистем р. Катунь и её притоков / Т.С. Папина, Е.И. Третьякова // Катунский проект: проблемы экспертизы: мат-лы общ.-науч. конф. (13-15 апреля 1990 г.). – Новосибирск, 1990. – С. 15–22.

21. Ким Г.В. Морфологические аномалии диатомовых водорослей фитоэпилитона как индикаторы качества воды водотоков и водоемов Горного Алтая / Г.В. Ким // Мир науки, культуры, образования. – 2013. – №5(42). – С. 444–449.

22. Куликова-Хлебникова Е.Н. Хлороорганические пестициды в природных средах на территории Республики Алтай: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / Е.Н. Куликова-Хлебникова. – Томск, 2013. – 19 с.

## **ТЕХНОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ФОРМЫ ИХ ПОСТУПЛЕНИЯ В ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

Кочарян А.Г., Лебедева И.П.  
Институт водных проблем РАН, г. Москва  
iplebed@gmail.com

Неуклонный рост населения на Земле и необходимого для его существования производства и потребления приводит к росту номенклатуры и количества элементов, добываемых из недр и вовлеченных в хозяйственное использование. Если в 18-ом веке использовались 28 элементов, в 19 веке – 62, в 1915 г. – 71, то в настоящее время находят применение практически все известные элементы. Информативной характеристикой интенсивности извлечения и использования химических элементов является технофильность – отношение ежегодной добычи или производства элементов в тоннах к его кларку в литосфере (табл. 1).

Современный этап научно-технического развития характеризуется удвоением производства каждые 15 лет. Это приводит к дальнейшему росту технофильности элементов и существенному увеличению объемов газообразных, жидких и твердых отходов, поступающих в окружающую среду. Мировое хозяйство ежегодно выбрасывает в атмосферу более 120 млн. т золы. Только в России го-