

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В РЕКАХ ПО ВИДОВОМУ СОСТАВУ **ДОННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

Рассмотрена возможность оценки качества воды с учетом донных водорослей, заселявших искусственные субстраты вследствие своей миграционной активности. Сравнение состава флор с искусственных и естественных субстратов по индексу Съеренсена показало значительную степень сходства. Результаты оценки качества воды по сообществам с камней речного грунта и по сообществам с керамической плитки оказались аналогичными.



Введение

Обеспечение населения питьевой водой – одна из проблем, которая остается актуальной во все времена. Поскольку в поверхностных источниках водоснабжения (реки, водохранилища, озера) качество воды во многом определяется ходом биологических процессов, то поиск подходов к решению этой проблемы в значительной мере является задачей гидробиологической науки. В начале XX века была предложена первая система классификации вод, основанная на учете чувствительности отдельных гидробионтов к уровню органического загрязнения [1]. Такая классификация дает возможность биологической оценки качества воды по населяющим водоем животным и растениям. При оценке качества водной среды с учетом видового состава показательных (индикаторных) организмов устанавливается сапробность водоема, которая отражает степень насыщения воды разлагающимися органическими веществами. Сами гидробионты, определенным образом реагирующие на уровень органического загрязнения, называются сапробионтами (сапробами). В наиболее загрязненных водоемах обитают полисапро-

М.В. Астахов*,
кандидат
биологических наук,
научный сотрудник,
ФГБУН Биологический
почвенный институт
Дальневосточного
отделения
Российской
академии наук
(БПИ ДВО РАН)

бы, при меньшей степени загрязнения – α -мезосапробы и β -мезосапробы, в практически чистых водах главное значение приобретают олигосапробы [2]. Количественной мерой органического загрязнения водной среды является индекс сапробности [3]. При расчете этого индекса принимается во внимание частота встречаемости каждого показательного вида и его сапробное значение. По сути, индекс сапробности – это взвешенное среднее сапробности всех обнаруженных индикаторных видов, рассчитанное с учетом их обилия. Чем больше содержится в воде разлагающихся органических веществ, тем выше индекс сапробности. По этому индексу можно судить о пригодности воды для питьевых или хозяйственных целей, оценивать эффективность работы очистных сооружений.

* Адрес для корреспонденции: mvastakhov@mail.ru

Одной из самых перспективных групп, используемых при оценке качества воды на основе концепции сапробности, являются водоросли, которым принадлежит ключевая роль в индикации изменений водной среды вследствие увеличения концентрации биогенных элементов. Однако следует отметить, что для такой оценки требуется высокая квалификация специалиста-альголога, поскольку неточность в идентификации видов снижает достоверность получаемых результатов [4]. Кроме того, при отсутствии должного опыта возрастает вероятность ошибок дифференцирования живых и мёртвых клеток. Известную трудность представляет собой оценка качества воды по бентосным водорослям-индикаторам на участках, где сбор материала непосредственно с донных субстратов проблематичен в силу большой глубины водоема и физических характеристик грунта. Если оценка качества воды производится в проточных системах, таких как реки и каналы, эту трудность можно преодолеть, используя пробы дрейфующих донных водорослей. В некоторых странах мониторинг дрейфа водорослей при оценке качества воды уже используется [5].

Напомним, что дрейф реофильных донных организмов, то есть их перемещение вниз по течению – это естественный процесс, происходящий во всех проточных экосистемах мира [6, 7]. Дрейф фито- и зообентоса играет особую роль в поддержании целостности таких экосистем, обеспечивая связь между разобщенными в пространстве локальными сообществами. Донные одноклеточные водоросли, отделяющиеся от субстрата и переходящие в толщу воды, составляют значительную часть планктона потоков, поэтому некоторыми авторами рассматривалась гипотеза о бентическом происхождении

Ключевые слова:

качество воды,
органическое
загрязнение,
дрейф водорослей,
колонизационная
активность

фитопланктона малых рек [8, 9]. Бентосные водоросли являются, главным образом, дневными мигрантами [10-12], однако, отдельные представители дрейфуют преимущественно в темное время суток [13]. Сразу после восхода солнца может происходить массовый дрейф зооспор зеленых водорослей [11]. Закономерным следствием активного высвобождения одноклеточных донных водорослей в толщу потока является их колонизационная активность в отношении субстратов, расположенных ниже по течению [14, 15]. Эта закономерность дает возможность исследования дрейфа речного фитобентоса посредством изучения его колонизационной активности.

Цель настоящей работы – рассмотреть возможность оценки качества воды по пробам донных реофильных водорослей, заселяющих искусственные субстраты вследствие своей миграционной активности.

Материалы и методы исследования

Материал был собран автором на полугорном участке среднего течения р. Кедровая (Приморский край) 16–17 II, 15–16 V, 13–14 VIII и 11–12 XI 2007 г. Водосборный бассейн этой реки расположен в 20–30 км к западу от г. Владивосток, в пределах Восточно-Манчжурской горной системы. Протяженность реки – 18 км, а суммарная длина ее притоков – 46 км [16]. На участке наблюдений в составе грунта преобладала гравийно-галечная фракция; ширина потока в даты отбора проб не превышала 12 м, а глубина – 0,6 м. Учетные сутки («серии») разбивали на четыре 6-часовых периода экспозиции, во время которых на дно медиальной части потока укладывали керамическую



неглазурованную плитку площадью 231 см². По истечении 6 ч плитку вынимали из реки, а на ее место немедленно устанавливали новую. Таким образом, в течение суток искусственные субстраты заменялись 4 раза: 2 раза в дневной период и 2 раза в ночной, включая вечерние и утренние сумерки. Экспонированную плитку помещали в кювету (при атмосферных осадках кювету накрывали другой, большего размера) и переносили в помещение. Посредством жесткой капроновой щетки и небольшого количества фиксатора водоросли счищали в кювету. Полученную пробу сливали в чистый сухой флакон объемом 25 мл. Добавлением фиксатора объем пробы доводили до объема флакона и герметично закрывали. В качестве фиксатора использовали 4 %-й водный раствор формальдегида. Параллельно отбирали пробы фитобентоса с камней речного грунта; в этом случае объем фиксированной пробы составлял 100 мл. Площадь проекции камней, с которых были смыты водоросли, определяли весовым методом [17].

Идентификацию и количественный учет водорослей проводила альголог лаборатории пресноводных сообществ БПИ ДВО РАН Т.В. Никулина [18].

При выявлении общности видового состава водорослей на искусственных (плитка) и естественных (камни) субстратах автор использовал коэффициент Сьёренсена: $[k = 2c / (a + b)]$, где k – коэффициент общности видового состава, a – число видов на искусственном субстрате, b – число видов на естественном субстрате, c – число общих видов. В качестве пороговой величины коэффициента было принято значение «0,5».

Индекс сапробности (S), характеризующий уровень органического загрязнения водной среды, был рассчитан по формуле: $[S = \Sigma sh / \Sigma h]$, где s – сапробное значение вида-индикатора [4], h – частота встречаемости этого вида в пробе. Частоту встречаемости (h) оценивали по модифицированной шкале Вислоуха С.М. [19].

Результаты и их обсуждение

При более чем сорокалетней истории исследований альгофлоры р. Кедровая [20, 21] собранный материал позволил дополнить список водорослей этой реки десятью новыми видами [18]. В пробах с естественного грунта был установлен 61 вид (67 внутривидовых таксонов) водорослей из четырех отделов: синезеленые (*Cyanoprokaryota*), диатомовые (*Bacillariophyta*), зеленые (*Chlorophyta*) и криптофитовые (*Crypto-*

Таблица 1

Количество видов (внутривидовых таксонов), учтенных на естественных (камни) и искусственных (плитка) субстратах

Дата	Серия	Камни	Плитка
16–17 II	февраль, II	25(28)	29(33)
15–16 V	май, V	29(35)	25(30)
13–14 VIII	август, VIII	51(56)	33(36)
11–12 XI	ноябрь, XI	36(42)	28(33)

Таблица 2

Коэффициенты общности видового состава (k) между сообществами водорослей на естественных (камни) и искусственных (плитка) субстратах

		Плитка			
Камни	Серия	II	V	VIII	XI
	II	0,75			
	V		0,77		
	VIII			0,76	
	XI				0,85

phyta). Среди 45 (49) видов водорослей, собранных с керамической плитки, представителей последнего отдела обнаружено не было. Максимальное видовое богатство наблюдалось в августе: на камнях грунта было отмечено 51 (56), а в обрастаниях плитки – 33 (36) видов водорослей. В февральскую серию видовое разнообразие на искусственных субстратах оказалось выше, чем в фоновом сообществе (табл. 1).

Попарное сопоставление состава флоры естественных и искусственных субстратов каждой из серий, проведенное с использованием коэффициента Сьёренсена показало значительную ($k \geq 0,75$) степень сходства (табл. 2). Данный результат подтверждает возможность использования колонизационной активности водорослей для рекогносцировочной оценки их видового состава на дне. Наиболее однородной по видовому составу водорослей на камнях грунта и искусственных субстратах была ноябрьская серия ($k = 0,85$).

Однако, несмотря на значительное флористическое сходство, между фоновыми сообществами и сообществами колонистов могли наблюдаться различия в составе доминантов. Например, при проведении августовской серии на речном грунте преобладали диатомовые и зеленые водоросли, а на искусственных субстратах численность представителей этих отделов была низкой, и доминировали сине-зеленые [18]. Данное обстоятельство, возможно, связано с затяжными дождями,

наблюдавшимися в течение недели, предшествовавшей дате установки субстратов. Диатомовые водоросли активно размножаются и колонизируют субстраты только несколько первых дней после паводка, когда в воде достаточно высок уровень соединений азота и фосфора, смываемых с суши дождевыми потоками [11]. В условиях же длительного переувлажнения водосбора в реке вследствие «эффекта разбавления» могло произойти значимое снижение концентрации питательных веществ, поэтому конкурентоспособнее оказались сине-зеленые водоросли. Известно, что представители этого отдела в среде бедной питательными веществами получают преимущество благодаря способности многих из них к азотфиксации [11]. Почти полное отсутствие зеленых водорослей среди колонистов свободных субстратов при обилии в фоновом сообществе нитчатки *Ulothrix zonata*, возможно, объясняется сезонным переходом этого вида от размножения зооспорами к половому размножению [22].

Интересно, что при попарном сопоставлении списков фоновой флоры разных серий коэффициенты общности видового состава всегда оказывались ниже таковых, рассчитанных при аналогичном сравнении, проведенном для заселявших плитку иммигрантов (табл. 3). Самый низкий коэффициент ($k = 0,57$) был получен после сопоставления списков фоновой флоры февраля и августа, хотя видовое сходство сообществ, сформировавшихся на искусственных субстратах во время этих двух серий, было довольно высоким (табл. 3).

Большая флористическая однородность сообществ иммигрантов (табл. 3), при большем видовом богатстве на естественных субстратах (табл. 1), вероятно обусловлена неодинаковой колонизационной активностью отдельных таксонов. Возможно, некоторые водоросли вообще не участвуют в заселении новых субстратов на начальных этапах сукцессии. Например, в р. Кедровая участие в колонизации свежих

субстратов не принимали криптофитовые водоросли, которые достаточно часто встречались среди фоновых обрастаний в феврале, мае и ноябре [18]. Вполне вероятно, что при более продолжительных периодах экспозиции искусственных субстратов такие водоросли могут быть обнаружены и среди колонистов. Впрочем, следует отметить, что в списке показательных видов [4] криптофитовые водоросли отсутствуют. Важно подчеркнуть высокую интенсивность заселения субстратов именно на начальных этапах сукцессии. Всего за 6 ч экспозиции биомасса водорослей на новом субстрате могла достигать величины $0,3 \text{ г/м}^2$ [18], что сопоставимо с минимальными фоновыми значениями отмеченными для р. Кедровая ранее ($0,1-0,5 \text{ г/м}^2$) [23]. Такая способность к освоению свободных поверхностей ясно свидетельствует о значительном потенциале восстановления реофильных фитобентосных сообществ после катастрофических природных событий (например, мощных паводков). Кроме того, она дает основание для оценки качества воды по флоре, заселяющей искусственные субстраты при кратковременных (сутки и менее) экспозициях. Как для фоновых сообществ, так и для сообществ иммигрантов, максимальные коэффициенты общности видового состава оказались характерны для холодного периода года (табл. 3). Возможно, это обусловлено тем, что в теплый период, вследствие более высокой температуры среды, а значит и более высоких темпов развития, обновление видового состава происходит быстрее. Другое возможное объяснение сравнительно низких коэффициентов сходства между флорами майской и августовской серии – перестройка водорослевых сообществ под влиянием паводков в начале лета.

Возможность выявления приблизительного состава фитобентоса при изучении дрефта позволяет оценивать качество воды путем сопоставления флор искусственных субстратов с «эталонными» донными сообществами. Однако следует помнить, что в сапробиологическом анализе важную роль играет учет частоты встречаемости индикаторных видов, поскольку численность некоторых из них напрямую зависит от уровня органического загрязнения. Именно численность показывает то, в какой мере присутствие вида характеризует качество воды. Понятно, что сапробиологическое значение вида, массового на данном участке, отражает ситуацию с качеством воды лучше, нежели индикаторные возможности редких для участка видов. Последние могут оказаться случайными в данном биотопе, или уже находиться в угнетенном

Таблица 3

Коэффициенты общности видового состава (k) для сообществ водорослей на естественных (правый верхний угол таблицы) и искусственных (левый нижний угол таблицы) субстратах

Серия	II	V	VIII	XI
II		0,70	0,57	0,78
V	0,79		0,62	0,75
VIII	0,75	0,64		0,71
XI	0,85	0,79	0,78	

Таблица 4

Индексы сапробности (S), рассчитанные по сообществам водорослей на естественных (камни) и искусственных (плитка) субстратах

Серия	Индекс сапробности	
	Камни	Плитка
II	1,25	1,29
V	1,15	1,22
VIII	1,17	1,08
XI	1,02	1,38

состоянии вследствие текущего изменения уровня загрязнения. Поэтому в практических целях оценку качества воды следует проводить, принимая во внимание только те показательные виды, которые встречаются в пробе достаточно часто.

В данной работе при определении индексов сапробности в расчет брались только виды, частота встречаемости которых хотя бы в одной пробе составляла не менее 4 баллов по модифицированной шкале Вислоуха С.М. [19]. Согласно проведенным расчетам в разные сезоны года значения индекса колебались от 1,02 до 1,25 (фоновые сообщества) и от 1,08 до 1,38 (сообщества искусственных субстратов) (табл. 4). Эти значения соответствуют олигосапробной зоне самоочищения ($S = 0,5-1,5$) и II классу чистоты воды. Таким образом, результаты оценки качества воды по сообществам с камней речного грунта и по сообществам с керамической плитки оказались аналогичными.

Заключение

Проведенное исследование показало перспективность дальнейшего изучения колонизационной активности донных водорослей с целью оценки качества водной среды в проточных экосистемах. Подтверждена возможность использования колонизационной активности фитобентоса для рекогносцировочной оценки состава донной флоры. При таком подходе к оценке качества воды, возможно, следует учитывать сезонные особенности колонизационной эффективности показательных видов, изменяя продолжительность экспозиции соответствующим образом. Очевидно, что в периоды низкой колонизационной активности следует использовать более длительные периоды экспозиции. Достоинством оценки качества воды по водорослям, поселившимся за время экспозиции на искусственном суб-

страте, является меньшая вероятность ошибочного заключения из-за учёта угнетенных (ввиду изменившихся условий) или уже погибших клеток. Иначе говоря, если в фоновом сообществе могут быть собраны водоросли, которые после загрязнения погибли или находятся в угнетенном состоянии, то на искусственном субстрате, установленном в неблагоприятной среде, такие виды не поселятся. Выявленное несходство в составе доминантов на искусственных и естественных субстратах может говорить о том, что сообщества последних не всегда верно отражают текущее изменение уровня содержания биогенных соединений. В то же время можно полагать, что состав и количественное развитие колонистов новых субстратов при кратковременных экспозициях более адекватно отражают уровень текущего загрязнения.

Литература

1. Kolkwitz R. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna / R. Kolkwitz, M. Marsson // Mitteilungen der königlichen Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung., 1902. Bd. 1. P. 33-72.
2. Яшнов В.А. Практикум по гидробиологии. М: Высшая школа, 1969. 428 с.
3. Pantle K. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse / K. Pantle, H. Buck // Gas- und Wasserfach., 1955. Bd. 96. P. 604-620.
4. Баринаева С.С. Атлас водорослей-индикаторов сапробности / С.С. Баринаева, Л.А. Медведева. Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.
5. Rolland T. Methodical approach to distribution of epilithic and drifting algae communities in French subalpine river: Inferences on water quality assessment / T. Rolland, S. Fayolle, A. Cazaubon, S. Pagnetti // Aquat. sci., 1997. V. 59. P. 57-73.
6. Müller K. Stream drift as a chronological phenomenon in running water ecosystems // Annu. Rev. Ecol. Syst., 1974. № 5. P. 309-323.
7. Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1994. 218 с.
8. Blum J.L. Evidence for diurnal pulse in stream phytoplankton // Science, 1954. V. 119. P. 732-734.
9. Roeder D.R. Relationships between phytoplankton and periphyton communities in a central Iowa stream // Hydrobiologia, 1977. V. 56, № 2. P. 145-151.
10. Round F.E. The ecology of algae. Cambridge: CUP, 1984. 664 p.

11. Peterson C.G. Mechanisms of lotic microalgal colonization following space-clearing disturbances acting at different spatial scales // *Oikos*, 1996. V. 77. P. 417-435.
12. Gari E.N. Spatial and temporal variations of *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (Ehrenb.) 1854 Grunow, 1884 in drift and periphyton / E.N. Gari, M.C. Corigliano // *Ecology*, 2007. V. 67, № 4. P. 587-595.
13. Müller-Haeckel A. Different patterns of synchronization in diurnal and nocturnal drifting algae in the subarctic summer // *Aquilo. Ser. Zool.*, 1973. V. 14. P. 19-22.
14. Müller-Haeckel A. Messung der tagesperiodischen Neocolonisation von Algenzellen in Fließgewässern // *Oikos suppl.*, 1970. V. 13. P. 14-20.
15. Müller-Haeckel A. Migrationsperiodik einzelliger Algen in Fließgewässern // *Växtecol. Stud.*, 1976. Bd. 10. S. 1-36.
16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.18. Вып. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1964. 84 с.
17. Жадин В.И. Фауна рек и водохранилищ // Тр. ЗИН АН СССР. 1940. Т. V. Вып. 3-4. 992 с.
18. Никулина Т.В. Заселение искусственных субстратов водорослями перифитона в реке Кедровой (Приморский Край) / Т.В. Никулина, В.В. Богатов, М.В. Астахов // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 4. Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 46-55.
19. Кордэ Н.В. Методика биологического изучения донных отложений озер (полевая работа и биологический анализ) // Жизнь пресных вод СССР. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 4, ч. 1. С. 383-413.
20. Кухаренко Л.А. К альгофлоре заповедника «Кедровая Падь» // Сообщ. ДВФ СО АН СССР. 1964. Вып. 23. С. 47-49.
21. Медведева Л.А. Водоросли перифитона некоторых водотоков Южного Приморья // Растительный и животный мир заповедника «Кедровая падь» / Под ред. Е.А. Макаренко. Владивосток: Дальнаука, 2006. С. 32-46.
22. Виноградова К.Л. Класс улотриксые // Жизнь растений. Т. 3. Водоросли. Лишайники. М.: Просвещение, 1977. С. 281-297.
23. Медведева Л.А. Некоторые данные о динамике численности и биомассы эпиэлитонных водорослей реки Кедровая // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2001. Вып. 1. С. 31-37.



M.V.Astakhov

ARTIFICIAL SUBSTRATES APPLICATION FOR WATER QUALITY ASSESSMENT BY SPECIES COMPOSITION OF BENTHIC ALGAE

An ability to assess water quality taking into consideration benthic algae, which colonized artificial substrates due to their migratory activity, is discussed in the present paper. Comparison of flora

composition from artificial and natural substrates using the Sørensen index revealed considerable degree of similarity. The results of water quality assessment accounting communities from river bed stones

and communities from ceramic piles turned out to be analogous.

Key words: water quality, organic pollution, algae drift, colonization activity

