

УДК 581.526.325: 005.962 (282.247.318)

Е. П. Белоус¹, С. С. Баринава², П. Д. Клоченко¹**ФИТОПЛАНКТОН СРЕДНЕГО УЧАСТКА р. ЮЖНЫЙ БУГ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ**

В работе дана оценка экологического состояния среднего участка р. Южный Буг с применением комплексного подхода. Проанализирована взаимосвязь характеристик фитопланктона (видовое богатство, разнообразие, численность и биомасса) и содержания неорганических соединений азота и фосфора в воде исследованного участка реки. Не выявлено фактора, критически воздействующего на видовое богатство фитопланктона. Установлены станции, требующие особого внимания при дальнейшем мониторинге.

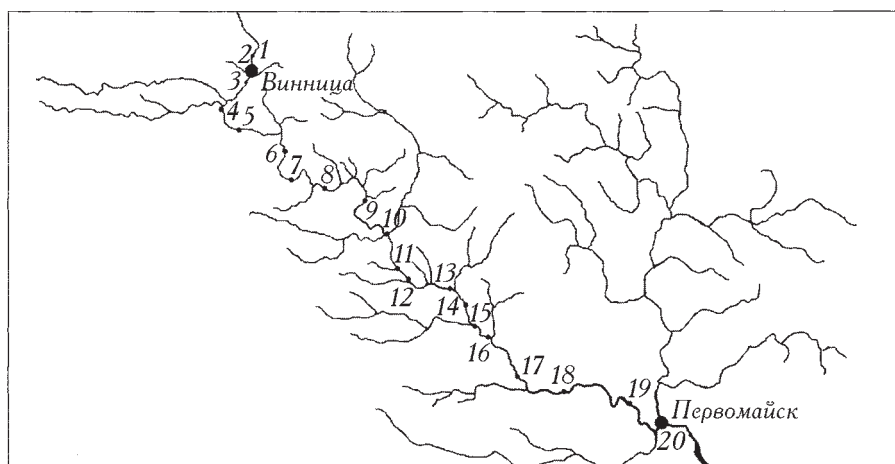
Ключевые слова: фитопланктон, биоиндикация, численность, биомасса, биогенные элементы.

Южный Буг — самая крупная река из тех, чьи бассейны расположены полностью в пределах Украины [5], и одна из пяти наибольших речных систем Западной степи [47]. Однако информация о современном экологическом состоянии р. Южный Буг ограничена [1]. Первые сведения о фитопланктоне среднего участка р. Южный Буг относятся к концу XIX века [20], более детальные исследования были проведены в XX веке [7—10, 15—17, 43, 44]. Однако разносторонних исследований её экологического состояния с использованием данных о разнообразии планктонных водорослей во взаимосвязи с абиотическими факторами крайне мало [1]. Такие работы проведены нами лишь для верхнего участка реки [4]. Следовательно, актуальной задачей является экоиндикация среднего участка, которая послужит составной частью интегральных исследований состояния реки на всём её протяжении в условиях воздействия факторов среды, в том числе антропогенных.

Цель работы — оценка экологического состояния среднего участка р. Южный Буг на основании анализа качественных и количественных параметров планктонных водорослей во взаимосвязи с абиотическими условиями водной среды. Использование характеристик планктонных водорослей для определения качества воды в реках не вызывает сомнения и обосновано в ряде работ [6, 22, 26, 27, 29—35, 37, 48].

Материал и методика исследований. Материалом для данной работы послужили пробы планктона и воды, отобранные в течение 2007—2010 гг. в пе-

© Е. П. Белоус, С. С. Баринава, П. Д. Клоченко, 2013



1. Карта-схема станций отбора проб воды на среднем участке р. Южный Буг: 1 — с. Пятничаны (р-н г. Винницы); 2 — г. Винница; 3 — Сабаров (р-н г. Винницы); 4 — г. Гнивань; 5 — пгт Тывров; 6 — с. Стрельчинцы; 7 — с. Печера; 8 — пгт Брацлав; 9 — с. Семенки; 10 — г. Ладзыжин; 11 — с. Губник; 12 — с. Глубочок; 13 — с. Маньковка; 14 — с. Джулинка; 15 — с. Луговое; 16 — г. Гайворон; 17 — пгт Завалье; 18 — с. Луполово; 19 — с. Долгая Пристань; 20 — г. Первомайск.

риод летней межени на 20 станциях среднего участка р. Южный Буг (Винницкая, Кировоградская и Николаевская обл.) (рис. 1).

Пробы фитопланктона отбирали и обрабатывали по общепринятым гидробиологическим методикам [13, 21]. Количество аммонийного, нитритного и нитратного азота, а также неорганического фосфора в воде определяли колориметрическим методом [19]. Экологический анализ проводили с использованием качественных и количественных показателей фитопланктона, при этом рассчитывали индекс видового разнообразия Шеннона [14, 36] и индекс сапробности S по Пантле — Букк в модификации В. Сладечека [11]:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i h_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i)}$$

где S — индекс сапробности; s_i — индикаторная значимость i -того вида; h_i — его относительная численность; n — количество видов-индикаторов.

Использовали также индекс состояния экосистемы $WESI$, отражающий ее способность к самоочищению [2, 23], основанный на классификации качества воды по гидрохимическим показателям и индексам сапробности. Для каждой станции его рассчитывали по формуле

$$WESI = \frac{\text{Разряд } VS}{\text{Разряд } N\text{-NO}_3^-}$$

где разряд S — разряд качества воды по классификации Сладечека [38] с использованием индексов сапробности; разряд $N\text{-NO}_3^-$ — разряд качества воды на основании концентрации нитратного азота [2].

Статистическая обработка альгологического материала включала в себя: 1) сравнение видового состава планктонных водорослей по станциям с использованием индексов Серенсена — Чекановского (программа GRAPHS) [12]; 2) построение дендрита сходства видового состава по станциям в указанной программе; 3) установление связи между выявленным разнообразием водорослей и гидрохимическими показателями (программа CANOCO) [45] и 4) проведение мультирегрессионного анализа (программа Statistica 7.1) [39] для обнаружения факторов, наиболее сильно воздействующих на фитопланктон исследуемого участка реки.

Для оценки загрязнения реки вычисляли индекс RPI , предложенный М. Сумита [41, 42]. Расчет этого индекса возможен не только с использованием индексов сапробности по DAI_{pro} , как предлагал автор, но и других параметров: индексов сапробности, гидрохимических показателей и др. [2, 3, 23—25]. При стабильных нагрузках значение индекса загрязнения является постоянным, он предложен как «паспортная» величина для интегральной характеристики водного объекта [2, 41].

Формула для расчёта индекса RPI представлена в модификации С. Бариновой. Этот вариант формулы апробирован в ряде работ [2, 3, 23—25 и др.]:

$$RPIa = \frac{\sum \frac{(a_1 + a_2)}{2} l}{L},$$

где $RPIa$ — индекс загрязнения реки на основе значения экологического параметра a ; a_1 и a_2 — значения параметров на крайних точках исследуемого участка; l — длина участка реки между двумя соседними станциями; L — общая длина участка, где были определены параметры.

Результаты исследований и их обсуждение

Средний участок р. Южный Буг имеет протяженность 369 км. Проведенные химические анализы в большинстве случаев свидетельствовали об отсутствии высоких концентраций неорганических соединений азота и фосфора (табл. 1). При этом по количеству нитритов и ортофосфатов воды реки были в пределах II—IV классов, а нитратов и аммонийного азота — в пределах II—III [18]. По содержанию нитритов выделялись ст. 4 и 12, по количеству ортофосфатов — ст. 12 и 16, качество воды на которых соответствовало IV классу. Таким образом, в целом по содержанию неорганических соединений азота и фосфора состояние участка удовлетворительное, однако на станциях с высоким содержанием нитритов существует определенная угроза нормальной продукции фитопланктона, поскольку они, как и аммонийный азот, в высокой концентрации могут оказывать негативное воздействие на вегетацию водорослей.

1. Химические показатели воды среднего участка р. Южный Буг

Станции отбора проб	Населенные пункты	Расстояние между станциями, км	NH ₄ ⁺ , мг N/дм ³	NO ₂ ⁻ , мг N/дм ³	NO ₃ ⁻ , мг N/дм ³	PO ₄ ³⁻ , мг P/дм ³
1	р-н Пятничаны	0	0,05	0,007	0,14	0,092
2	г. Винница	5	0,02	0,005	0,18	0,115
3	р-н Сабаров	9	0,05	0,030	0,58	0,160
4	г. Гнивань	19	0,20	0,054	0,40	0,115
5	пгт Тывров	20	0,05	0,009	0,20	0,040
6	с. Стрельчинцы	23	0,02	0,009	0,25	0,012
7	с. Печера	18	0,16	0,020	0,38	0,092
8	пгт Брацлав	25	0,07	0,013	1,15	0,115
9	с. Семенки	20	0,40	0,042	0,50	0,102
10	г. Ладыжин	38	0,02	0,041	1,50	0,160
11	с. Губник	8	0,10	0,027	0,25	0,115
12	с. Глубочок	13	0,02	0,054	0,48	0,248
13	с. Маньковка	21	0,34	0,042	0,39	0,087
14	с. Джулинка	11	0,20	0,036	0,58	0,092
15	с. Луговое	11	0,37	0,033	0,71	0,110
16	г. Гайворон	12	0,34	0,003	Следы	0,285
17	пгт Завалье	20	0,38	0,010	0,25	0,097
18	с. Луполово	30	0,13	0,009	0,27	0,158
19	с. Долгая Пристань	36	0,36	0,002	Следы	0,125
20	г. Первомайск	30	0,05	0,010	0,25	0,200
	Всего	369				

В результате проведенных исследований в планктоне среднего участка р. Южный Буг выявлено 167 видов водорослей (170 внутривидовых таксонов — в. в. т). Максимальным видовым богатством характеризовались ст. 5, 16 и 20, а наименьшим — ст. 12, 13 и 15 (табл. 2). Из представленного распределения количества видов и значений индекса сапробности в пределах изученного участка (рис. 2) видно, что кривая количества видов имеет скачкообразный характер с пониженными значениями в средней части и их постепенным повышением вниз по течению, о чем свидетельствует линия тренда.

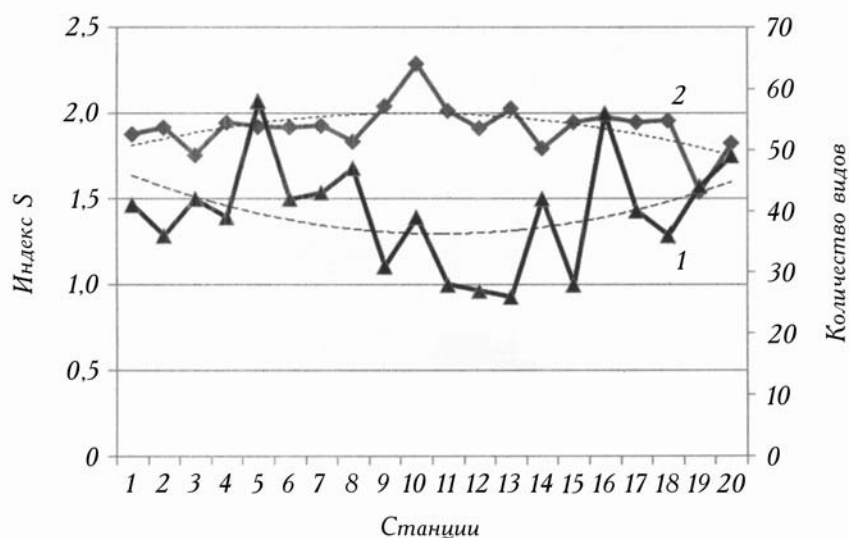
Индекс сапробности имел обратную тенденцию: его наименьшее значение (1,54) отмечено на ст. 19, а наибольшее (2,29) — на ст. 10 (см. табл. 2, рис. 2), то есть на верхней и средней частях исследованного участка, что указы-

2. Характеристики фитопланктона на станциях исследованного участка р. Южный Буг

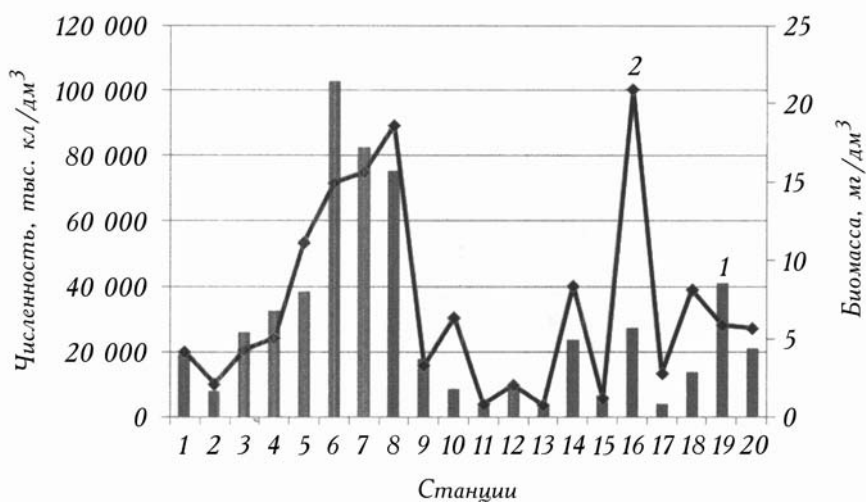
Станции отбора проб	Количество видов	Численность, тыс. кл/дм ³	Биомасса, мг/дм ³	Средняя масса клетки (B/N), мг/кл	Индекс сапробности, S	Индекс Шеннона, бит/экз.
1	41	19008	4,151	0,0002	1,88	2,83
2	36	7828	2,092	0,0003	1,92	2,77
3	42	25744	4,278	0,0002	1,75	2,43
4	39	32392	5,027	0,0002	1,95	2,32
5	58	38364	11,117	0,0003	1,92	3,20
6	42	102556	14,927	0,0001	1,92	2,39
7	43	82345	15,613	0,0002	1,93	2,55
8	47	75288	18,569	0,0002	1,84	2,65
9	31	17616	3,300	0,0002	2,04	2,27
10	39	8531	6,314	0,0007	2,29	1,93
11	28	3736	0,815	0,0002	2,02	1,63
12	27	8574	2,050	0,0002	1,91	2,76
13	26	3486	0,756	0,0002	2,03	2,33
14	42	23520	8,339	0,0004	1,80	3,00
15	28	6605	1,197	0,0002	1,95	2,31
16	56	27248	20,885	0,0008	1,98	2,80
17	40	3866	2,787	0,0007	1,95	3,11
18	36	13583	8,109	0,0006	1,96	3,11
19	44	40760	5,852	0,0001	1,54	2,11
20	49	20955	5,650	0,0003	1,83	2,89

вает на возможное увеличение здесь количества органических веществ. Однако в целом по среднему участку р. Южный Буг для индекса сапробности свойственна тенденция к снижению, что, наряду с повышением видового богатства, характеризует его как справляющийся с органическим загрязнением.

Численность фитопланктона и его биомасса изменялись практически синхронно (см. табл. 2 и рис. 3), что отражает максимальное использование трофической базы при неизменной структуре сообществ планктонных водорослей. Наибольшая численность отмечена на ст. 6 (102556 тыс. кл/дм³) и ст. 8 (до 75288 тыс. кл/дм³), при этом биомасса составляла соответственно 14,927 и 18,569 мг/дм³, однако максимальной она была на ст. 16 (20,885 мг/дм³). Пиковые значения численности и биомассы, вероятно, обу-



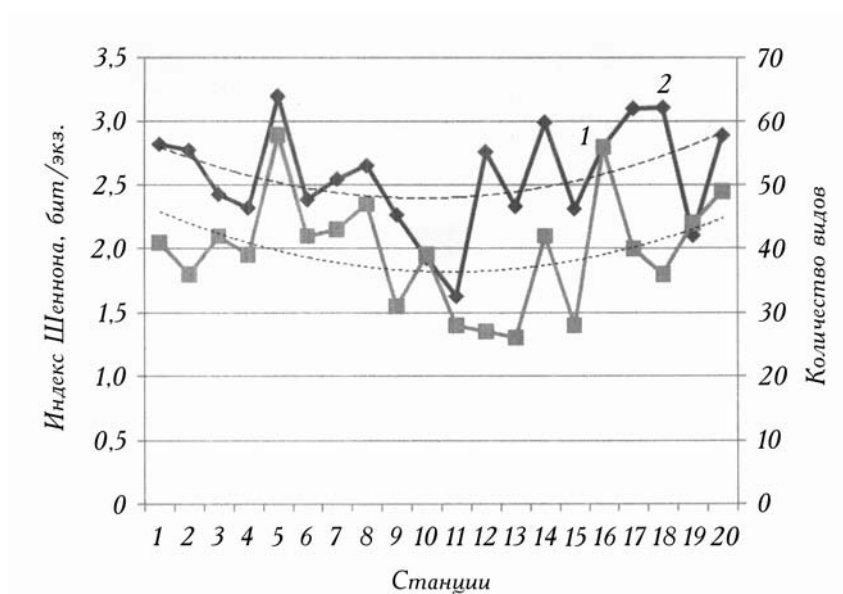
2. Количество видов фитопланктона (1) и индекс сапробности S (2) на станциях среднего участка р. Южный Буг.



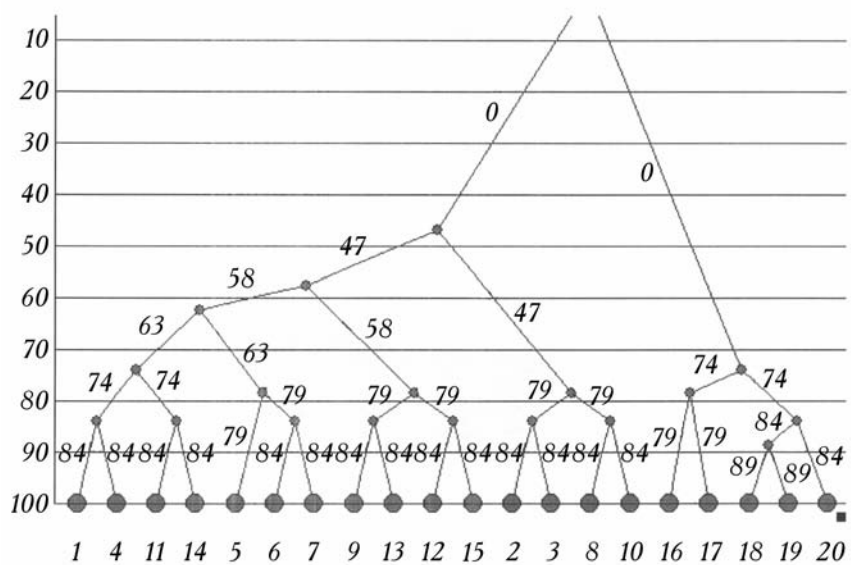
3. Численность (1) и биомасса (2) фитопланктона на станциях среднего участка р. Южный Буг.

словлены влиянием неорганических соединений азота и фосфора наряду с другими факторами, включая гидрологические особенности.

Важным показателем состояния водных экосистем является сложность структуры сообществ гидробионтов: чем структура сложнее, тем более устойчиво сообщество. Значения индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанные по численности, изменялись синхронно с количеством видов фитопланктона, имея тенденцию к повышению вниз по течению реки (рис.

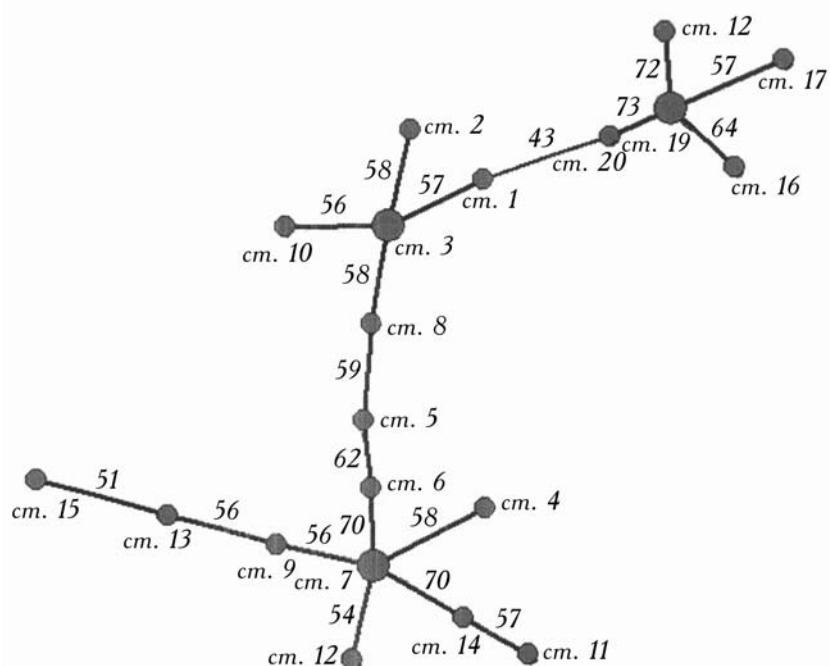


4. Количество видов фитопланктона (1) и значения индекса Шеннона (2) на станциях среднего участка р. Южный Буг.



5. Дендрограмма сходства видового состава фитопланктона на станциях среднего участка р. Южный Буг.

4). Это указывает на то, что структура сообществ планктонных водорослей на исследованном участке относительно стабильна, а фитопланктон реализует свою роль в самоочищении воды.

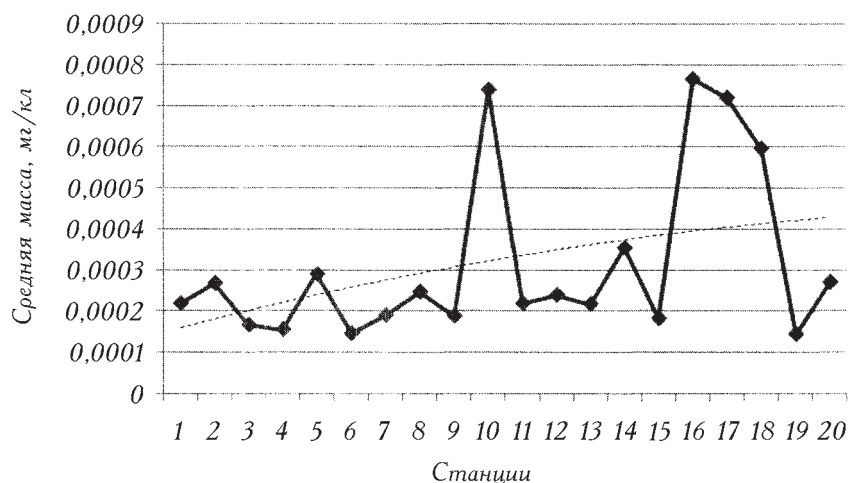


6. Дендрит сходства видового состава фитопланктона по станциям среднего участка р. Южный Буг (толщина линий соответствует силе связей или уровню сходства, который обозначен цифрами около линии).

Использование программы GRAPHS позволило нам сравнить видовой состав фитопланктона исследованных станций по индексу сходства Серенсена — Чекановского. Он разделился на два кластера на уровне 48% (рис. 5). При этом левый кластер объединяет станции 1—15, а правый — расположенные ниже по руслу. Таким образом, исследованный участок реки условно разделился на две части. По видовому богатству фитопланктон левого кластера можно охарактеризовать как сфероплеево-синезелёно-диатомовый, а правого — синезелёно-сфероплеевый. Такое распределение видового состава, вероятно, обусловлено как гидрологическими, так и гидрохимическими особенностями реки, а также разной антропогенной нагрузкой на водную экосистему.

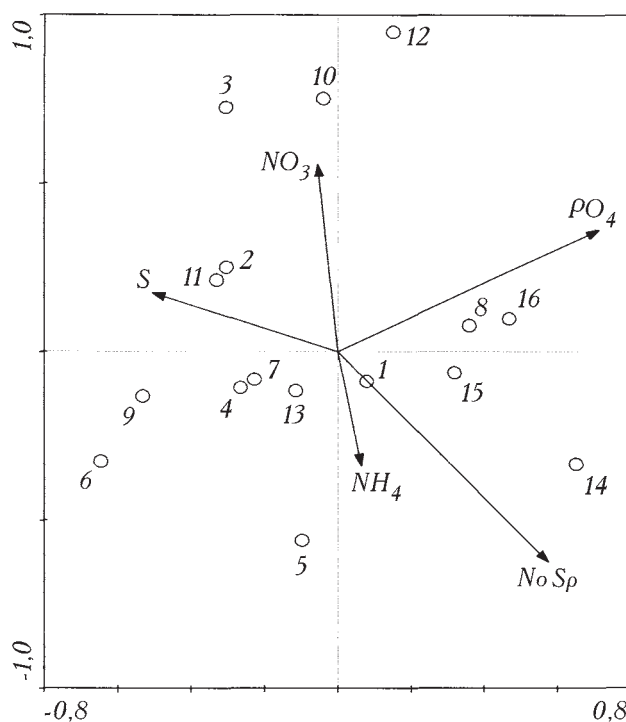
Деление реки на основе сходства видового состава фитопланктона уточняли с применением сравнительно-флористических методов [12]. На представленном дендрите сходства, где по силе связей между составом фитопланктона по индексу Серенсена — Чекановского, видно, что он формирует три ядра с центрами на ст. 3, 7 и 19 (рис. 6). При этом ст. 1, 2, 8 и 10 примыкают к ядру ст. 3, ст. 4, 8, 9, 11, 12 и 14 — к наиболее крупному ядру ст. 7, а ядро ст. 19 объединяет станции нижней части исследованного участка — 16, 17, 18 и 20. Исходя из этого при проведении последующего мониторинга основными станциями должны служить ст. 3, 7 и 19.

Известно, что условия среды, в которых развивается фитопланктон, существенно влияют на его размерные характеристики [28, 40], то есть ин-



7. Средняя масса клеток фитопланктона на станциях среднего участка р. Южный Буг.

формация о средней массе клетки в сообществе (B/N) может быть использована при оценке экологического состояния водоёма [49]. В частности, преобладание мелкоклеточных форм связывают с ухудшением качества вод. Линия тренда средних размеров клеток планктонных водорослей на исследованном участке р. Южный Буг указывает на тенденцию к их постепенному увеличению (рис. 7). Это свидетельствует о том, что доля быстро развивающихся мелкоклеточных видов, вызывающих «цветение» воды, уменьшается, и как следствие — экологическое состояние исследованного участка улучшается. Этот вы-



8. Биplot RDA связи видового состава фитопланктона на станциях среднего участка р. Южный Буг с гидрохимическими показателями (стрелками обозначены анализируемые показатели, цифрами — номера станций).

3. Значения индекса загрязнения реки (*RPI*) на среднем участке р. Южный Буг

Параметры	RPI-S	RPI-NO ₂ ⁻	RPI-NH ₄ ⁺	RPI-NO ₃ ⁻	RPI-PO ₄ ³⁻	RPI-Sp
RPI	1,92	0,020	0,19	0,43	0,15	39,55
Класс качества воды	III	III	II	II	IV	

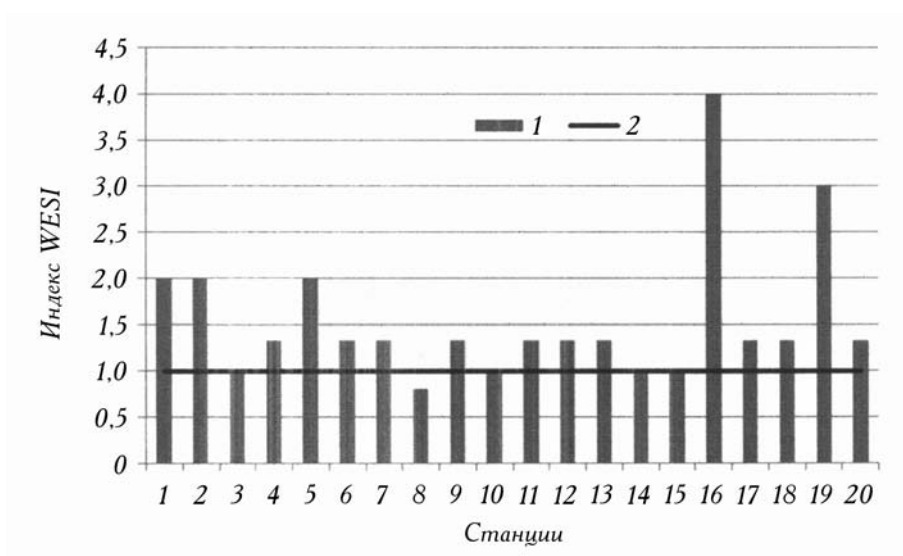
вод также подтверждается линиями трендов количества видов (увеличение) и индекса сапробности *S* (снижение) (см. рис. 2).

Многофакторный анализ, определяющий группы факторов, синхронно влияющих на видовой состав водорослей на станциях среднего участка реки, был проведен в программе CANOCO. На биplotе RDA видно, что станции разделились на несколько групп (рис. 8). Первая группа включает ст. 10, где основным воздействующим на развитие фитопланктона фактором были нитраты. Вторая группа объединяет ст. 12 и 16, где существенное влияние оказывали ортофосфаты при ограничении по нитратам. Остальные станции расположены достаточно близко к центру биplotа, что указывает на отсутствие выраженного воздействия исследованных факторов. Поэтому они были исключены из дальнейшего анализа [46].

Поскольку на биplotе наблюдается разнонаправленность факторов и негруппированность станций относительно них, то результаты данного анализа свидетельствуют об отсутствии единого критического фактора, воздействующего на фитопланктон. Для уточнения этой ситуации было осуществлено пошаговое выделение факторов с применением метода мультипараметрической статистики. В качестве зависимого компонента выбрано количество видов планктонных водорослей на станциях, а в качестве независимых — гидрохимические показатели (см. табл. 1) и индекс сапробности *S* (см. табл. 2). В результате 5-шагового регрессионного анализа также не выявлено показателя, критически воздействующего на видовое богатство фитопланктона.

Нами также был рассчитан индекс загрязнения реки (*RPI*) [2, 3, 25, 40, 41] с учетом шести параметров, значения которого затем классифицировали согласно методике [2]. Индекс сапробности *S* и количество нитритов находятся в пределах III класса качества вод, а нитратов и аммония — II класса (табл. 3), что не является угрозой для речной экосистемы. При этом уровень насыщенности воды ортофосфатами был высоким (IV класс). Следовательно, при последующем мониторинге особое внимание следует обратить на содержание неорганического фосфора.

На заключительном этапе оценки рассчитывали индекс состояния водной экосистемы *WESI*. Мы исходили из того, что критерием самоочистительной способности и, следовательно, состояния водной экосистемы является способность сообщества первичных продуцентов использовать нитраты при отсутствии дефицита по фосфатам. Когда фотосинтез у водорослей происходит в условиях отсутствия стресса, эти соединения используются полностью и, следовательно, классификационный ранг по индексу сапробности и нитратам совпадает. Если значение индекса *WESI* равно единице или больше её, то фотосинтетическая активность фитопланктона обеспечи-



9. Значение индекса состояния экосистемы *WESI* на станциях среднего участка р. Южный Буг: 1 — *WESI*; 2 — *WESI Norm*.

вает достаточный уровень самоочищения экосистемы, если же меньше единицы, то процессы самоочищения подавлены [2, 23]. Значение индекса практически на всех станциях, за исключением ст. 8, было равно единице или выше (рис. 9), что свидетельствует о высокой способности экосистемы к самоочищению.

Заключение

В составе планктона среднего участка р. Южный Буг обнаружено 167 видов (170 в. в. т.) водорослей. Их численность находилась в пределах 3486—102556 тыс. кл/дм³, а биомасса — 0,756—20,885 мг/дм³.

Сравнительный анализ видового состава фитопланктона на изученном участке позволил выделить два кластера, один из которых объединяет станции с доминированием сфероплеево-синезелёно-диатомового комплекса водорослей, а другой — с преобладанием синезелёно-сфероплеевого. При этом фитопланктон формирует три ядра с центрами на ст. 3 (с. Сабаров, р-н г. Винницы), ст. 7 (с. Печера) и ст. 19 (с. Долгая Пристань).

Многофакторный и мультирегрессионный анализ альгологического материала и гидрохимических показателей свидетельствует об отсутствии единого критического фактора, воздействующего на развитие сообществ планктонных водорослей среднего участка р. Южный Буг.

Интегральная оценка загрязнения р. Южный Буг указывает на то, что концентрация неорганических соединений азота и фосфора в воде в большинстве случаев не является угрозой для изученного участка, хотя вода на некоторых станциях по содержанию фосфора относится к категории «грязная».

Значения индекса состояния экосистемы WESI свидетельствуют о высокой самоочистительной способности р. Южный Буг на исследованном участке при относительной стабильности структуры сообществ планктонных водорослей.

**

В роботі оцінено екологічний стан середньої ділянки р. Південний Буг. Проаналізовано взаємозв'язок характеристик фітопланктону (видове багатство, різноманіття, чисельність і біомаса) та вмісту неорганічних сполук азоту і фосфору у воді досліджуваної ділянки річки. Не виявлено чинника, що критично впливає на видове багатство фітопланктону. Встановлені станції, що потребуватимуть особливої уваги при подальшому моніторингу.

**

The ecological assessment of the middle section of the South Bug River was carried out. Correlation of phytoplankton characteristics (species richness, diversity, cells number and biomass) and content of inorganic nitrogen and phosphorus in water was analysed. It was found, that no factor critically affects species richness of phytoplankton. Sites were estimated which need special attention at further monitoring.

**

1. Афанасьев С.О., Васильчук Т.О., Летицька О.М., Білоус О.П. Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної Рамкової Директиви ЄС. — К.: НВП Інтерсервіс, 2012. — 28 с.
2. Барінова С.С., Мегведєва Л.А. Атлас водорослей-індикаторів сапробності (российский Дальний Восток). — Владивосток: Дальнаука, 1996. — 364 с.
3. Барінова С.С., Мегведєва Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. — Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. — 498 с.
4. Белоус Е.П., Барінова С.С., Клоченко П.Д. Фітопланктон верхнього участка р. Южный Буг как показатель его экологического состояния // Гидробиол. журн. — 2012. — Т. 48, № 5. — С. 39—51.
5. Вишневский В.І. Річки і водойми України. Стан і використання. — К.: Віпол, 2000. — 376 с.
6. Водна рамкова директива ЄС 2000/60/ЕС. Основні терміни та їх визначення. — К., 2006. — 240 с.
7. Гидробиологический режим и кормовая база рыб Ладыжинского водохранилища и сбросного канала ГРЭС / Г. В. Парчук, Л. В. Шевцова, Ю. И. Карпезо и др. — Киев, 1993. — 72 с. — Рукопись деп. в ВИНТИИ, № 1529-И93.
8. Калиниченко Р.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. Химический состав воды и планктонное сообщество реки Южный Буг // Гидробиол. журн. — 1995. — Т. 31, № 3. — С. 36—43.
9. Клоченко П.Д., Митківська Т.І. Фітопланктон р. Південний Буг на ділянці між містами Первомайськом та Миколаєвом (Україна) // Укр. ботан. журн. — 1994. — Т. 51, № 1. — С. 116—124.

10. Клоченко П.Д., Митковская Т.И., Сакевич А.И. Фитопланктон малых рек Николаевской области (Украины) // Альгология. — 1993. — Т. 3, № 4. — С. 57—63.
11. Константинов А.С. Общая гидробиология. — М.: Высш. шк., 1986. — 472 с.
12. Новаковский А.Б. Возможности и принципы работы программного модуля «GRAPHS». Автоматизация научных исследований. — Сыктывкар: Коми науч. центр УрО РАН, 2004. — 28 с.
13. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / За ред. В.Д. Романенка. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
14. Одум Ю. Экология: В 2 т. — М.: Мир, 1986. — Т. 2. — 376 с.
15. Пикуш Н.В., Кошелева С.И., Ленчина Л.Г. и др. Водоем-охладитель Ладжинской ГРЭС. — Киев: Наук. думка, 1978. — 132 с.
16. Рагзимовський Д.О. До характеристики фітопланктону водойм Вінниччини // Журн. біо-зоол. циклу ВУАН. — 1934. — № 3. — С. 21—49.
17. Ролл Я.В. Фитопланктон р. Південний Буг // Тр. Гідробіол. ст. АН УРСР. — 1937. — № 14. — С. 109—149.
18. Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. — К., 2001. — 48 с.
19. *Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши* / Под ред. А. Д. Семенова. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 542 с.
20. Совинский В. Материалы для флоры водорослей и отчасти мховъ некоторых уездовъ Киевской и Подольской губерний // Зап. Киев. о-ва естествоиспытателей. — 1876. — № 4. — С. 1—20.
21. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. — Киев: Вища шк., 1984. — 333 с.
22. Ács E., Kiss K. T., Borics G. et al. Improvement of the ecological water qualification system of rivers based on first results of the Hungarian phytobenthos and phytoplankton surveillance monitoring // Use of algae for monitoring rivers: 7th Intern. symp. Abstracts. — Luxembourg, 2009. — P. 23
23. Barinova S. Algal diversity dynamics, ecological assessment, and monitoring in the river ecosystems of the eastern Mediterranean. — New York: Nova Sci. publ., 2011. — 363 p.
24. Barinova S., Tavassi M., Glassman H., Nevo E. Algal indication of pollution in the Lower Jordan River, Israel // Appl. Ecology and Environmental Res. — 2010. — Vol. 8, N 1. — P. 19—38.
25. Barinova S.S., Tavassi M., Nevo E. Microscopic algae in monitoring of the Yarqon River (Central Israel). — Saarbrücken: Lambert Acad. publ., 2010. — 187 p.
26. Coste M., Bosca C., Dauta A. Use of algae for monitoring rivers in France // Use of algae for Monitoring Rivers. — Innsbruck, 1991. — P. 75—88.
27. Dokulil M. Review on recent activities, measurements and techniques concerning phytoplankton algae of large rivers in Austria // Ibid. — P. 53—57.
28. Finkel Z. V., Beardall J., Flynn K. J. et al. Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry // J. Plankt. Res. — 2010. — Vol. 32, N 1. — P. 119—137.

29. *Friedrich G.* Use of phytoplankton in monitoring rivers in the Federal Republic of Germany // Use of algae for monitoring rivers. — Innsbruck, 1991. — P. 97—102.
30. *Hindák F., Makovinská J.* Phytoplankton of the Danube from Bratislava (Slovakia) to Budapest (Hungary) // Use of algae for monitoring rivers. — Douai: Agence de l'Eau Artois-Picardie, 1999. — P. 188—193.
31. *Kelly M. G., Whitton B. A.* Biological monitoring of eutrophication in rivers // *Hydrobiologia*. — 1998. — Vol. 384. — P. 55—67.
32. *Kiss K.T., Schmidt A., Ács E.* Sampling strategies for phytoplankton investigations in a large river (River Danube, Hungary) // Use of algae for monitoring rivers. — Innsbruck, 1996. — P. 179—185.
33. *Marvan P., Heteša J., Hindák F., Hindáková A.* Phytoplankton of the Morava River in Czech Republic and Slovakia: past and present // *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* — 2004. — Vol. 33, N 4. — P. 41—60.
34. *Naicheng W., Britta S., Fohrer N.* Distribution of phytoplankton in a German lowland river in relation to environmental factors // *J. Plankt. Res.* — 2011. — Vol. 33, N 5. — P. 807—820.
35. *Noppe K., Prygiel J.* Phytoplankton as an eutrophication indicator for the main watercourses of the Artois-Picardie water basin (France) // Use of algae for monitoring rivers. — Douai: Agence de l'Eau Artois-Picardie, 1999. — P. 194—205.
36. *Odum E. P.* The strategy of ecosystem development // *Science*. — 1969. — Vol. 164. — P. 262—270
37. *Piirsoo K., Pall P., Viik M.* Phytoplankton characteristics for different types of Estonian rivers // *Intern. J. Oceanography and Hydrobiology*. — 2004. — Vol. 33, N 1. — P. 23—35.
38. *Sládeček V.* System of water quality from the biological point of view // *Ergebnisse der Limnologie*. — 1973. — N 7. — P. 1—128.
39. *STATISTICA* (data analysis software system), version 7.1. StatSoft, Inc. — Tulsa, 2007. — <http://www.statsoftinc.com/>
40. *Stolte W., Riegman R.* Effect of phytoplankton cell size on transient state nitrate and ammonium uptake kinetics // *Microbiology*. — 1995. — Vol. 141. — P. 1221—1229.
41. *Sumita M.* A numerical water quality assessment of rivers in Hokuriku District using epilithic diatom assemblage in river bed as a biological indicator. (II) The values of RPI_d in surveyed rivers. Diatom // *Jap. J. of Diatomology*. — 1986. — Vol. 46, N 2. — P. 9—18.
42. *Sumita M., Watanabe T.* A numerical assessment of organic water pollution in the river Shimanto and its tributaries, Kochi Prefecture, using attached diatom assemblages // *Ibid.* — 1995. — Vol. 56, N 2. — P. 137—144.
43. *Swirenko D.* Ueber di hydrobiologische Expedition auf den Südlichen Bug im Sommer 1926 // *Ver. Intern. Ver. Theor. und Angew. Limnol.* — 1929. — Bd. 4. — S. 693—702.
44. *Swirenko D. O.* Die botanischen Ergebnisse der Süd-Bugischen hydrobiologischen expedition // *Arch. Hydrobiol.* — 1941. — Bd. 6, N 4. — S. 593—770.
45. *Ter Braak C.J.F., Šmilauer P.* CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows user's Guide: software for canonical community ordination (version 4.5). — Ithaca: Microcomputer Power Press, 2002. — 500 p.

46. *Ter Braak C.J.F.* Interpreting canonical correlation analysis through biplots of structural correlations and weights // *Psychometrica*. — 1990. — Vol. 55. — P. 519—531.
47. *Rivers of Europe* / Ed. by K. Tockner, C.T. Robinson, U. Uehlinger. — Amsterdam; Boston; Heidelberg; London; New York; Oxford; Paris; San Diego; San Francisco; Singapore; Sydney; Tokyo: Elsevier. Acad. press, 2009. — P. 515—540.
48. *Wehr J.D., Descy J.-P.* Use of phytoplankton in large river management // *J. Phycol.* — 1998. — Vol. 34. — P. 741—749.
49. *Zhang Y., Yin Y., Wang M., Liu X.* Effect of phytoplankton community composition and cell size on absorption properties in eutrophic shallow lakes: field and experimental evidence // *Optics Express*. — 2012. — Vol. 20, N 11. — P. 11882—11898.

¹ Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

² Институт эволюции,
Хайфский университет, Израиль

Поступила 14.06.13