

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(1): 84–98

doi.org/10.15407/alg27.01.084

УДК 581.526.325.2 (282.256.16)

БАЖЕНОВА О.П., ГУЛЬЧЕНКО Я.И.

ФГБОУ ВО Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина,
кафедра экологии, природопользования и биологии,

Институтская пл., 2, Омск 644008, Россия

olga52@bk.ru

МНОГОЛЕТНЯЯ СУКЦЕССИЯ ФИТОПЛАНКТОНА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ИРТЫШ (ОМСК, РОССИЯ)

Рассматривается многолетняя сукцессия фитопланктона среднего течения трансграничной реки Иртыш за период 1998–2016 гг. Общая численность и биомасса фитопланктона в 2014–2015 гг. сохранились на прежнем уровне. В структуре фитопланктона установлены статистически достоверные изменения – возрастание относительной доли эвгленовых водорослей в общей численности и биомассе фитопланктона весной и снижение относительной доли зеленых водорослей в общей численности фитопланктона весной и летом. В составе фитопланктона идентифицировано 88 новых для исследованного участка реки видовых и внутривидовых таксонов (ввт), включая номенклатурный тип вида, среди которых преобладают *Chlorophyta* (31 ввт) и *Euglenophyta* (21 ввт). Таксономическая структура и видовое богатство фитопланктона остались на уровне 1998–2003 гг., что соответствует состоянию экологической модуляции. Отмеченные изменения видового состава фитопланктона свидетельствуют об усилении процесса эвтрофирования и возрастании загрязнения вод реки органическими веществами.

Ключевые слова: фитопланктон, структура, видовой состав, новые виды, сукцессия, река Иртыш, среднее течение.

Введение

Трансграничная р. Иртыш интенсивно используется в народном хозяйстве стран, по территории которых она протекает – Китая, Казахстана и России. В пределах Омской обл. проходит среднее течение Иртыша; характеристика региона и его водных объектов представлена в наших предыдущих публикациях (Баженова и др., 2012а, 2014). Последние систематические исследования фитопланктона среднего течения Иртыша и оценка состояния экосистемы реки были проведены в 1998–2003 гг. На основе характеристик фитопланктона состояние экосистемы р. Иртыш было определено как антропогенное экологическое напряжение с элементами антропогенного эвтрофирования (Баженова, 2005, 2006).

В начале XXI в. возникла серьезная угроза возможного истощения водных ресурсов Иртыша. По прогнозам, одной из главных причин не-

©Баженова О.П., Гульченко Я.И., 2017

стабильности речного стока в бассейне Иртыша на период до 2025 г. будет антропогенное воздействие, которое зависит от темпов освоения орошаемых территорий и развития промышленности в Китае и Казахстане.

В связи со значительными экономическими изменениями в Китае и Казахстане, а также изменением инфраструктуры в бассейне среднего течения р. Иртыш на территории России возникла необходимость в оценке современного состояния экосистемы реки и качества её вод. В связи с этим в 2014 г. возобновились исследования фитопланктона среднего течения Иртыша в районе г. Омска.

Изменения таксономической структуры и видового состава фитопланктона Иртыша в последние годы не изучались. Однако именно эти показатели играют значительную роль при оценке экологического состояния водных объектов, особенно в рамках концепции экологических модификаций В.А. Абакумова (1991), основные положения которой были использованы при оценке состояния экосистемы среднего Иртыша в 1998–2003 гг.

Цель работы – установить характер и направление изменений таксономической структуры и видового состава фитопланктона среднего течения р. Иртыш в современных условиях.

Материалы и методы

В работе использованы результаты обработки 172 количественных и интегрированных качественных проб фитопланктона среднего течения р. Иртыш в районе г. Омска за период 2014–2015 гг. Пробы отбирали из поверхностного слоя воды 2–3 раза в месяц с помощью батометра на двух створах выше и ниже г. Омска в трех точках поперечного сечения реки (у берегов и на середине), затем фиксировали формалином, концентрировали осадочным способом и обрабатывали по общепринятым методам (Федоров, 1979; Водоросли, 1989). Примененные методы отбора, концентрирования и обработки проб фитопланктона идентичны использованным во время предыдущих исследований (Баженова, 2005).

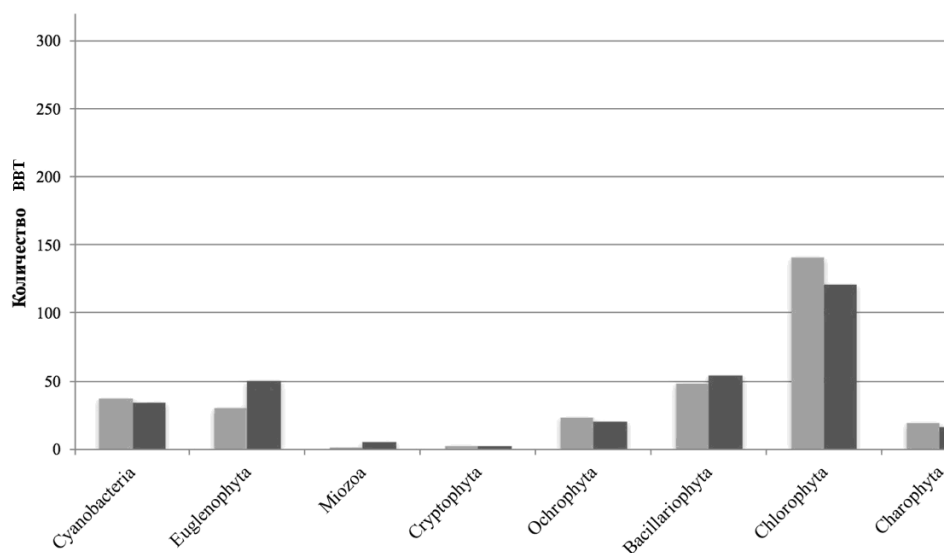
Систематический список водорослей и цианобактерий (см. таблицу) составлен по системе: Guiry et Guiry (2011), с учетом рекомендаций П.М. Царенко (2010). Эколого-географические характеристики видов приведены в работе Бариновой и др. (2006).

Результаты и обсуждение

Численность и биомасса фитопланктона Иртыша в районе г. Омска в среднем в период открытой воды 2014 г. составили, соответственно, $14,51 \pm 3,93$ млн кл/л и $1,89 \pm 0,16$ г/м³. В 2015 г. численность фитопланктона осталась на прежнем уровне ($16,26 \pm 1,72$ млн кл/л), а биомасса увеличилась ($5,08 \pm 0,45$ г/м³). Значительных изменений общей численности фитопланктона по сравнению с результатами 1998–2003 гг.

не установлено. В структуре фитопланктона (рассматриваемой по относительной доле различных отделов в общей численности и биомассе) по обобщенным данным 2014–2015 гг., напротив, установлены статистически достоверные изменения. В весенний сезон обнаружено увеличение относительной доли эвгленовых в фитопланктоне реки. Средняя относительная численность *Euglenophyta* весной возросла на 7,2% (на 5%-м уровне), а биомасса – на 4,4% (на 1%-м уровне). Относительная численность *Chlorophyta*, вопреки закономерностям, установленным для эвгленид, снизилась весной на 9,5%, а летом – на 4,5%. Статистически значимых изменений доли цианобактерий в общей численности фитопланктона не установлено. При сохранении относительной численности *Bacillariophyta* на прежнем уровне повысился их вклад в общую биомассу фитопланктона осенью (на 12,9%), что связано с активной вегетацией крупноклеточного вида *Stephanodiscus neoastraea*, максимальная численность которого осенью 2015 г. достигала 3,5 млн кл/л.

В 2014–2015 гг. в фитопланктоне идентифицировано 303 ввт из 8 отделов. Ведущая роль принадлежала *Chlorophyta* (128 ввт), *Bacillariophyta* (54 ввт), *Euglenophyta* (51 ввт) и *Cyanobacteria* (34 ввт) (см. рисунок).



Таксономическая структура фитопланктона среднего течения р. Иртыш по данным 1998–2003 и 2014–2015 гг.

В 1998–2003 гг. в составе фитопланктона среднего течения Иртыша было найдено 302 видовых и внутривидовых таксона, включая номенклатурный тип вида из 8 отделов. Ведущая роль также принадлежала *Chlorophyta*, *Bacillariophyta*, *Euglenophyta* и *Cyanobacteria* (Баженова, 2005).

Таким образом, таксономическая структура фитопланктона среднего Иртыша в основном сохранила прежние показатели. Видовое богатство фитопланктона, рассматриваемое как общее число внутривидовых таксонов (Бродский, 2007), осталось на прежнем уровне. В рамках концепции экологических модификаций устойчивость таксономической структуры и видового богатства свидетельствует о том, что экосистема среднего течения р. Иртыш за прошедшее время не изменилась и находится в достаточно устойчивом состоянии экологической модуляции. Экологическая модуляция – наиболее распространенное направление метаболического прогресса, не приводящее, как правило, к глубоким изменениям интенсивности метаболизма биоценозов. Она выражается в смене доминантных видов, в изменении состава руководящих комплексов, в общем изменении видового состава биоценозов и т.д. (Абакумов, 1991).

В отличие от таксономической структуры, видовой состав фитопланктона среднего Иртыша существенно изменился. Возросло общее число внутривидовых таксонов в составе отделов *Euglenophyta*, *Miozoa*, *Bacillariophyta* и, соответственно, уменьшилась доля остальных отделов, особенно *Chlorophyta*. Подобное уменьшение видового богатства *Chlorophyta* отмечено также в многолетней динамике фитопланктона на эвтрофном участке среднего течения р. Белой при общем ухудшении качества ее вод (Шкундина, Сахабутдинова, 2015).

На смену исчезнувшим из фитопланктона реки видам пришла значительная группа новых для исследованного участка реки внутривидовых таксонов. К настоящему времени в их составе мы идентифицировали 88 ввт, в т.ч.: *Cyanobacteria* – 6, *Euglenophyta* – 21, *Ochrophyta* – 10, *Miozoa* – 4, *Bacillariophyta* – 6, *Chlorophyta* – 31, *Charophyta* – 10 (см. таблицу).

Большинство цианобактерий, обнаруженных в планктоне Иртыша, относятся к колониальным мелкоклеточным видам, достигают высокого обилия (1 млн кл/л и более) и часто вызывают «цветение» воды в мелководных эвтрофированных озерах Омского Прииртышья (Баженова и др., 2012б). Особого внимания заслуживает появление в Иртыше *Cuspidothrix ussaczewii* (= *Aphanizomenon elenkinii* Kisselev). В 2003 г. этот вид впервые был найден нами в планктоне Бухтарминского вдхр, расположенного в верхнем течении реки вблизи границы с Китаем. В 2002–2004 гг. нами было установлено, что это водохранилище из экологической модуляции перешло в состояние антропогенного экологического напряжения, наиболее явными признаками которого являются возрастание видового богатства фитопланктона и существенные преобразования его структуры и состава доминирующего комплекса (Баженова и др., 2009). Согласно последним публикациям (Бабаназарова и др., 2014), *C. ussaczewii* относится к числу теплолюбивых солоноватоводных инвазийных видов умеренной зоны. Появление этого вида как в верхнем, так и в среднем течении Иртыша, очевидно, связано с изменением абиотических факторов среды в результате глобального

потепления и повышенной антропогенной деятельности: возрастанием биогенной нагрузки на реку, усилением минерализации вод Бухтарминского вдхр под воздействием рисосяния на территории Китая, прилегающей к бассейну Черного Иртыша (Синьцзянь-Уйгурский автономный район), устойчивым повышением температуры воздуха в Омском Прииртышье с 1971 по 2013 гг. на 1,34 °С (Шаманин и др., 2014). *Cuspidothrix ussaczevii* как вид-вселенец появился и в других водных объектах России, например в высокоэвтрофном оз. Неро (Бабаназарова и др., 2014).

Не идентифицированные ранее виды водорослей и цианобактерий в планктоне среднего течения р. Иртыш (2014–2015 гг.)

Таксон	Эколого-географическая характеристика				Обилие
	Сапробность	Галобность	Ацидофильность	Географическая приуроченность	
Отдел <i>Cyanobacteria</i>					
Класс <i>Cyanophyceae</i>					
<i>Synechocystis crassa</i> Woron.	–	–	–	–	1
<i>Aphanocapsa conferta</i> (West et G.S. West) Komárk.-Legn. et Cronberg	–	i	–	k	5
<i>A. delicatissima</i> West et G.S. West	–	i	–	k	5
<i>Snowella rosea</i> (J. Snow) Elenkin	–	i	–	b	5
<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kütz.	o	hl	alf	k	6
<i>Cuspidothrix ussaczevii</i> (Proschk.-Lavr.) P. Rajaniem, Komárek, R. Willame, P. Hrouzek, K. Kastovská, L. Hoffm. et K. Sivonen	β-o	–	–	Ha	2
Отдел <i>Euglenophyta</i>					
Класс <i>Euglenophyceae</i>					
<i>Trachelomonas abrupta</i> Svirenko	β	–	–	–	1
<i>T. acanthostoma</i> A. Stokes	β	–	–	–	1
<i>T. helvetica</i> Lemmerm. emend. Deflandre f. <i>helvetica</i>					1
<i>T. incerta</i> var. <i>punctata</i> Lemmerm.	–	–	–	–	1
<i>T. oblonga</i> var. <i>australiana</i> Playfair	–	–	–	–	1
<i>T. oblonga</i> var. <i>ovalis</i> (Playfair) T.G. Popova	–	–	–	–	1
<i>T. oblonga</i> var. <i>punctata</i> Lemmerm.	–	–	–	–	1

<i>Trachelomonas rotunda</i> Svirenko var. <i>rotunda</i>	o	—	ind	Ha, Hn	1
<i>Trachelomonas verrucosa</i> A. Stokes var. <i>verrucosa</i>	β	—	—	—	1
<i>T. volvocina</i> var. <i>punctata</i> Playfair					1
<i>T. woycickii</i> Koczw. f. <i>woycickii</i>					1
<i>Euglenaria caudata</i> (Huber) A. Karnowska-Ishikawa, E. Linton et J. Kwiatowski	α	mh	ind	Ha, Pt, Nt, k	2
<i>Euglena clara</i> Skuja	o	mh	ind	Ha	1
<i>E. gasterosteus</i> Skuja	o-α	—	—	cb	1
<i>E. gracilis</i> G.A. Klebs f. <i>gracilis</i>	χ-β	oh	ind	k	1
<i>E. deses</i> Ehrenb.	β	i	ind	k	1
<i>E. megalitos</i> Skuja	—	—	—	Ha	1
<i>E. oblonga</i> Schmitz	β	—	ind	Ha, Pt	1
<i>E. viridis</i> (O. Müll.) Ehrenb.	i	mh	ind	k	1
<i>Monomorphina pyrum</i> (Ehrenb.) Mereschk.	β	i	ind	b	1
<i>Phacus limnophilus</i> (Lemmerm.) E.W. Linton et A. Karnkowska-Ishikawa	o-β	—	—	cb	2
Отдел Miozoa					
Класс Dinophyceae					
<i>Peridiniopsis elpatiewskyi</i> (Ostenf.) Bourr.	—	—	—	Ha	1
<i>Peridinium cinctum</i> (O. Müll.) Ehrenb.	β-o	i	—	k	1
<i>P. umbonatum</i> F. Stein var. <i>umbonatum</i>	o	—	—	Ha	2
<i>Parvodinium goslaviense</i> (Wołosz.) S. Carty	—	—	—	—	2
Отдел Ochrophyta					
Класс Chrysophyceae					
<i>Lagynion subglobosum</i> Starmach	—	—	—	—	3
<i>Kephyrion ovale</i> (Lackey) Hub.-Pest.	—	—	—	—	2
<i>Dinobryon bavaricum</i> O.E. Imhof	o	i	—	a-a	2
<i>D. elegans</i> f. <i>glabra</i> Korschikov	—	i	—	b	1
<i>Dinobryon sociale</i> var. <i>stipitatum</i> (F. Stein) Lemmerm.	—	i		k	1
<i>Pseudokephyrion ellipsoideum</i> (Pascher) W. Conrad	β-o	oh	—	—	1
<i>P. poculum</i> W. Conrad	—	—	—	—	1
<i>P. undulatissimum</i> Scherff.	o	oh	—	—	1

Класс <i>Xanthophyceae</i>					
<i>Ophiocytium capitatum</i> Wolle	o	oh	–	k	1
<i>O. lagerheimii</i> Lemmerm.	–	–	–	–	1
Отдел <i>Bacillariophyta</i>					
Класс <i>Coccinodiscophyceae</i>					
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müll.) Simonsen	o-γ	i	acf	b	1
Класс <i>Mediophyceae</i>					
<i>Cyclotella atomus</i> Hust.	o	hl	–	k	1
<i>Stephanodiscus</i> cf. <i>alpinus</i> Hust.	–	–	–	–	1
<i>S. minutulus</i> (Kütz.) Cleve et O. Müll.	o-β	i	alf	k	1
<i>S. neoastraea</i> Hek. et B. Hickel emend. Casper, Scheffler et Augsten	o-β	i	alb	k	5
<i>Thalassiosira lacustris</i> (Grunow) Hasle	β	hl	–	–	1
Отдел <i>Chlorophyta</i>					
Класс <i>Trebouxiophyceae</i>					
<i>Botryococcus braunii</i> Kütz.	o-β	i	ind	k	1
<i>Quadricoccus ellipticus</i> Hortob.	–	–	–	Ha	2
<i>Granulocystopsis coronata</i> (Lemmerm.) Hindák	–	–	–	–	2
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nägeli	o	–	–	k	3
<i>Nephrochlamys rotunda</i> Korshikov	o-β	–	–	–	2
<i>N. willeana</i> (K.H.O. Printz) Korshikov	–	–	–	Ha	2
<i>Didymocystis inermis</i> (Fott) Fott	o-α	–	–	–	2
<i>Siderocelis sphaerica</i> Hindák	–	–	–	–	4
<i>Geminella minor</i> (Nägeli) Heering	o	–	–	–	4
Класс <i>Chlorophyceae</i>					
<i>Phacotus lenticularis</i> (Ehrenb.) Diesing	β	–	–	k	1
<i>Vitreochlamys gloeocystiformis</i> (O. Dill) A. Nakazawa	–	–	–	–	1
<i>Pseudoschroederia robusta</i> (Korshikov) E. Hegew. et E. Schnepf	o-α	i	–	k	2
<i>Monoraphidium komarkovae</i> Nygaard	–	–	–	Ha, Hn	3
<i>M. tortile</i> (West et G.S. West) Komárk.-Legn.	o-α	–	–	–	3

<i>Raphidocelis danubiana</i> (Hindák) Marvan et al.	—	—	—	—	3
<i>Selenastrum gracile</i> Reinsch	o-α	—	—	k	2
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i> Korschikov	β	—	—	Ha, Nt	2
<i>C. pulchrum</i> Schmidle	—	—	—	k	3
<i>Westella botryoides</i> (W. West) De Wild.	β	—	—	k	3
<i>Komarekia appendiculata</i> (Chodat) Fott	o-α	—	—	—	3
<i>Tetrademus obliquus</i> (Turpin) M.J. Wynne	β	i	—	k	2
<i>Scenedesmus armatus</i> (Chodat) Chodat	—	—	—	—	2
<i>S. denticulatus</i> var. <i>disciformis</i> Hortob.	β	—	—	—	2
<i>S. grahneisii</i> (Heynig) Fott	—	—	—	—	3
<i>S. intermedius</i> var. <i>acutispinus</i> (Y.V. Roll) E. Hegew. et An	—	—	—	—	2
<i>S. semipulcher</i> Hortob.	—	—	—	—	2
<i>S. soli</i> Hortob.	—	—	—	—	2
<i>Desmodesmus magnus</i> (Meyen) P. Tsarenko	o	—	—	k	2
<i>D. opoliensis</i> var. <i>carinatus</i> (Lemmerm.) E. Hegew.	—	—	—	k	2
<i>D. spinosus</i> (Chodat) E. Hegew.	o-β	—	—	Ha, Nt	2
<i>D. subspicatus</i> (Chodat) E. Hegew. et A.W.F. Schmidt	o	—	—	k	2
Отдел Charophyta					
Класс Klebsormidiophyceae					
<i>Elakatothrix parvula</i> (W. Archer) Hindák	—	—	—	—	2
Класс Conjugatophyceae					
<i>Gonatozygon brebissonii</i> de Bary var. <i>brebissonii</i>	o	гб	—	k	1
<i>Closterium aciculare</i> T. West	—	—	—	Ha, Au, Hn	1
<i>C. acutum</i> (Lyngb.) Bréb. var. <i>acutum</i>	o-β	—	—	k	1
<i>C. acutum</i> var. <i>linea</i> (Perty) West et G.S. West	—	—	—	—	1
<i>C. exiguum</i> West et G.S. West	—	—	—	—	2

<i>Closterium pronum</i> f. <i>brevius</i> (W. West) Kossinsk.	–	i	–	k	1
<i>C. strigosum</i> Bréb.	β	–	–	Ha	1
<i>Cosmarium botrytis</i> var. <i>hyacinthii</i> (Gutw.) Petlov.	–	–	–	–	1
<i>C. subprotumidum</i> Nordst. var. <i>subprotumidum</i>	–	–	acf	k	2

Примечание. Обилие видов указано по 6-балльной шкале: 1 – до 10 тыс. кл/л; 2 – от 10 до 100 тыс. кл/л; 3 – от 100 до 500 тыс. кл/л; 4 – от 500 тыс. кл/л до 1 млн кл/л; 5 – от 1 до 5 млн кл/л; 6 – более 5 млн кл/л.

Обозначения: о – олигосапробионт; о-χ – олиго-ксеносапробионт; χ-β – ксено-бетамезосапробионт; о-β – олиго-бетамезосапробионт; β-о – бета-олигосапробионт; о-α – олиго-альфамезосапробионт; β – бетамезосапробионт; α – альфамезосапробионт; i – индифферент.

mh – мезогалоб; oh – олигогалоб; i – олигогалоб-индифферент; hl – олигогалоб-галофил; hb – олигогалоб-галофоб; ind – индифферент и/или нейтрофил; alf – алкаифил; acf – ацидофил; alb – алкалибионт.

Pt – палеотропический; Nt – неотропический; Ha – голарктический; Au – австралийский; Hn – голантарктический; cb – циркумбореальный; k – космополит; b – бореальный; a-a – аркто-альпийский.

Обилие и разнообразие *Euglenophyta* является характерной чертой фитопланктона среднего Иртыша и связано с высоким уровнем эвтрофирования и загрязнения реки легкоокисляемыми органическими веществами (Баженова, 2005, 2006). Значительно возросшее видовое богатство эвгленид свидетельствует о том, что эвтрофирование и загрязнение реки органическими веществами продолжает усиливаться.

Из золотистых водорослей (отдел *Ochromyphyta*, класс *Chrysophyceae*) следует отметить появление в Иртыше *Dinobryon bavaricum*, который ранее (Андреев и др., 1963; Баженова и др., 2012а) в водных объектах Омского Прииртышья не был зарегистрирован, а в настоящее время обнаружен в планктоне лесных озер региона. Впервые найденные в Иртыше несколько видов *Dinophyta* (род *Peridinium*, *Parvodinium goslaviense* и *Peridiniopsis elpatiewskyi*) в настоящее время регулярно встречаются в различных водных объектах Омского Прииртышья, подверженных естественному и антропогенному эвтрофированию.

Установленное в последние годы возрастание видового богатства *Bacillariophyta* связано с недавно проведенной ревизией центрических диатомовых водорослей по данным электронной микроскопии. Это позволило составить новый список центрических диатомей из планктона Иртыша, включающий 14 видов, в т.ч. 6 новых (Генкал и др., 2012). В видовом составе пеннатных диатомовых водорослей изменений не обнаружено. Как известно, именно центрические диатомеи наиболее чувствительны к изменению состояния водных экосистем, в

особенности эвтрофирования рек и водохранилищ умеренных широт (Охапкин, 1997; Охапкин, Генкал, 2000). Из новых видов диатомей особое внимание привлекает *Stephanodiscus neoastraea*, ранее ошибочно идентифицируемый как *S. rotula* (Kütz.) Hendeу (Генкал и др., 2012), поэтому формально вошедший в список новых видов. Высокая численность *S. neoastraea*, регулярно отмечаемая в последние годы, и сопряженность роста его обилия с пиками загрязнения воды р. Иртыш позволили выделить этот вид в качестве регионального индикатора загрязненных вод (Баженова, Гульченко, 2016).

Наибольшее количество новых для исследованного участка реки внутривидовых таксонов водорослей относится к отделу *Chlorophyta*. Именно зеленые водоросли часто демонстрируют высокое обилие – от 100 тыс. до 1 млн кл/л. К их числу относятся самые разнообразные по жизненной форме водоросли – колониальные (*Coelastrum pulchrum*, *Komarekia appendiculata*, *Nephrocytium agardhianum*, *Raphidocelis danubiana*, *Siderocelis sphaerica*, *Westella botryoides*), ценобиальные (*Scenedesmus grahneisii*), нитчатые (*Geminella minor*) и одноклеточные (*Monoraphidium komarkovae*, *M. tortile*). Причем два вида-вселенца из состава перечисленных (*R. danubiana* и *S. grahneisii*) являются, как и диатомея *S. neoastraea*, региональными индикаторами загрязнения вод (Баженова, Гульченко, 2016).

Интересен факт появления в фитопланктоне среднего Иртыша весной в период половодья *Phacotus lenticularis* (пор. *Chlamydomonadales*). В последнее время обсуждается вопрос, является ли этот вид индикатором трофического статуса водных объектов, поскольку отмечено, что массового развития он достигает в эвтрофных водоемах (Schlegel et al., 1998). В водных объектах Западной Сибири в последние годы массовое развитие *P. lenticularis* отмечено в эвтрофном, подверженном «цветению» воды Бердском заливе Новосибирского водохранилища (Романов, 2014), и в эвтрофных озерах лесной зоны Омской обл. (Баженова, 2015). Поэтому появление *P. lenticularis* в планктоне Иртыша, даже при низком обилии этого вида (до 10 тыс. кл/л), можно объяснить усилением эвтрофирования реки.

Идентификация ряда новых внутривидовых таксонов коккоидных (класс *Chlorophyceae*), желтозеленых (класс *Xanthophyceae*) и десмидиевых (класс *Conjugatophyceae*) водорослей, вероятно, связана не только с изменениями видового состава, но и с незначительным обилием этих видов в фитопланктоне среднего Иртыша, поэтому их находки довольно редки.

Анализ состава новых для исследованного участка реки внутривидовых таксонов по экологическим характеристикам и географической приуроченности позволил установить некоторые характерные особенности видов-вселенцев. В их составе найдено 46 индикаторов сапробности, более трети которых (36,96% или 17 ввт) являются видами с высокой степенью толерантности к содержанию органических веществ (γ - β -, α - β -, β - α -, α - α -сапробионтами) и могут

успешно вегетировать как в чистых, так и в загрязненных органикой водах. Значительное количество высокотолерантных к органическому загрязнению видов характерно для большинства водных объектов Омского Прииртышья (Барсукова, Баженова, 2012; Баженова и др., 2012б; Баженова, Игошкина, 2014) и указывает на высокий потенциал их самоочищающей способности. В составе индикаторов отмечена также высокая доля олигосапробионтов и β -мезосапробионтов (13 ввт или 28,26% для обеих групп).

По отношению к солености и рН воды преобладают индифференты, по географической приуроченности – космополиты, что в целом характерно для большинства водных объектов Омского Прииртышья (Баженова, 2005; Барсукова, Баженова, 2012; Баженова и др., 2012) и других регионов (Корнева, 2009).

Таким образом, видовой состав фитопланктона среднего Иртыша по сравнению с предыдущим периодом исследований (1998–2003 гг.) значительно изменился. Самые существенные отличия связаны с появлением в фитопланктоне новых для исследованного участка реки внутривидовых таксонов *Euglenophyceae*, *Dinophyceae* и *Chrysophyceae*, обладающих, как и другие фитофлагелляты, способностью к поглощению органических веществ (Корнева, 2009). Такое изменение видового состава фитопланктона связано с возрастанием загрязнения вод реки легкоокисляемыми органическими веществами. Косвенным подтверждением этому служит появление в планктоне Иртыша сразу трех видов рода *Bicosoeca*: *B. cylindrica* (Lackey) Bourg., *B. urceolata* Fott и *B. deprocuesiana* Bourg., принадлежащих к группе *Bigyra* и являющихся типичными гетеротрофами. Возможно, они появились в планктоне Иртыша гораздо раньше, так как виды этого рода были найдены еще в 2009–2012 гг. в водоеме природного парка «Птичья гавань», в который регулярно закачивают воду из Иртыша (Баженова, Игошкина, 2014).

Заключение

Общая численность и биомасса фитопланктона среднего течения р. Иртыш по сравнению с 1998–2003 гг. сохранились на прежнем уровне в 2014–2015 гг. В структуре фитопланктона установлены статистически достоверные изменения – возрастание относительной доли *Euglenophyta* в общей численности и биомассе фитопланктона весной и снижение относительной доли *Chlorophyta* в общей численности фитопланктона весной и летом.

В составе фитопланктона идентифицировано 88 новых для исследованного участка реки видовых и внутривидовых таксонов, среди которых преобладают зеленые (31 ввт) и эвгленовые (21 ввт) водоросли. Таксономическая структура и видовое богатство фитопланктона сохранились на уровне предыдущих лет исследования (1998–2003 гг.), что соответствует состоянию экологической модуляции.

Вместе с тем, изменения в видовом составе фитопланктона имеют черты негативного характера и в совокупности указывают на усиление

процесса эвтрофирования и возрастание загрязнения вод реки органическими веществами. К числу характерных особенностей комплекса видов-вселенцев относятся:

- высокая доля зеленых и эвгленовых водорослей;
- обильная вегетация новых видов цианобактерий;
- значительное количество видов, высокотолерантных к загрязнению воды органическими веществами;
- присутствие региональных индикаторов загрязненных вод.

Как известно, биоиндикация является наиболее чувствительным методом определения качества вод и направления происходящих в водных экосистемах изменений. Установленные изменения видового состава фитопланктона среднего Иртыша являются первыми признаками усиления негативных процессов в экосистеме реки. Для установления причин таких изменений необходимо продолжить наблюдения за состоянием фитопланктона и установить связи между показателями его развития и гидрохимическим режимом реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абакумов В.А. Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: Тр. междунар. симп. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 18–40.
- Андреев Г.П., Горячева Г.И., Скабичевский А.П., Чернявская М.А., Чистяков Л.Д. Водоросли реки Иртыш и его бассейна // Тр. Томск. гос. ун-та. – 1963. – 152. – С. 69–103.
- Бабаназарова О.В., Сиделев С.И., Фастнер Дж. Экспансия *Cylindrospermopsis raciborskii* (*Nostocales*, *Cyanoprokaryota*) в северные широты: вспышка развития в мелководном высокоэвтрофном оз. Нево (Россия) // Альгология. – 2014. – 24(4). – С. 526–537.
- Баженова О.П. Фитопланктон Верхнего и Среднего Иртыша в условиях зарегулированного стока. – Омск: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – 248 с.
- Баженова О.П. Оценка многолетних изменений экосистем верхнего и среднего Иртыша по показателям развития фитопланктона // Сиб. экол. журн. – 2006. – (6). – С. 785–790.
- Баженова О.П. Изменение фитопланктона озера Ленево (Омская обл.) под воздействием рекреации // Тез. докл. VI Междунар. Верещагинской Байкальской конф. – Иркутск. – 2015. – С. 51–52.
- Баженова О.П., Гульченко Я.И. Индикаторная значимость отдельных видов фитопланктона среднего течения реки Иртыша как показателей загрязнения воды // Вестн. Омск. гос. аграр. ун-та. – 2016. – 1(21). – С. 82–92.
- Баженова О.П., Игошкина И.Ю. Фитопланктон и экологическое состояние водоема природного парка «Птичьа гавань» (г. Омск). – Омск: Вариант-Омск, 2014. – 160 с.
- Баженова О.П., Куликов Е.В., Куликова Е.В., Девятков В.И., Евсеева А.А. Сукцессии биоценозов Бухтарминского водохранилища. – Омск: ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. – 244 с.
- Баженова О.П., Барсукова Н.Н., Герман Л.В., Коновалова И.А., Мамаева О.О. *Chrysophyta* водоемов и водотоков Омского Прииртышья (Россия) // Альгология. – 2012а. – 22(3). – С. 286–294.

- Баженова О.П., Герман Л.В., Кренц О.О., Шаховал В.Е., Вахрушев А.А. Экологическое состояние и рекреационная ценность разнотипных озер Омской области // Омск. науч. вестн. – 2012б. – 1(108). – С. 213–216.
- Баженова О.П., Кренц О.О., Коржова Л.В., Барсукова Н.Н., Коновалова О.А. *Suanoпротокариота* в планктоне рек и озер Омского Прииртышья // Альгология. – 2014. – 24(2). – С. 209–221.
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pil. Stud., 2006. – 498 с.
- Барсукова Н., Баженова О. Фитопланктон и экологическое состояние притоков среднего Иртыша. – LAP LAMBERT Acad. Publ. GmbH & Co. KG, 2012. – 151 с.
- Бродский А.К. Общая экология. – М.: Академия, 2007. – 256 с.
- Водоросли: Справочник / Под общ. ред. С.П. Вассера. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Генкал С.И., Баженова О.П., Митрофанова Е.Ю. Центрические диатомовые водоросли (*Centrophyseae*) водоемов и водотоков бассейна среднего участка реки Иртыш // Биол. внутр. вод. – 2012. – (1). – С. 5–14.
- Корнева Л.Г. Формирование фитопланктона водоемов бассейна Волги под влиянием природных и антропогенных факторов: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – С.Пб., 2009. – 48 с.
- Оханкин А.Г. Структура и сукцессии фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и её притоков): Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – С.Пб., 1997. – 48 с.
- Оханкин А.Г., Генкал С.И. Состав и экология доминирующих видов диатомовых водорослей планктона водотоков бассейна Средней Волги. Виды рода *Stephanodiscus* Ehr. // Биол. внутр. вод. – 2000. – (4). – С. 36–46.
- Романов Р.Е. Потенциально токсичные цианопрокаринты в планктоне водохранилища // Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 99–103.
- Федоров В.Д. О методах изучения фитопланктона и его активности. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 168 с.
- Царенко П.М. Рекомендации по унификации цитирования фамилий авторов таксонов водорослей // Альгология. – 2010. – 20(1). – С. 86–121.
- Шаманин В.П., Моргунов А.И., Петуховский С.Л., Трущенко А.Ю., Потоцкая И.В., Краснова Ю.С., Каракоз И.И., Пушкарев Д.В. Потепление климата и урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – (1). <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11919>
- Шкундина Ф.Б., Сахабутдинова Д.И. Многолетняя динамика автотрофного планктона на примере участка р. Белой (Республика Башкортостан, Россия) // Альгология. – 2015. – 25(2). – С. 135–147.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. Worldwide electronic publication. – Galway: Nat. Univ. Ireland, 2011. <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy>
- Schlegel I., Koschel R., Krienitz L. On the occurrence of *Phacotus lenticularis* (*Chlorophyta*) in lakes of different trophic state // Hydrobiologia. – 1998. – 69(370). – P. 353–361.

Поступила 10 мая 2016 г.

Подписала в печать А.В. Лишук-Курейшевич

REFERENCES

- Abakumov V.A., *Ekologicheskie modifikatsii i kriterii ekologicheskogo normirovaniya: Trudy mezhdunar. simp. [Environmental modification and criteria of environmental regulation: Mat. of Intern. Symp.]*, Gidrometeoizdat, Leningrad, 1991, pp. 18–40. (Rus.)
- Andreev G.P., Goryacheva G.I., Skabichevskiy A.P., Chernyavskaya M.A., and Chistyakov L.D., *Trudy Tomsk. gos. un-ta*, 1963, 152: 69–103.
- Babanazarova O.V., Sidelev S.I., and Fastner Dzh., *Algologia*, 2014, 24(4): 526–537.
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., and Anisimova O.V., *Bioraznoobrazie vodorosley-indikatorov okruzhayushchey sredy [Biodiversity of algae-indicators of environment]*, Pil. Stud., Tel-Aviv, 2006, 498 p. (Rus.)
- Barsukova N. and Bazhenova O., *Fitoplankton i ekologicheskoe sostoyanie pritokov srednego Irtysha [Phytoplankton and ecological condition of the tributaries of the middle Irtysh]*, LAP LAMBERT Acad. Publ. GmbH & Co. KG, 2012, 151 p. (Rus.)
- Bazhenova O.P. and Gulchenko Ya.I., *Vestn. Omsk. gos. agrar. un-ta*, 2016, 1(21): 82–92.
- Bazhenova O.P. and Igoshkina I.Yu., *Fitoplankton i ekologicheskoe sostoyanie vodoema prirodnogo parka «Ptichya gavan» (g. Omsk) [Phytoplankton and ecological condition of the water body Natural Park “Bird Harbour” (Omsk)]*, Variant-Omsk, Omsk, 2014, 160 p. (Rus.)
- Bazhenova O.P., Barsukova N.N., German L.V., Konovalova I.A., and Mamaeva O.O., *Algologia*, 2012a, 22(3): 286–294.
- Bazhenova O.P., *Fitoplankton Verkhnego i Srednego Irtysha v usloviyakh zaregulirovannogo stoka [Phytoplankton Upper and Middle Irtysh in a regulated flow]*, FGOU VPO OmGAU, Omsk, 2005, 248 p. (Rus.)
- Bazhenova O.P., German L.V., Krents O.O., Shakhoval V.E., and Vakhrushev A.A., *Omsk. nauch. vestn.*, 2012b, 1(108): 213–216.
- Bazhenova O.P., Krents O.O., Korzhova L.V., Barsukova N.N., Konovalova O.A., *Algologia*, 2014, 24(2): 209–221.
- Bazhenova O.P., Kulikov E.V., Kulikova E.V., Devyatkov V.I., and Evseeva A.A., *Suksessii biotsenozov Bukhtarminskogo vodokhranilishcha [Successions of biocenosis of Bukhtarmir reservoir]*, FGOU VPO OmGAU, Omsk, 2009, 244 p. (Rus.)
- Bazhenova O.P., *Sib. ekol. zhurn.*, 2006, (6): 785–790.
- Bazhenova O.P., *Tez. dokl. VI Mezhdunar. Vereshchaginskoy Baykalskoy konf. [Proceeding of VI Int. Vereshchagin Baikal Conf.]*, Irkutsk, 2015, pp. 51–52. (Rus.)
- Brodskiy A.K., *Obshchaya ekologiya [General ecology]*, Akademiya, Moscow, 2007, 256 p. (Rus.)
- Fedorov V.D., *O metodakh izucheniya fitoplanktona i ego aktivnosti [On the methods of the study of phytoplankton and its activity]*, Izd-vo MGU, Moscow, 1979, 168 p. (Rus.)
- Genkal S.I., Bazhenova O.P., and Mitrofanova E.Yu., *Biol. vnutr. vod.*, 2012, (1): 5–14.
- Guiry M.D. and Guiry G.M., *AlgaeBase. Worldwide electronic publ.*, Nat. Univ. Ireland, Galway, 2011. <http://www.algaebase.org/browse/taxonomy>
- Korneva L.G., *Formirovanie fitoplanktona vodoemov basseyna Volgi pod vliyaniem prirodnikh i antropogennykh faktorov, Avtoref. ... dis. dokt. biol. nauk [Formation of phytoplankton ponds Volga basin under the influence of natural and anthropogenic factors]*, Abstr. Dr. Sci. (Biol.) Thesis, St.-Petersburg, 2009, 48 p. (Rus.)

- Okhapkin A.G. and Genkal S.I., *Biol. vnutr. vod.*, 2000, (4): 36–46.
- Okhapkin A.G., *Struktura i suksessii fitoplanktona pri zaregulirovanii rechnogo stoka (na primere r. Volgi i eyo pritokov)*, Avtoref. ... dis. dokt. biol. nauk [*Structure and succession of phytoplankton at the over-regulation of the river flow (for example, p. Volga and its tributaries)*], Abstr. Dr. Sci. (Biol.) Thesis, St.-Petersburg, 1997, 48 p. (Rus.)
- Romanov R.E., *Mnogoletnyaya dinamika vodno-ekologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha* [*Long-term dynamics of water-ecological regime of the Novosibirsk reservoir*], Izd-vo SO RAN, Novosibirsk, 2014, pp. 99–103. (Rus.)
- Schlegel I., Koschel R., and Krienitz L., *Hydrobiologia*, 1998, 69(370): 353–361.
- Shamanin V.P., Morgunov A.I., Petukhovskiy S.L., Trushchenko A.Yu., Potozkaya I.V., Krasnova Yu.S., Karakoz I.I., and Pushkarev D.V., *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [*Modern problems of science and education*], 2014, (1). URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=11919>. (Rus.)
- Shkundina F.B. and Sakhabutdinova D.I., *Algologia*, 2015, 25(2): 135–147.
- Tsarenko P.M., *Algologia*, 2010, 20(1): 86–121.
- Vodorosli: Spravochnik* [*Algae: Directory*, S.P. Wasser (Ed.), Nauk. dumka Press, Kiev, 1989, 608 p.

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(1): 84–98

doi.org/10.15407/alg27.01.084

Bazhenova O.P., Gulchenko Ya.I.

P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University,
Dept. Ecology, Natural Management and Biology,
2, Institute Sq., Omsk 644008, Russia

LONG-TERM SUCCESSION OF THE PHYTOPLANKTON OF THE MIDDLE IRTYSH RIVER (OMSK, RUSSIA)

The authors consider the long-term succession of phytoplankton of the middle reach of the trans border Irtysh River (Russia, Omsk) for 1998–2016. The abundance and biomass of the phytoplankton remained at the same level in the 2014–2015. Statistically significant changes established in the structure of phytoplankton: the increase of *Euglenophyta* in the total abundance and biomass of the phytoplankton in the relative proportion in the spring time, and the decline of *Chlorophyta* in the total number of phytoplankton in the relative proportion in spring and summer times. The composition of phytoplankton has identified by 88 new specific and infraspecific taxa, where are dominated *Chlorophyta* (31) and *Euglenophyta* (21). Taxonomic structure and abundance of species of the phytoplankton remained at the level of 1998–2003, that corresponds to the ecological modulation state. Qualitative changes in the species composition of the phytoplankton have negative character traits and collectively point to strengthening the eutrophication process and the pollution increase of the river water with organic matter.

Key words: phytoplankton, structure, species composition, new species, succession, the Irtysh River, middle reach.