



УДК 574.633:574.583

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА
РЕКИ КАЗАНКИ (РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН, Г. КАЗАНЬ) С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ TILIA**

Абрамова Ксения Ивановна, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института проблем экологии и недропользования АН РТ (ИПЭН АН РТ)
420087, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Даурская, 28

Токинова Римма Петровна, к.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института проблем экологии и недропользования АН РТ (ИПЭН АН РТ)
420087, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Даурская, 28

Работа выполнена в рамках темы НИР: «Основные принципы и подходы к сохранению биологического разнообразия водных объектов на территории крупных промышленных городов (на примере г. Казани)»

Аннотация. Проведена оценка пространственного распределения фитопланктона реки Казанки с использованием алгоритмов компьютерной программы TILIA. Выделены водные участки по количественному развитию таксономических групп, доминирующих и субдоминирующих видов. Установлено неравномерное распределение структуры фитопланктона вдоль реки, в том числе синезеленых, диатомовых и зеленых водорослей. Проведено экологическое районирование водотока по гидрохимическим данным, картографическим сведениям окружающего ландшафта.

Ключевые слова: фитопланктон, пространственное распределение, экологическое районирование, программа TILIA, река Казанка

Фитопланктон – один из основных гидробиологических компонентов водоемов. Степень его развития, особенности структуры сообщества, состава массовых видов являются важными показателями в оценке трофического статуса, качества воды и экологических условий водоема. Исследование пространственного распределения и неоднородности фитопланктона с выделением акваторий по территориальным зонам является важным этапом для оценки антропогенной нагрузки, управления и охраны водных объектов.

Река Казанка – типично равнинная река со смешанным питанием, длиной около 140 км, располагается на северо-западе Предкамья (Республика Татарстан), является левым притоком р. Волга (Куйбышевского водохранилища). Площадь водосбора составляет 2600

км². По гидрохимическому режиму относится к гидрокарбонатно-сульфатному типу вод кальциевого класса с повышенной минерализацией. Вдоль р. Казанка располагаются города (Казань и Арск) и малые населенные пункты. На территории водосбора находятся природные заказники, земли лесо- и сельскохозяйственного назначения. Ранее проведенные исследования по фитопланктону указывают, что сообщество преимущественно представлено синезелеными (цианопрокариотами, цианобактериями), зелеными и диатомовыми водорослями. В летнюю межень отмечается массовое развитие синезеленых водорослей [1–4].

Научный интерес вызывает поиск новых методов анализа пространственного распределения структуры фитопланктона, способов графического изображения гетерогенности сообщества. При районировании акваторий малых рек республики Татарстан авторами начата серия работ по применению компьютерной программы TPLA в анализе количественных показателей современного фитопланктона [5]. Известно, что первоначально программа, созданная Е.С. Grimm, была разработана для споро-пыльцевого анализа, в дальнейшем стала применяться в диатомовом анализе.

Цель данной работы – выявить закономерности пространственного распределения фитопланктона реки Казанки с применением алгоритмов компьютерной программы TPLA.

Материалом для работы послужили пробы фитопланктона, отобранные с поверхностного горизонта в летний период (в конце июня – в начале июля 2019 г.) на акватории длиной 62 км среднего и нижнего течения р. Казанка. Исследования проведены на участке от г. Арска (ниже места впадения реки Кисьмень) до устьевом участке реки в районе г. Казани, на 20 створах (рис. 1).

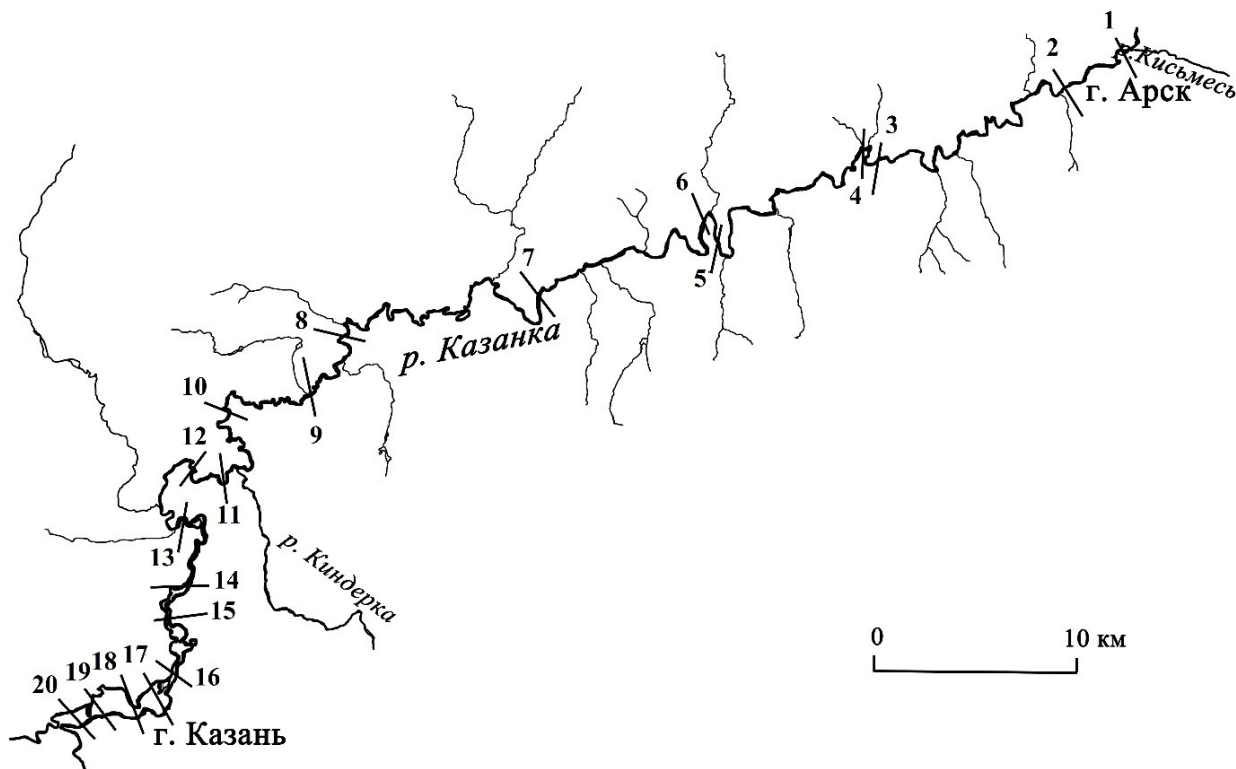


Рис. 1. Карта-схема расположения створов (1–20) на р. Казанка

Сбор и камеральная обработка материала проводилась по стандартным методикам [6]. Пробы, зафиксированные раствором Люголя, концентрированы прямой фильтрацией через мембранные фильтры «Владипор» №9 (0.4 мкм) с применением вакуумного насоса. Идентификация видов и подсчет численности проводились в камере Горяева. Для идентификации видовой принадлежности водорослей использованы определители серий «Определитель пресноводных водорослей СССР» (1951–1982 гг.) и «Süßwasserflora von Mitteleuropa» (1983–2005 гг.) и др. К доминирующим отнесены виды, численность или

биомасса которых составляла не менее 10% от общей, к субдоминантам – 5–10%. Характеристика трофического состояния акваторий дана по уровню биомассы фитопланктона [7]. Видовое разнообразие (индекс Шеннона) и выравненность обилия видов (индекс Пиелу) рассчитаны по численности [8]. Одновременно проведен отбор воды на химический анализ. Анализ данных выполнен в лаборатории эколога-аналитических измерений и мониторинга окружающей среды ИПЭН АН РТ. В качестве нормативных значений использованы предельно допустимые концентрации химических веществ рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}). Для оценки особенностей окружающего ландшафта р. Казанка использованы картографические данные по степени залесенности и антропогенной нагрузки, функциональному использованию земель [9].

Построение диаграмм численности и биомассы фитопланктона, демонстрирующих распределение доминирующих/субдоминирующих видов и таксономических групп вдоль реки, было проведено с помощью программы TILIA и TILIA Graph (<http://www.tiliait.com>). Выделение локальных зон сделано на основе кластерного анализа с использованием метода наименьших квадратов (CONISS) [10]. Для проверки выделенных зон с помощью TILIA пространственное распределение фитопланктона оценивали методом попарных сравнений на основе коэффициента Сёренсена. При кластеризации данных использовали метод Варда [8].

В планктоне реки Казанки отмечено 314 таксонов водорослей рангом ниже рода. Основу таксономического списка видов составили Chlorophyta (37%), Bacillariophyta (31%), Cyanoprokaryota (16%). Доля остальных групп (Cryptophyta, Chrysophyta, Charophyta, Euglenophyta и Dinophyta) не превышала 8%. Общая численность фитопланктона варьировала в пределах 0.8–93.7 млн кл./л, биомасса – 0.05–6.2 мг/л.

Анализ таксономических групп и доминирующего/субдоминирующего состава с применением программы TILIA показал неравномерное количественное распределение сообщества по количественным показателям вдоль реки (рис. 2, 3). Схожие результаты были получены при кластеризации этих данных методом Варда [2]. Сравнительный анализ двух методов в кластеризации данных, свидетельствует о возможности использования алгоритмов программы TILIA в оценке пространственного распределения речного фитопланктона.

С применением кластерного анализа методом наименьших квадратов выделено три основные акватории по структуре фитопланктона. В первый кластер (I) вошел водный участок реки в районе г. Арск и ниже по течению на 30 км в районе малых населенных пунктов (1–7 створы). По гидрохимическим показателям на данной акватории отмечается превышение концентраций по сульфатам (2ПДК_{рх}) и фосфатам (1.5ПДК_{рх}). Средняя температура воды составила 18.2±0.3°C, цветность – 13.4±1.0°, мутность – 8.4±0.5 ЕМФ, рН – 7.9±0.04. Уровень биомассы фитопланктона здесь соответствует мезотрофии (3.5±0.6 мг/л при численности 76.2±12.8 млн кл./л). Структура сообщества представлена преимущественно цианопрокариотами (65–94% от общей численности/биомассы) с преобладанием *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagnostidis et Komárek. Доля зеленых от общей биомассы не превышала 27%, диатомовых – 7%. Индекс видового разнообразия варьировал в пределах 0.65±0.32 бит/экз., индекс выравненности обилия – 0.20±0.17. Ландшафтная структура прилегающей территории акватории характеризуется от умеренной до сильной степени нагрузки, наличием селитебных территорий и земель сельскохозяйственного значения, залесенностью до 20%.

Во второй кластер (II) объединились створы (8–17), расположенные в районах природных заказников и территорий лесохозяйственного назначения (Высокогорское лесничество). По гидрохимическим показателям на данной акватории отмечается превышение концентраций по сульфатам (5.7ПДК_{рх}). Содержание биогенных элементов не превышает допустимые концентрации. По сравнению с другими участками (I и III кластерами) средняя температура воды здесь прохладнее на 1–2 градуса (17.4±0.6°C). Снижаются показатели цветности (11.9±0.9°) и мутности (6.2±0.5 ЕМФ). Водородный показатель не изменился и составил 7.9±0.03. Уровень биомассы продолжает

соответствовать мезотрофии (4.2 ± 0.6 мг/л), численность падает на порядок (16.1 ± 0.9 млн кл./л). В районе 7 и 8 створов отмечается смена доминирующих отделов в структуре фитопланктона от доминирования цианопрокариот к преобладанию диатомовых и зеленых водорослей. В составе Chlorophyta, доля которых от общей биомассы составила до 64%, преобладают виды р. *Dictyosphaerium*, *Didymocystis*, *Coelastrum*, *Chlamydomonas*, *Pediastrum* и *Carteria*; диатомовых (до 46%) – *Stephanodiscus* sp., *Cyclotella* sp., *Melosira* sp. Обилие цианобактерий значительно снизилось (до 22%), доминантом продолжает оставаться *Planktothrix agardhii*. Изменение структуры сообщества привело к увеличению индекса видового разнообразия (3.41 ± 0.10 бит/экз.), индекса выравненности (0.72 ± 0.01). Ландшафтная структура вокруг р. Казанка в районе створов 8–17 характеризуется высокой залесенностью (20–50% и более), умеренной и средней антропогенной нагрузкой, наличием земель лесохозяйственных и сельскохозяйственных назначений.

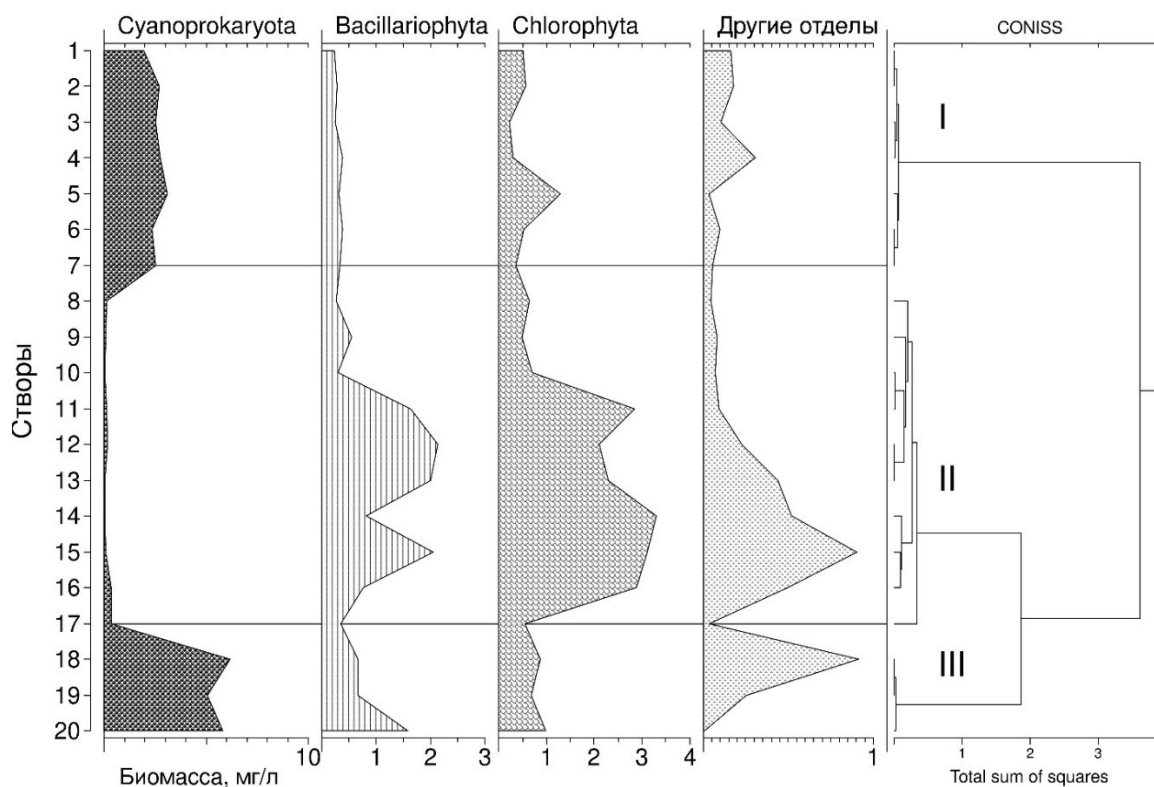


Рис. 2. Распределение таксономических групп по створам р. Казанка

В третий кластер (III) вошел устьевой участок реки в черте г. Казань (18–20). Здесь отмечается прогрев температуры воды до $19.8 \pm 0.1^\circ\text{C}$, что на $2\text{--}3^\circ\text{C}$ выше, чем на других выделенных участках. В пределах города увеличивается цветность воды ($20.8 \pm 2.6^\circ$) и снижается мутность (1.4 ± 0.1 ЕМФ). По гидрохимическим показателям превышение отмечено по сульфатам (5.1 ПДК_{рх}). В черте города доминирующий комплекс фитопланктона представлен преимущественно монодоминирующим видом цианобактерий – *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault. Вклад цианобактерий в сложении общей численности/биомассы возрос и составил 57–92%. Доля диатомовых и зеленых в сообществе значительно падает (до 10% от общей). Индексы видового разнообразия и выравненности по сравнению с предыдущим выделенным участком речной акватории снизились и варьировали в пределах 1.72 ± 0.27 бит/экз. и 0.41 ± 0.05 . Ландшафтная структура в черте города представлена селитебной территорией, характеризуется сильной степенью нагрузки, залесенностью менее 2%.

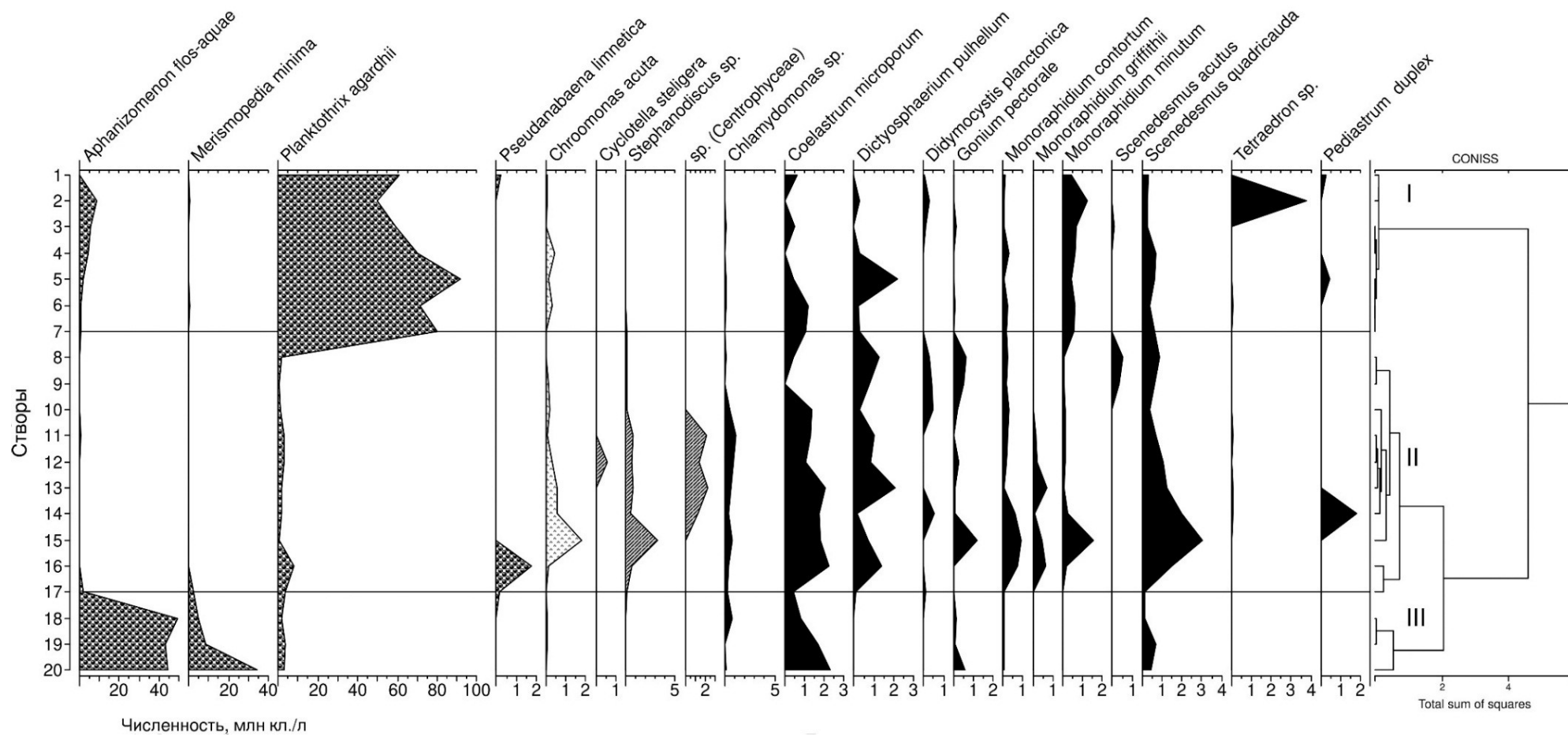


Рис. 3. Распределение доминирующих и субдоминирующих видов по створам р. Казанка

Таким образом, с использованием алгоритмов программы TILIA проведен анализ пространственного распределения фитопланктона р. Казанка, выделены водные участки, различающиеся по количественным показателям таксономических групп, доминирующих/субдоминирующих видов. Проведено экологическое районирование водотока по гидрохимическим показателям, картографическим сведениям окружающего ландшафта.

Список литературы:

1. Абрамова К.И., Токинова Р.П. Морфофункциональные группы фитопланктона Казанского залива // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. Том 4 (70). 2018. – № 3. – С. 15–25.
2. Абрамова К.И., Токинова Р.П. Пространственное распределение цианобактерий в фитопланктоне реки Казанки // Российский журнал прикладной экологии. 2023. – № 1. – С. 21–27.
3. Абрамова К.И., Токинова Р.П., Водунон Н.Р., Шагидуллин Р.Р. Анализ корреляционной связи между развитием фитопланктона и кислородным режимом устьевой области реки // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. – № 5. – С. 20–31.
4. Абрамова К.И., Токинова Р.П., Шагидуллин Р.Р. Анализ связи фитопланктона с содержанием фенолов в устьевой области реки Казанки (г. Казань) // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. – № 137. – С. 38–46.
5. Абрамова К.И., Токинова Р.П. Использование алгоритмов компьютерной программы TILIA для анализа пространственного распределения структуры речного фитопланктона (на примере малых рек Татарстана) // Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии. Материалы VII Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Владивосток, Россия, 16–20 сентября 2024 г.). С. 13.
6. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. Под ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. – 240 с.
7. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. 1990. 184 с.
8. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
9. Мозжерин В.И., Ермолаев О.П., Мозжерин В.В. Река Казанка и ее бассейн. Казань: Orange key, 2012. 280 с.
10. Grimm E.C. CONISS: a FORTRAN 77 program for stratigraphically constrained cluster analysis by the method of incremental sum of squares // Computer & Geosciences. 1987. – V. 13. Iss. 1. – P. 13–35. [https://doi.org/10.1016/0098-3004\(87\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0098-3004(87)90022-7).

ASSESSMENT OF SPATIAL DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON OF THE KAZANKA RIVER (REPUBLIC OF TATARSTAN, KAZAN) USING THE COMPUTER PROGRAM TILIA

Ksenia I. Abramova, Rimma P. Tokinova

Annotation. The spatial distribution of phytoplankton of the Kazanka River was assessed using algorithms of the computer program TILIA. Water areas were identified according to the quantitative development of taxonomic groups, dominant and subdominant species. Uneven distribution of phytoplankton structure along the river, including blue-green, diatom and green algae, was established. Ecological zoning of the watercourse according to hydrochemical data and cartographic information of the surrounding landscape was carried out.

Key words: phytoplankton, spatial distribution, ecological zoning, TILIA program, Kazanka River.