Трансформация экосистем
Ecosystem Transformation

ISSN 2619-0931 Online
www.ecosysttrans.com

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-240610
EDN: https://elibrary.ru/vprvrq
УДК 574.58

Научная статья

Экологическое состояние водотоков на территории Кизеловского угольного бассейна (Россия, Пермский край) по характеристикам фитопланктона

П.Г. Беляева[1, 2]

[1] *Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, 614081, Россия, г. Пермь, ул. Голева, д. 13*
[2] *Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО», 614002, Россия, г. Пермь, ул. Екатерининская, д. 32*

belyaeva@psu.ru

Аннотация. В работе приводятся первые данные о составе и количественных показателях развития фитопланктона рек Кизеловского угольного бассейна (Пермский край, Россия), загрязненных кислыми шахтными водами. Исследования проводились летом 2022 г. в реках Вильва, Полуденный Кизел, Восточный Кизел и Большая Гремячая. В результате самоизлива шахтных вод в реках произошло значительное закисление, увеличение минерализации и содержания тяжелых металлов в воде, что стало относительно новым видом антропогенного воздействия на их акватории. В ходе исследования выявлено, что в этих реках структура фитопланктона и набор доминирующих видов значительно отличаются от типичных для речных экосистем Пермского Предуралья. На станциях в зоне загрязнения выявлено значительное снижение видового богатства фитопланктона. Установлено, что разнообразие фитопланктона рек определяли диатомовые (33% общего числа таксонов), зеленые (17%), эвгленовые водоросли (14%) и цианопрокариоты (13%). Сходство видового состава водорослей на разных станциях изученных рек невысокое. По численности в фитопланктоне преобладали цианопрокариоты (66–99% от общей численности), по биомассе – водоросли разных отделов. Доминантный комплекс фитопланктона представлен небольшим набором видов, специфичным для каждой реки. Характерной чертой развития фитопланктона была высокая изменчивость общей численности и биомассы, что свидетельствует о неустойчивом состоянии сообществ.

Ключевые слова: планктонные водоросли, загрязненные реки, антропогенная трансформация, разнообразие, биомасса, численность шахтные воды

Финансирование. Работа выполнена в соответствии с государственным заданием № 124020500028-4 «Биоразнообразие микроорганизмов антропогенно загрязненных экосистем и функционально-генетические механизмы их адаптации к стрессовым условиям окружающей среды».

ORCID:
П.Г. Беляева, https://orcid.org/0000-0001-6741-0424

Для цитирования: Беляева, П.Г., 2025. Экологическое состояние водотоков на территории Кизеловского угольного бассейна (Россия, Пермский край) по характеристикам фитопланктона. *Трансформация экосистем* **8** (4), 138–155. https://doi.org/10.23859/estr-240610

Поступила в редакцию: 10.06.2024
Принята к печати: 25.11.2024
Опубликована онлайн: 28.11.2025

DOI: https://doi.org/10.23859/estr-240610
EDN: https://elibrary.ru/vprvrq
UDC 574.58

Article

Ecological state of watercourses in the Kizelovsky coal basin (Perm Krai, Russia) assessed by phytoplankton pharacteristics

P.G. Belyaeva[1, 2]

[1] *Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Perm Federal Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Goleva St. 13, Perm, 614081 Russia*

[2] *Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Perm Branch, Ekaterininskaya St. 32, Perm, 614002 Russia*

belyaeva@psu.ru

Abstract. The first data on the composition and quantitative development of phytoplankton is presented for the rivers of the Kizelovsky Coal Basin (Perm Krai, Russia) contaminated with acidic mine drainage. The studies were conducted in the summer of 2022 in the rivers Vil'va, Poludenniy Kizel, Vostochniy Kizel, and Bolshaya Gremyachaya. As a result of the unregulated mine discharge, the rivers have experienced significant acidification, high mineralization, and increased heavy metal content, caused by a relatively new type of anthropogenic impact in these areas. The study revealed that the phytoplankton structure and dominant species in these rivers differ significantly from those typical of river ecosystems in the Perm Cis-Urals. A significant decrease in phytoplankton species richness was observed at stations in the contaminated zone. The diatom species made the most of the phytoplankton diversity (33%), followed by green algae (17%), euglenoids (14%), and cyanoprokaryotes (13%). The phytoplankton similarity was low at different stations of the studied rivers. Cyanoprokaryotes dominated in phytoplankton by abundance (66–99% of the total abundance), microalgae of various divisions, by biomass. The dominant phytoplankton complex was represented by a small set of species specific to each river. High variability in total abundance and biomass was a characteristic feature of phytoplankton, indicating an unstable state of the communities.

Keywords: planktonic algae, polluted rivers, anthropogenic transformation, diversity, biomass, abundance, mine waters

Funding. The work was carried out in accordance with the State Assignment no. 124020500028-4 “Biodiversity of microorganisms of anthropogenically polluted ecosystems and functional and genetic mechanisms of their adaptation to stressful environmental conditions.”

ORCID:
P.G. Belyaeva, https://orcid.org/0000-0001-6741-0424

To cite this article: Belyaeva, P.G., 2025. Ecological state of watercourses in the Kizelovsky coal basin (Perm Krai, Russia) assessed by phytoplankton pharacteristics. *Ecosystem Transformation* **8** (4), 138–155. https://doi.org/10.23859/estr-240610

Received: 10.06.2024
Accepted: 25.11.2024
Published online: 28.11.2025

Введение

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) входит в состав Западно-Уральского угольного бассейна. Он вытянут на 150 км от севера к югу (от г. Александровска до г. Лысьвы), его площадь составляет около 200 км^2. Пласты каменного угля залегали среди терригенных отложений визейского яруса нижнего карбона, представленных в основном песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Наличие угля в КУБ было установлено в 1783 г., а с 1797 г. началась его добыча; максимальное количество угля (12 млн тонн в год) добывалось здесь в конце 1950-х гг. В конце 1990-х гг. из-за нерентабельности началась ликвидация шахт (Имайкин, 2014; Максимович и Пьянков, 2018).

Одной из самых острых экологических проблем Пермского края является ликвидация последствий деятельности угольных предприятий на территории Кизеловского бассейна. С остановкой добычи угля и связанного с этим самоизлива шахтных вод в 2002 г. началось загрязнение речных вод. При этом среднее содержание многих тяжелых металлов в углях КУБ превышает средние концентрации по угольным месторождениям СНГ (Максимович и Пьянков, 2018). Поэтому в ряде случаев загрязнение поверхностных и подземных вод тяжелыми металлами делает их непригодными для хозяйственно-питьевого, а иногда и технического водоснабжения. В настоящее время существует более 12 участков самоизлива шахтных вод на поверхность. Шахтные воды поступают в 19 рек, 15 из которых практически выведены из водопользования (Имайкин и Имайкин, 2022; Максимович, 2004). Высокоминерализованные (до 61.6 г/л) шахтные воды при низких значениях pH (4–5) характеризуются аномально высоким содержанием сульфатов (700–1400 мг/л), железа (250–430 мг/л), алюминия (29–54 мг/л) и др. (Максимович и др., 2006). Попадая в реки, эти стоки не только ухудшают качество воды, но и повышают риск деградации речных экосистем. Кислые шахтные воды также увеличивают мутность речной воды и вызывают осадконакопление в руслах рек. Загрязнение поверхностных вод идет по цепочке от притоков 4-го порядка до р. Камы. Даже для крупных рек, таких как Косьва и Вильва, постоянно наблюдаются высокие и экстремально высокие уровни загрязнения воды по концентрации общего железа (Имайкин и Имайкин, 2022; Максимович, 2004). В воде р. Вильвы содержание общего железа превышало 200 ПДК, что соответствует уровню экстремально высокого загрязнения реки рыбохозяйственного назначения (Максимович и Пьянков, 2018). Мощное влияние самоизлива и в настоящее время распространяется до самого устья р. Вильвы и далее полосой вдоль левого берега р. Усьвы, где также наблюдается ржавый оттенок речной воды и ржавый налет на гальке, слагающей дно и берега (Имайкин и Имайкин, 2022).

Известно, что таксономический состав, разнообразие и уровень количественного развития фитопланктона являются основными показателями состояния водных экосистем. Из-за чувствительности микроводорослей к изменениям окружающей среды и их коротким временем генерации фитопланктон часто используют как индикатор качества воды (Busseni et al., 2019; Marvaetal et al., 2014; Niyogi et al., 2002; Parparov et al., 2015). Однако, несмотря на загрязнение малых (Полуденный Кизел, Восточный Кизел, Большая Гремячая) и средних рек (Вильва) техногенными шахтными водами Кизеловского бассейна, изучение фитопланктона в них ранее не проводилось.

Цель работы заключалась в определении особенностей и сравнительной оценке видового состава и количественных характеристик фитопланктона некоторых рек, расположенных на территории Кизеловского угольного бассейна в зоне влияния угольных шахтных вод.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили данные по фитопланктону, полученные в июле 2022 г. в ходе полевых исследований среднего течения р. Вильва и малых рек Полуденный Кизел, Восточный Кизел и Большая Гремячая на участках, расположенных выше (фоновый участок) и ниже (загрязненный участок) изливов шахтных вод (Рис. 1, 2, 3). В местах отбора проб определяли: температуру воды и водородныйпоказатель (pH) с использованием анализатора (Hanna 98127), скорость течения замеряли методом «поплавка», ширину русла дальномером, глубину – прямыми замерами. В связи с небольшими глубинами (0.2–0.7 м) и отсутствием стратификации водных масс в исследуемых реках пробы фитопланктона объемом 1 л отбирали в прибрежных зонах зачерпыванием из подповерхностного горизонта воды, затем фиксировали раствором Люголя с добавлением формалина. Всего было отобрано 24 количественные пробы: по 6 на каждой реке (3 выше и 3 ниже впадения шахтных вод); станции расположены в 10 м друг от друга. Участки рек были выбраны в связи с их доступностью и расположением изливов шахтных вод. Пробы концентрировали методом фильтрации через мембранные фильтры «Владипор» с диаметром пор 1.2–3.0 мкм.

Для определения видового состава водорослей использовали световой микроскоп ZEISS (Axiostar Plus, Германия). Определение видового состава водорослей проводили с использованием зарубежных и отечественных определителей, приведенных ранее в работе П.Г. Беляевой (2024). Номенклатура выявленных видов приведена по международной базе данных Algaebase (Guiry and Guiry, 2023). В общее число таксонов включены несколько представителей, определенных до рода. Для сравнения степени сходства видового состава фитопланктона применяли коэффициент Серенсена–Чекановского (Мэгарран, 1992). По его величинам проведена кластеризация данных методом Варда в программе Excel 2010, пакет R (Новаковский, 2016).

Количественный учет фитопланктона и определение размеров клеток проводили в камере «Учинская» объемом 0.01 см^3. Биомассу фитопланктонных организмов вычисляли стандартным счетным объемно-весовым методом (Методика..., 1975). Доминирующими считали виды с биомассой или численностью ≥10% от общей биомассы/численности всех видов сообщества фи-

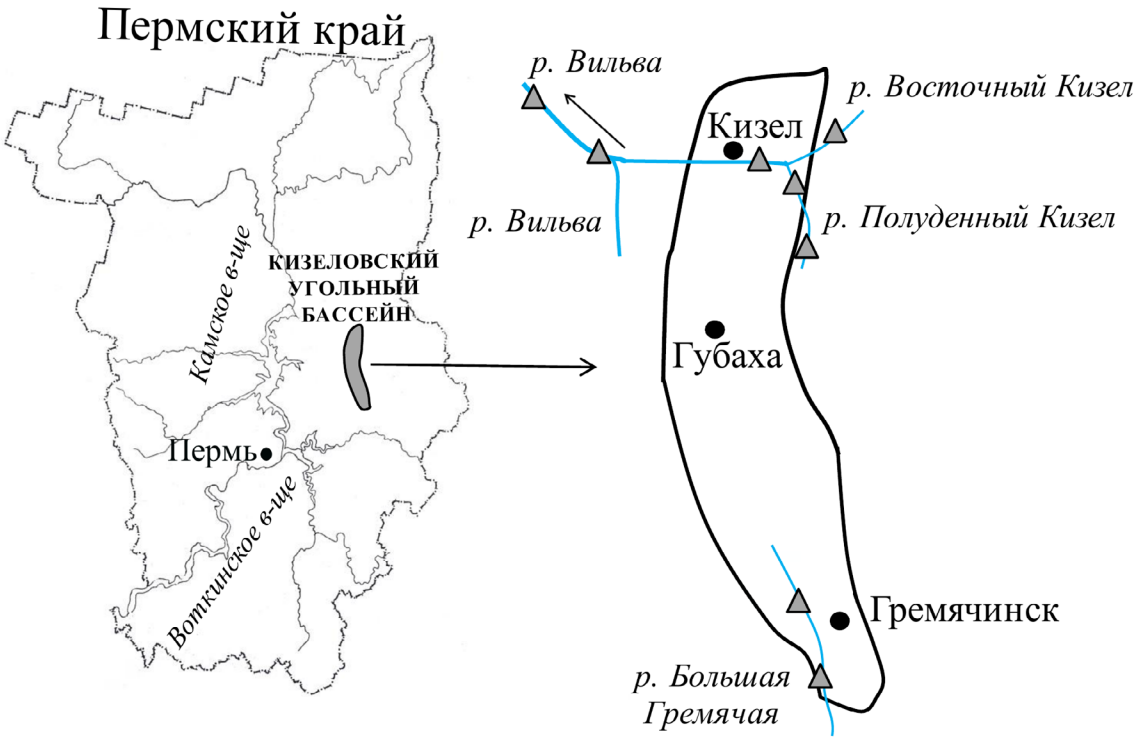

Рис. 1. Карта-схема отбора проб в реках Кизеловского угольного бассейна.

Рис. 2. Изливы шахтных вод рядом с р. Восточный Кизел.

Рис. 3. Места отбора проб в реках Кизеловского угольного бассейна выше и ниже впадения шахтных вод: **A** – устье р. Большая Гремячая; **B** – р. Вильва ниже впадения р. Полуденный Кизел.

топланктона. Для каждой пробы по численности и биомассе фитопланктона вычисляли индекс видового разнообразия Шеннона-Уивера (Шитиков и Розенберг, 2005).

Эколого-географическая характеристика водорослей составлена по наиболее разработанным системам, принятым в экологии и биогеографии водорослей (Давыдова, 1985; Прошкина-Лавренко, 1953; Marvan et al., 2005; Sladeček, 1973).

Для оценки степени органического загрязнения вод применяли метод Пантле и Букка в модификации Сладечека (Pantle and Buck, 1955; Sladeček, 1973).

Результаты и обсуждение

В период исследования температура воды в местах отбора проб была максимальна в р. Большая Гремячая (18.2–23.7 С°), в других реках варьировала от 14.6 до 17.3 С°. Средняя скорость течения в малых реках изменялась от 0.10 до 0.24 м/с, в р. Вильве – 0.20–0.56 м/с. Ширина рек в местах отбора проб варьировала от 3 до 15 м. Показатель pH и содержание тяжелых металлов в воде значительно различались между реками (Табл. 1). Берега рек преимущественно низкие, заросшие лесом или травянисто-кустарниковой растительностью. Грунты в реках галечные и валунно-галечные с песком, глиной и растительными остатками.

В фитопланктоне изученных рек идентифицировано 72 видовых и внутривидовых таксона водорослей (9 определены до рода), относящихся к 47 родам, 33 семействам, 22 порядкам, 8 отделам, в том числе: Cyanoprokaryota – 9, Chrysophyta – 6, Bacillariophyta – 24, Xantophyta – 3, Dinophyta –3, Euglenophyta – 10, Chlorophyta – 12, Charophyta (Desmidiales) – 5 (Табл. 2, Рис. 4). Наибольшим видовым богатством отличался отдел Bacillariophyta, формирующий 33% общего числа таксонов. Наряду с диатомовыми водорослями господствующее положение по числу представителей занимали отделы Chlorophyta, Euglenophyta и Cyanoprokaryota: на их долю приходилось 17, 14 и 13% соответственно. 41.7% родового спектра составляли представители *Monoraphidium*, *Euglena*, *Nitzschia* (по 5.5%), а также *Eunotia*, *Tribonema*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Achnanthidium* и *Phacus* (по 4.1%).

На участках рек, испытывающих влияние шахтных вод, выявлено 13 таксонов из 4 отделов: Cyanoprokaryota (роды *Planktolyngbya*, *Anathece*, *Cyanodictyon*), Chlorophyta (*Stigeoclonium*, *Microspora*), Euglenophyta (*Euglena*, *Lepocinclis*, *Petalomonas*) и Xantophyta (*Tribonema*). Значительное снижение разнообразия альгоценозов под влиянием шахтных вод угольной промышленности отмечалось и в других исследованиях (Luís et al., 2013, Valente et al., 2016; Verb and Vis, 2005). В р. Полуденный Кизел в районе излива шахтных вод и в р. Вильва ниже его впадения фитопланктон отсутствует.

Табл. 1. Морфометрические и химические параметры рек Кизеловского угольного бассейна. * –по: Максимович и Пьянков, 2018; ** –$ПДК_{р/х}$[1].

Река	Площадь бассейна*, км^2	Длина реки*, км	Ширина в месте отбора, м	Скорость течения, м/с	pH	Содержание тяжелых металлов в воде*, мг/дм^3		
						$Fe_{общ.}$ (0.3)**	Al (0.5)**	Mn (0.1)**
Большая Гремячая	51.8	17	3–5	0.18–0.24	2.8–4.7	16.5–344	2.8–24.0	0.27–3.1
Полуденный Кизел	82.3	17	5–7	<0.1	2.1–4.7	59–105	4.4–5.9	1.3–16.0
Восточный Кизел	218	24	7–10	0.17–0.22	3.2–5.4	8–233	1.0–50.0	0.15–5.5
Вильва	1180	107	12–15	0.20–0.56	6.3–7.5	0.5–6.9	0.06–1.6	0.1–0.49

[1] Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Табл. 2. Таксономическая структура фитопланктона рек Кизеловского угольного бассейна.

Отдел	Порядок	Семейство	Род	Вид	Внутри-видовые таксоны	Таксоны, идентифициро-ванные до рода	Всего	% от общего числа видов
Cyanoprokaryota	5	7	8	7	1	1	9	13
Chrysophyta	1	2	4	5	0	1	6	8
Bacillariophyta	8	11	13	21	1	2	24	33
Xantophyta	1	1	1	3	0	0	3	4
Euglenophyta	1	2	5	9	0	1	10	14
Chlorophyta	3	6	8	9	1	2	12	17
Charophyta	1	2	5	4	0	1	5	7
Dinophyta	2	2	3	2	0	1	3	4
Итого	**22**	**33**	**47**	**60**	**3**	**9**	**72**	**100**

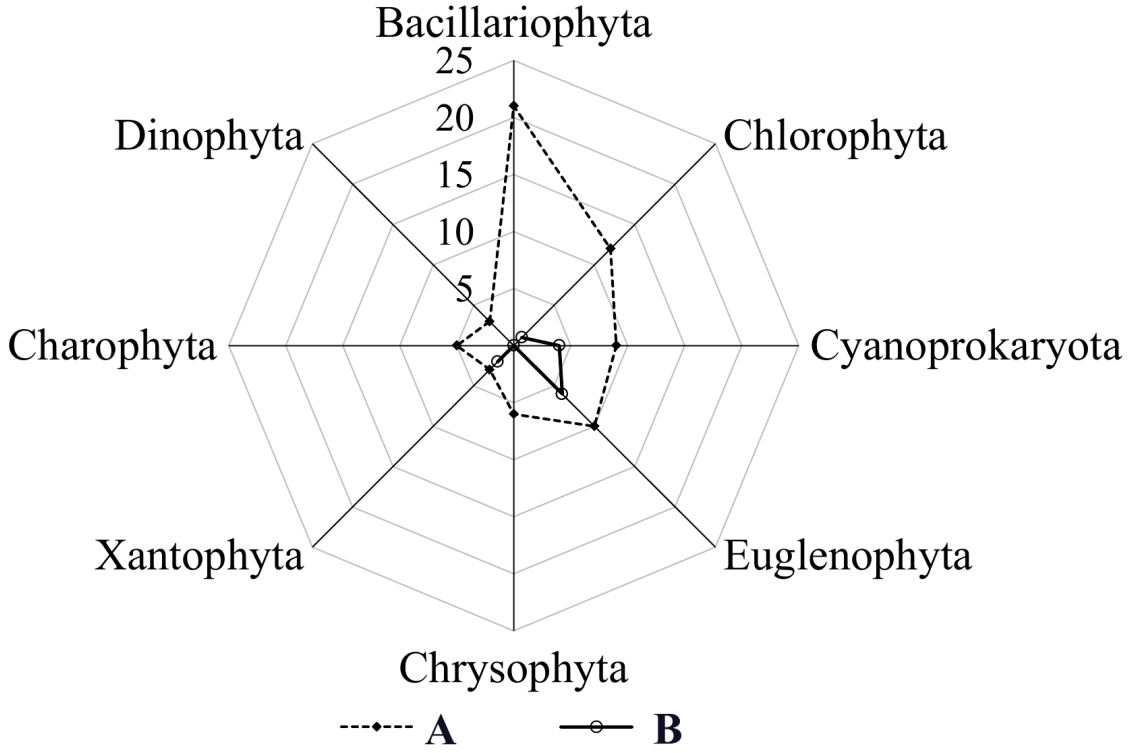

Рис. 4. Видовой состав фитопланктона фоновых (**A**) и загрязненных (**B**) участков рек Кизеловского угольного бассейна.

Удельное видовое богатство фитопланктона (УВБ), то есть число видов в пробе, в изученных реках КУБ варьировало от 4 до 32 видов, разновидностей и форм водорослей. На участках рек Восточный и Полуденный Кизел, расположенных выше стока шахтных вод УВБ – 26±4 вида, в р. Большая Гремячая – в 3 раза ниже. Наименьшее УБВ характерно для станций ниже впадения стоков с шахт – 5±1 видов.

Коэффициенты сходства фитопланктона между станциями отбора проб в изучаемых реках в целом были низкими и находились в пределах 0.06–0.50. Наибольшее сходство видового состава фитопланктона отмечено между загрязненными станциями р. Вильва и р. Большая Гремячая, наименьшее – между р. Вильва (в зоне загрязнения) и р. Полуденный Кизел (участок выше загрязнения). На полученной дендрограмме выявлено 2 кластера (альгоценозы выше и в зоне загрязнения), что определяется специфичностью видового состава фитопланктона на загрязненных участках рек (Рис. 5).

Индекс видового разнообразия фитопланктона изучаемых рек колебался от 0.06 до 2.66 (среднее 1.51 ± 0.34) по численности и от 0.20 до 3.90 по биомассе (среднее 2.33 ± 0.35). Индекс Шеннона на участках рек, загрязненных стоками шахт (0.74 и 1.72 по биомассе и численности соответственно) был значительно ниже, чем на фоновых (2.28 и 2.94). Минимальные значения индекса в реках Большая Гремячая и Вильва ниже источников загрязнения связано с особенно сильной техногенной нагрузкой и указывает на значительное упрощение структуры фитопланктона, насчитывающего только 2–4 представителя (Табл. 3).

В изученных водотоках КУБ на участках, расположенных выше впадения шахтных вод, практически повсеместно распространены безгетероцистные цианопрокариоты – *Anathece bachmannii* Komárková-Legnerová et G. Cronb., *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) J. Komárková-Legnerová & G. Cronb. и диатомовые водоросли – *Eunotia bilunaris* (Ehrenb.) Mills, *Achnanthidium affine* (Grun.) Czarnecki. Часто встречаются диатомовые *Eunotia exigua* (Bréb. ex Kütz.) Rabenh. (встречаемость 85%), *Nitzschia sigma* (Kütz.) W. Smith (79%), *N. sublinearis* Hustedt (75%) и эвгленовая *Euglena proxima* P.A. Dangeard (83%). На загрязненных участках отмечены виды желто-зеленых водорослей *Tribonema viride* Pascher, *T. vulgare* Pascher, T. *ulotrichoides* Pascher, из эвгленовых – *Euglena pro-*

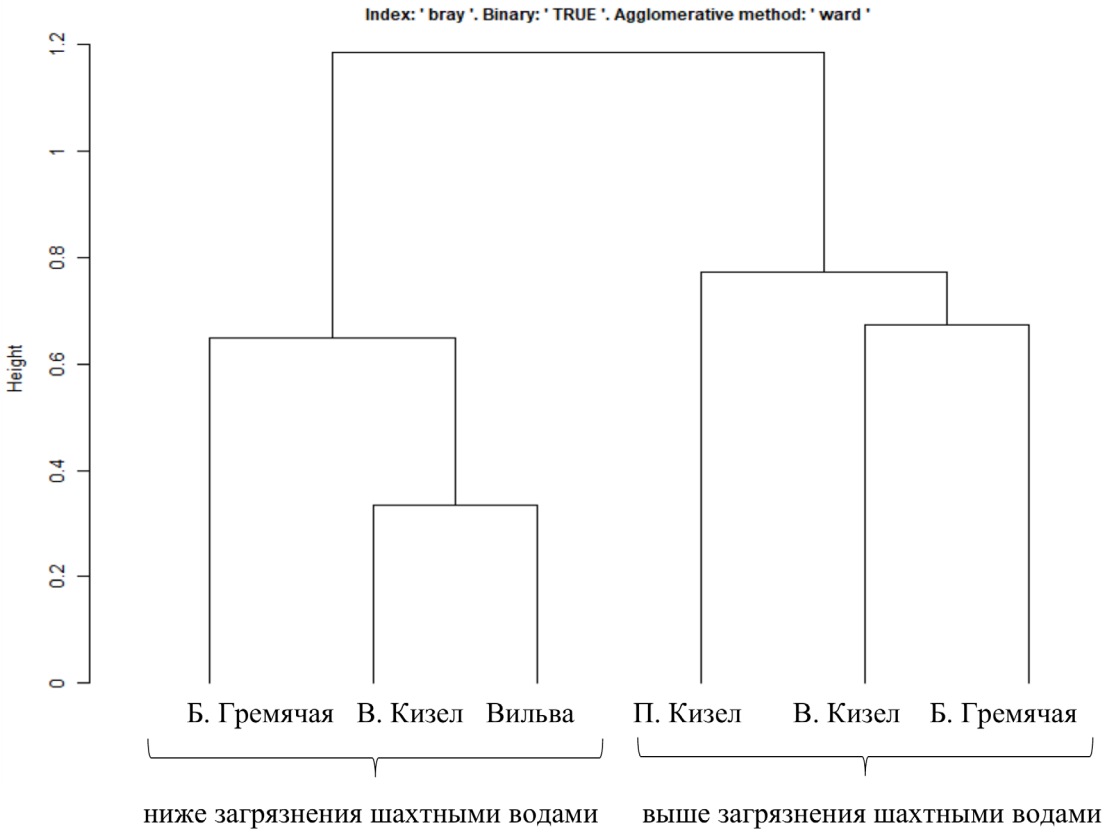

Рис. 5. Дендрограмма сходства видового состава фитопланктона исследованных рек Кизеловского угольного бассейна.

Табл. 3. Основные структурные характеристики фитопланктона рек Кизеловского угольного бассейна. Приведены средние величины со стандартной ошибкой; над чертой указаны индексы по численности, под чертой – по биомассе.

Водоток		Показатель			
		Численность, млн кл./л	Биомасса, мг/л	Индекс сапробности	Индекс Шеннона
р. Вильва	ниже впадения р. П. Кизел (участок ниже зоны загрязнения)	–	–	–	–
	среднее течение (участок ниже зоны загрязнения)	0.6 ± 0.20	0.02 ± <0.01	2.30 2.69	0.06 1.35
р. Восточный Кизел	участок выше загрязнения	0.4 ± 0.09	0.20 ± 0.07	1.70 2.03	2.66 2.14
	участок в зоне загрязнения	0.7 ± 0.12	0.06 ± 0.02	1.70 1.75	1.01 1.81
р. Полуденный Кизел	участок выше загрязнения	6.0 ± 0.17	0.16 ± 0.10	1.73 2.03	2.04 3.90
	участок в зоне загрязнения	–	–	–	–
р. Большая Гремячая	участок выше загрязнения	10.2 ± 2.1	0.41 ± 0.09	1.56 0.96	2.14 2.78
	участок в зоне загрязнения	16.6 ± 2.9	25.31 ± 4.23	2.91 3.98	1.15 0.20

xima, E. deses (O.F. Müll.) Ehrenb. и *Lepocinclis ovum* (Ehrenb.) Lemm., из зеленых – *Stigeoclonium* sp. и *Microspora* sp. Очевидно, наличие этих видов связано с их возможностью развиваться при низких величинах pH (1–3) (Ветрова, 1993;Kelly, 1988; Verb and Vis, 2005), несмотря на оптимальный рост в среде, близкой к нейтральной (pH 7.0–7.8). В р. Кизел *Euglena proxima* отмечалась как многочисленный вид еще в 1931 г. (Таусон, 1947). В ручье Красный, в 50 м ниже впадения излива шахтных вод из шурфа шахты «Белый Спой», при pH 3–4, минерализации 0.1–0.2 г/л и высокой цветности воды в фитопланктоне были обнаружены представители отделов Xantophyta (*Tribonema vulgare*, *T. ulotrichoides*) и Euglenophyta (*Euglena* sp., *E. proxima*) (Беляева, 2022b).

Многочисленные исследования влияния кислых шахтных вод на альгоценозы продемонстрировали, что некоторые диатомовые водоросли являются хорошими индикаторами сред с низким pH (1.9–4.2) (Verb and Vis, 2005; Whitton et al., 2000; Zalack et al., 2010). Наиболее часто в качестве таких представителей отмечают виды родов *Eunotia* (*E. exigua* – ацидобионт, наиболее распространенный вид в реках, загрязненных шахтными водами угольной промышленности, *E. tenella* (Grun.) Cl*., E. septentrionalis* Østrup*, E. osoresanensis* Negoro*, E. arcus* Ehrenb*., E. glacialis* Meister*, E. pectinalis* (Dilwyn) Rabh.)*, Pinnularia* (*P. subcapitata* Gregory, *P. acoricola* Hustedt, *P. acidophila* G.Hofmann & Krammer, *P. aljustrelica* A.Luís, S.F.P.Almeida & Ector, *P. obscura Krasske, P. braunii var. amphicephala* (Grun.) Cl*., P. subcapitata* Gregory*, P. terminitina (Ehrenb.) R.M.Patrick), Nitzschia* (*N. hantzschiana* Rabenh., *N. subcapitellata* Hustedt, *N. communis* Rabenh*., N. pusilla* Grun*., N. vasta* Hustedt*) u Achnanthidium minutissimum* Kütz. (Aguilera, 2013; Dong et al., 2015; Luís et al, 2013, 2016; Rivera et al, 2019; Urrea-Clos and Sabater, 2009; Valente et al., 2016; Zalack et al., 2010). Некоторые исследователи дополнительно указывают развитие видов *Fragilaria capucina* Desmazières и *F. rumpens* (Kütz.) G.W.F. Carlson, *Frustulia rhomboids* (Ehrenb.) De Toni, *F. rhomboides* var. *saxonica*

(Rabenh.) De Toni (Ferreira da Silva et al., 2009). Из других отделов водорослей наиболее часто упоминаются *Microspora* Thuret, *Euglena mutabilis* F.Schmitz, *E. proxima*, *Mougeotia* C.Agardh., *Klebsormidium flaccidum (*Kütz.) P.C.Silva, Mattox & W.H.Black *(*Amaral-Zettler et al., 2002; Verb and Vis, 2001).

Для фитопланктона на всех исследованных участках рек КУБ характерно преобладание планктонных (51%) и бентосных (25%) видов, большинство из которых являются космополитами (85%) или бореальными видами (12%). По отношению к pH среды наиболее разнообразны индифференты (72%) при высоком количестве алкалифилов (22%), присутствие которых является следствием естественной слабощелочной (pH 7.8–8.8) реакции рек Пермского Предуралья (Беляева, 2022b). Ацидофилы составляют 4% и представлены *Pinnularia borealis* Ehrenb., *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kütz., *Eunotia bilunaris* и *E. exigua*. По отношению к солености воды доминируют индифференты – 79%, галофобы составляют 9%. Небольшую группу (по 6%) образуют галофилы (*Planktolyngbya limnetica*, *Oscillatoria tenuis* C. Agardh ex Gomont, *Anathece clathrata* (West et G.S. West) Komárek, Kaštovský & Jezberová) и мезогалобы (*Nitzschia sigma*, *N. sublinearis*, *Euglena proxima, E. deses* (O.F. Müll.) Ehrenb., *E. viridis* (O.F. Müll.) Ehrenb., *Euglenaria caudata* (E.F.W. Hübner) Karnkowska-Ishikawa et E.W. Linton), иногда достигающие значительного количества по всей акватории и или даже входящие в комплекс доминирующих видов.

Основу численности фитопланктона изученных рек формировали безгетероцистные цианопрокариоты (от 66% до 99% от общей). Вклад водорослей разных отделов в структуру биомассы варьировал: для большинства рек отмечено преобладание эвгленовых водорослей (27–99%), на участках выше впадения шахтных вод в фитопланктоне также развивались диатомовые водоросли (8–30%). В р. Восточный Кизел до впадения шахтных вод 65% биомассы формировали представители Charophyta, представленные десмидиевыми водорослями, ниже по течению развитие получили нитчатые зеленые водоросли (61%); в р. Полуденный Кизел 37% биомассы создавали виды рода *Tribonema* (Рис. 6). Общая численность и биомасса фитопланктона в изученных реках характеризовалась широким размахом значений (Табл. 3). Минимальные показатели численности и биомассы фитопланктона отмечены в рр. Вильва и Восточный Кизел, максимальные – в р. Большая Гремячая на участке ниже впадения шахтных вод за счет массового развития эвгленовых водорослей. В литературе также описаны значительные колебания численности и биомассы фитопланктона как в водотоках, загрязненных шахтными водами (Kelly, 1988; Niyogi et al, 2002; Verb and Vis, 2005), так и в водотоках урбанизированных районов в целом (Беляева, 2022a; Кадочникова и Беляева, 2017; Турьянова, 2006; Уманская и др., 2018 и др.).

В исследуемых реках даже на фоновых участках доминировали представители эвгленовых, желто-зеленых водорослей и цианопрокариот, а диатомовые водоросли, в целом характерные для рек Предуралья, среди доминантных видов отсутствовали (Табл. 4). При поступлении промышленных и коммунально-бытовых стоков в малых водных объектах, расположенных на территории Пермского края, отмечается увеличение количественного развития альгоценозов и доли безгетероцистных цианопрокариот. При усилении антропогенного воздействия развиваются виды, характерные для

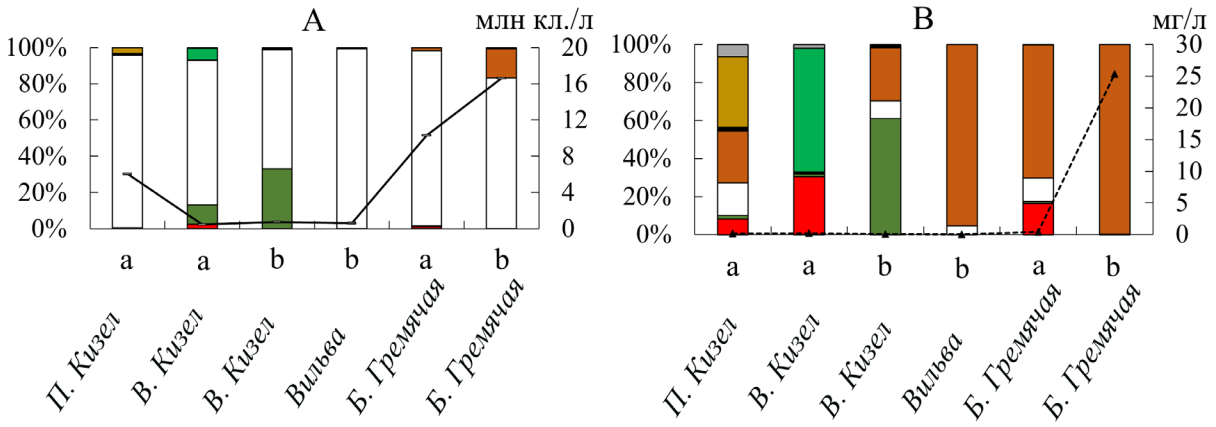

Рис. 6. Вклад отделов водорослей в структуру фитопланктона на разных участках рек Кизеловского бассейна в июле 2022 г. 1 – Bacillariophyta, 2 – Chlorophyta, 3 – Cyanoprokaryota, 4 – Euglenophyta, 5 – Chrysophyta, 6 – Xantophyta, 7 – Charophyta (Desmidiales), 8 – Dinophyta. **A** – численность фитопланктона, сплошная линия; **B** – биомасса фитопланктона, пунктирная линия. a – фитопланктон фоновых, b – загрязненных участков рек.

Табл. 4. Состав доминантных видов фитопланктона рек Кизеловского угольного бассейна. В скобках приведен % от общей численности или биомассы фитопланктона.

Водоток	Доминирующие виды	
	По численности	По биомассе
р. Вильва, участок ниже зоны загрязнения	*Anathece clathrata* (89) *Planktolyngbya limnetica* (10)	*Lepocinclis ovum* (56) *Euglena deses* (36)
р. Восточный Кизел, выше загрязнения	*Anathece clathrata* (40) *Planktolyngbya limnetica* (26) *Planktolyngbya contorta* (Lemm.) Anagn. et Komárek (13)	*Staurastrum striolatum* (Nägeli) W. Archer (63) *Pinnularia borealis* (12)
р. Восточный Кизел, в зоне загрязнения	*Planktolyngbya limnetica* (66)	*Stigeoclonium* sp. (60) *Euglena proxima* (12)
р. Полуденный Кизел, выше загрязнения	*Anathece bachmannii* (57)	*Tribonema viride* (19) *T. vulgare* (11) *Trachelomonas planctonica* Svirenko (14)
р. Большая Гремячая, выше загрязнения	*Cyanodictyon* sp. (36) *Anathece clathrata* (29) *Planktolyngbya contorta* (19) *Planktolyngbya limnetica* (11)	*Euglena proxima* (38) *Lepocinclis ovum* (30)
р. Большая Гремячая, в зоне загрязнения	*Cyanodictyon* sp. (75)	*Lepocinclis ovum* (96)

высокосапробных вод, возрастает роль эвгленовых и зеленых водорослей. При чрезмерном антропогенном воздействии происходит угнетение альгоценозов, или же они не развиваются (Беляева, 2022b). Несмотря на высокую минерализацию шахтных вод (1.5–2.0 г/л), повышенная минерализация вод в реках на территории КУБ согласно классификации О.А. Алекина (1970) соответствует водам с относительно повышенной минерализацией (до 1000 мг/л), и ее нельзя рассматривать как экстремальную. На это обращают внимание и другие исследователи (Горохова и Зинченко, 2014; Комулайнен и др., 2021). В наших исследованиях отсутствие альгоценозов отмечено непосредственно ниже впадения высокоминерализованных шахтных вод в р. Полуденный Кизел и сохраняется при его впадении в р. Вильва и далее по течению на значительное расстояние. Очевидно, отсутствие водорослей здесь обусловлено как химическими факторами, так и наличием большого количества минеральных и взвешенных веществ, которые значительно увеличивают цветность воды, снижают прозрачность и освещенность (Рис. 3). Кроме того, в водотоках на территории КУБ на развитие микроводорослей влияет температура воды: коэффициенты корреляции составляют 0.83 ($p \leq 0.01$) для численности и 0.92 ($p \leq 0.004$) для биомассы фитопланктона соответственно.

Заключение

Приведены первые сведения о фитопланктоне водотоков на территории Кизеловского угольного бассейна. Анализ таксономического состава, соотношения эколого-географических групп и количественного развития фитопланктона позволил выделить участки рек, в разной степени подверженных антропогенному влиянию. В сообществах фитопланктона выявлено невысокое богатство видов, которое снижалось с увеличением степени загрязнения. Ключевое положение в альгоценозах занимали эвгленовые, желто-зеленые водоросли и безгетероцистные цианопрокариоты. Фитопланктон характеризовался высокой изменчивостью общей численности и биомассы. На участках рек, испытывающих влияние шахтных вод, сообщества были трансформированы: в них развивались виды, адаптированные к низким значениям реакции среды. Для получения полного и более корректного результата альгологический анализ должен сопровождаться качественным химическим исследованием.

Список литературы

Алекин, О.А., 1970. Основы гидрохимии. Гидрометеоиздат, Ленинград, СССР, 444 с.

Беляева, П.Г., 2022a. Состав и структура фитопланктона водных объектов с экстремальными условиями (Пермский край, Россия). *Антропогенная трансформация природной среды* **8** (2), 53–60. https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-2-53-60

Беляева, П.Г., 2022b. Структура и функционирование альгоценозов водных экосистем Пермского Предуралья*. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук.* Борок, Россия, 415 с.

Беляева, П.Г., 2024. Состав и структура фитопланктона Сылвенско-Чусовского плеса Камского водохранилища (Россия). *Вестник Томского государственного университета. Биология* **66**, 193–212. https://doi.org/10.17223/19988591/66/10

Ветрова, З.И., 1993. Флора водорослей континентальных водоемов Украинской ССР. Эвгленофитовые водоросли. Вып. 1. Ч. 2. Наукова думка, Киев, Украина, 260 с.

Горохова, О.Г., Зинченко, Т.Д., 2014. Фитопланктон высокоминерализованных рек Приэльтонья. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* **16** (5), 1715–1721.

Давыдова, Н.Н., 1985. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Наука, Ленинград, СССР, 244 с.

Имайкин, А.К., 2014. Основные направления исследования гидросферы Кизеловского угольного бассейна. *Современные проблемы науки и образования* **6**.

Имайкин, А.К., Имайкин, К.К., 2022. Изменение гидрогеологических условий шумихинского месторождения угля (Предуралье) под влиянием подземных горных работ. *Известия Томского политехнического университета **333** (*7), 64–75.

Кадочникова, П.И., Беляева, П.Г., 2017. Пигментные характеристики альгоценозов как показатели экологического состояния малых рек урбанизированных территорий (на примере рек г. Пермь). *Вода: химия и экология* **9**, 20–27.

Комулайнен, С.Ф., Барышев, И.А., Круглова, А.Н., Сластина, Ю.Л., Рыжаков, А.В., Никерова, К.М., 2021. Реакция сообществ водных организмов на антропогенные изменения минерализации в небольшой реке (бассейн Белого моря, Республика Карелия, Россия). *Трансформация экосистем* **4** (1), 88–103. https://doi.org/10.23859/estr-201118

Максимович, Н.Г., 2004. Защита гидросферы от загрязнения при ликвидации угольных шахт Кизеловского бассейна. *Материалы 2-й Международной геоэкологической конференции «Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами».* Тула, Россия, 135–141.

Максимович, Н.Г., Пьянков, С.В., 2018. Кизеловский угольный бассейн: экологические проблемы и пути решения. Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, 288 с.

Максимович, Н.Г., Черемных, Н.В., Хайрулина, Е.А., 2006. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна. *Географический вестник* **2**, 128–134.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов, 1975. Мордухай-Болтовской, Ф.Д. (ред.). Наука, Москва, СССР, 239 с.

Мэгарран, Э., 1992. Экологическое разнообразие и его измерение. Наука, Москва, СССР, 184 с.

Новаковский, А.Б., 2016. Взаимодействие Excel и статистического пакета R для обработки данных в экологии. *Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН* **3** (197), 26–33. https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2016.3(197).4

Прошкина-Лавренко, А.И., 1953. Диатомовые водоросли – показатели солености воды. В: Прошкина-Лавренко, А.И., Шешукова, В.С., *Диатомовый сборник*. ЛГУ, Ленинград, СССР, 186–205.

Таусон, А.О., 1947. Водные ресурсы Молотовской области. ОГИЗ, Молотов, СССР, 321 с.

Турьянова, Р.Р., 2006. Фитопланктон разнотипных водоемов на территории г. Уфы. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук.* Уфа, Россия, 214 с.

Уманская, М.В., Горбунов, М.Ю., Краснова, Е.С., Жариков, В.В., 2018. Трофический статус некоторых пригородных озер г. Тольятти (Васильевские озера) в 2013–2015 гг. *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии* **27** (2), 183–188.

Шитиков, В.К., Розенберг, Г.С., 2005. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения. В: Розенберг, Г.С. (ред.), *Количественные методы экологии и гидробиологии.* СамНЦ РАН, Тольятти, Россия, 91–129.

Aguilera, A., 2013. Eukaryotic organisms in extreme acid environments. *Life* **3** (3), 363–374. https://doi.org/10.3390/life3030363

Amaral-Zettler, L.A., Gomez, F., Zettler, E., Keenan, B.G., Amils, R., Sogin, M.L., 2002. Eukaryotic diversity in Spain's River of Fire. *Nature* **417** (137). https://doi.org/10.1038/417137a

Busseni, G., Vieira, F.R.J., Amato, A., Pelletier, E., Pierella Karlusich, J.J., Ferrante, M.I. et al., 2019. Meta-omics reveals genetic flexibility of diatom nitrogen transporters in response to environmental changes. *Molecular Biology and Evolution* **36**, 2522–2535. https://doi.org/10.1093/molbev/msz157

Dong, X., Jian, X., Jiang, W., Wu, N., Tang, T., Cai, Q., 2015. Development and testing of a diatom-based index of biotic integrity for river ecosystems impacted by acid mine drainage in Gaolan river, China. *Fresenius Environmental Bulletin* **24**, 4114–4124.

Ferreira da Silva, E.F., Almeida, S.F.P., Nunes, M.L., Luís, A.T., Borg, F. et al., 2009. Heavy metal pollution downstream the abandoned Coval da Mó mine (Portugal) and associated effects on epilithic diatom communities. *Science of The Total Environment* **407**, 5620–5636. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.047

Guiry, M.D., Guiry, G.M., 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Интернет-ресурс. URL: http://www.algaebase.org (дата обращения: 20.11.2023).

Kelly M., 1988. Mining and the freshwater environment. Elsevier Applied Science, London – New York, UK – USA, 231 p.

Luís, A.T., Coelho, H., Almeida, S.F.P., Ferreira da Silva, E.A., Serôdio, J., 2013. Photosynthetic activity and ecology of benthic diatom communities from streams affected by Acid Mine Drainage (AMD) in pyritic mines. *Fundamental and Applied Limnology* **182**, 47–59. https://doi.org/10.1127/1863-9135/2013/0370

Luís, A.T., Durães, N., Almeida, S.F.P., Ferreira da Silva, E.A., 2016. Integrating geochemical (surface waters, stream sediments) and biological (diatoms) approaches to assess AMD environmental impact

in a pyritic mining area: Aljustrel Alentejo, Portugal. *Journal of Environmental Sciences* **42**, 215–226. https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.07.008

Marvaetal, F., Garcia-Balboa, C., Baselga-Cervera, B., Costas, E., 2014. Rapid adaptation of some phytoplankton species to osmium as a result of spontaneous mutations. *Ecotoxicology* **23**, 213–220. https://doi.org/10.1007/s10646-013-1164-8

Marvan, P., Marsalek, B., Hetesa, J., Sukacova, K., Marsalkova, E., Geris, R., Kozakova, M., 2005. Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716 – discussion material for assessment of trophic status of water bodies. Association Flos Aquae. Supplement. Centre for cyanobacteria and their toxins. *И*нтернет-ресурс. URL:http://www.sinice.cz/res/file/scientific/trophicstatus-list.pdf (дата обращения: 20.11.2023).

Niyogi, D., Lewis, Jr., W., McKnight, D., 2002. Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in Mountain Streams. *Ecosystems* **5**, 554–567. https://doi.org/10.1007/s10021-002-0182-9

Pantle, R., Buck, H., 1955. Die biologische uberwachung der gawässer und die darstellung der ergebnisse. *Gas und Wasserfach* **96** (18), 604. (In German).

Parparov, A, Gal, G, Zohary, T., 2015. Quantifying the ecological stability of a phytoplankton community: the Lake Kinneret case study. *Ecological Indicators* **56**, 134–144.

Rivera, M.J., Luís, A.T., Grande, J.A., Sarmiento, A.M., Dávila, J.M. et al., 2019. Physico-chemical influence of surface water contaminated by acid mine drainage on the populations of diatoms in dams (Iberian Pyrite Belt, SW Spain). *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**, 4516. https://doi.org/10.3390/ijerph16224516

Sládecék, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie und Ergebnisse der Limnologie* **7**, 1–218.

Urrea-Clos, G., Sabater, S., 2009. Comparative study of algal communities in acid and alkaline waters from Tinto, Odiel and Piedras river basins (SW Spain). *Limnetica* **28** (2), 261–272. https://doi.org/10.23818/limn.28.22

Valente, T., Rivera, M.J., Almeida, S.F.P., Delgado, C., Gomes, P., Grande, J.A., de la Torre, M.L., 2016. Characterization of water reservoirs affected by acid mine drainage: Geochemical, mineralogical and biological (diatoms) properties of the water. *Environmental Science and Pollution Research International* **23**, 6002–6011. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4776-0

Verb, R.G., Vis, M.L., 2001. Macroalgal communities from an acid mine drainage impacted watershed. *Aquatic Botany* **71** (2), 93–107. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00184-X

Verb, R.G., Vis, M.L., 2005. Periphyton assemblages as bioindicators of mine-drainage in unglaciated Western Allegheny Plateau lotic systems. *Water, Air, and Soil Pollution* **161**, 227–265. https://doi.org/10.1007/s11270-005-4285-8

Whitton, B.A., Albertano, P., Satake, K., 2000. Chemistry and ecology of highly acidic environments. *Hydrobiologia* **433**, 1–2.

Zalack, J.T., Smucker, N.J., Vis, M.L., 2010. Development of a Diatom Index of biotic integrity for acid mine drainage impacted streams. *Ecological Indicators* **10** (2), 287–295. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.06.003

References

Aguilera, A., 2013. Eukaryotic organisms in extreme acid environments. *Life* **3** (3), 363–374. https://doi.org/10.3390/life3030363

Alekin, O.A., 1970. Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of hydrochemistry] Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 444 p. (In Russian).

Amaral-Zettler, L.A., Gomez, F., Zettler, E., Keenan, B.G., Amils, R., Sogin, M.L., 2002. Eukaryotic diversity in Spain's River of Fire. *Nature* **417** (137). https://doi.org/10.1038/417137a

Belyaeva, P.G., 2022a. Sostav i struktura fitoplanktona vodnykh ob'yektov s ekstremal'nymi usloviyami (Permskiy kray, Rossiya) [Composition and structure of phytoplankton in water bodies with extreme conditions (Perm region, Russia)]. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy [Anthropogenic Transformation of the Natural Environment]* **8** (2), 53–60. (In Russian). https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-2-53-60

Belyaeva, P.G., 2022b. Struktura i funktsionirovaniye al'gotsenozov vodnykh ekosistem Permskogo Predural'ya [Structure and functioning of algocenoses of aquatic ecosystems of the Perm Cis-Urals]. *Doctor of Sciences in Biology thesis*. Borok, Russia, 415 p. (In Russian).

Belyaeva, P.G., 2024. Sostav i struktura fitoplanktona Sylvensko-Chusovskogo plesa Kamskogo vodokhranilishcha (Rossiia) [Composition and structure of phytoplankton of the Sylva-Chusov reach of the Kama reservoir (Russia)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiia [Bulletin of Tomsk State University. Biology]* **66**, 193–212. (In Russian). https://doi.org/10.17223/19988591/66/10

Busseni, G., Vieira, F.R.J., Amato, A., Pelletier, E., Pierella Karlusich, J.J., Ferrante, M.I. et al., 2019. Meta-omics reveals genetic flexibility of diatom nitrogen transporters in response to environmental changes. *Molecular Biology and Evolution* **36**, 2522–2535. https://doi.org/10.1093/molbev/msz157

Davydova, N.N., 1985. Diatomovyye vodorosli – indikatory prirodnykh usloviy vodoyemov v golotsene [Diatoms – indicators of the natural conditions of water bodies in the Holocene]. Nauka, Leningrad, USSR, 244 p. (In Russian).

Dong, X., Jian, X., Jiang, W., Wu, N., Tang, T., Cai, Q., 2015. Development and testing of a diatom-based index of biotic integrity for river ecosystems impacted by acid mine drainage in Gaolan river, China. *Fresenius Environmental Bulletin* **24**, 4114–4124.

Ferreira da Silva, E.F., Almeida, S.F.P., Nunes, M.L., Luís, A.T., Borg, F. et al., 2009. Heavy metal pollution downstream the abandoned Coval da Mó mine (Portugal) and associated effects on epilithic diatom communities. *Science of The Total Environment* **407**, 5620–5636. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.047

Gorokhova, O.G., Zinchenko, T.D., 2014. Fitoplankton vysokomineralizovannykh rek Priel'ton'ya [Phytoplankton of highly mineralized rivers of the Elton region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]* **16** (5), 1715–1721. (In Russian).

Guiry, M.D., Guiry, G.M., 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Web-page. URL: http://www.algaebase.org (accessed: 20.11.2023).

Imaykin, A.K., 2014. Osnovnyye napravleniya issledovaniya gidrosfery Kizelovskogo ugol'nogo basseyna [Main directions of research of the hydrosphere of the Kizelovsky coal basin]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education]* **6**. (In Russian).

Imaykin, A.K., Imaykin, K.K., 2022. Izmeneniye gidrogeologicheskikh usloviy shumikhinskogo mestorozhdeniya uglya (Predural'ye) pod vliyaniyem podzemnykh gornykh rabot [Changes in the hydrogeological conditions of the Shumikha coal deposit (Pre-Ural region) under the influence of underground mining. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [News of Tomsk Polytechnic University]* **333** (7), 64–75. (In Russian).

Kadochnikova, P.I., Belyaeva, P.G., 2017. Pigmentnye kharakteristiki al'gocenozov kak pokazateli ekologicheskogo sostoyaniya malykh rek urbanizirovannykh territoriy (na primere rek g. Perm') [Pigment characteristics of algocenosis as indicators of ecological status of small rivers flowing through urbanized territories (by the example of Perm Rivers)]. *Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]* **9**, 20–27. (In Russian).

Kelly M., 1988. Mining and the freshwater environment. Elsevier Applied Science, London – New York, UK – USA, 231 p.

Komulaynen, S.F., Baryshev, I.A., Kruglova, A.N., Slastina, Yu.L., Ryzhakov, A.V., Nikerova, K.M., 2021. Response of communities of aquatic organisms to anthropogenic changes in salinity in a small river (White Sea basin, Republic of Karelia, Russia). *Ecosystem Transformation* **4** (1), 88–103. https://doi.org/10.23859/estr-201118

Luís, A.T., Coelho, H., Almeida, S.F.P., Ferreira da Silva, E.A., Serôdio, J., 2013. Photosynthetic activity and ecology of benthic diatom communities from streams affected by Acid Mine Drainage (AMD) in pyritic mines. *Fundamental and Applied Limnology* **182**, 47–59. https://doi.org/10.1127/1863-9135/2013/0370

Luís, A.T., Durães, N., Almeida, S.F.P., Ferreira da Silva, E.A., 2016. Integrating geochemical (surface waters, stream sediments) and biological (diatoms) approaches to assess AMD environmental impact in a pyritic mining area: Aljustrel Alentejo, Portugal. *Journal of Environmental Sciences* **42**, 215–226. https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.07.008

Maksimovich, N.G., 2004. Zashchita gidrosfery ot zagryazneniya pri likvidatsii ugol'nykh shakht Kizelovskogo basseyna [Protection of the hydrosphere from pollution during the liquidation of coal mines in the Kizelovsky basin]. *Materialy 2-oy Mezhdunarodnoy geoekologicheskoy konferentsii «Geoekologicheskiye problemy zagryazneniya okruzhayushchey sredy tyazhelymi metallami» [Materials of the 2nd International Geoecological Conference «Geoecological problems of environmental pollution with heavy metals»].* Tula, Russia, 135–141. (In Russian).

Maksimovich, N.G., Cheremnykh, N.V., Khayrulina, E.A., 2006. Ekologicheskiye posledstviya likvidatsii Kizelovskogo ugol'nogo basseyna [Environmental consequences of the liquidation of the Kizelovsky coal basin]. *Geograficheskiy vestnik [Geographical Bulletin]* **2**, 128–134. (In Russian).

Maksimovich, N.G., P'yankov, S.V., 2018. Kizelovskiy ugol'nyy basseyn: ekologicheskiye problemy i puti resheniya: monografiya [Kizelovsky coal basin: environmental problems and solutions: monograph]. Perm State National Research University, Perm, Russia, 288 p. (In Russian).

Marvaetal, F., Garcia-Balboa, C., Baselga-Cervera, B., Costas, E., 2014. Rapid adaptation of some phytoplankton species to osmium as a result of spontaneous mutations. *Ecotoxicology* **23**, 213–220. https://doi.org/10.1007/s10646-013-1164-8

Marvan, P., Marsalek, B., Hetesa, J., Sukacova, K., Marsalkova, E., Geris, R., Kozakova, M., 2005. Comments on the revised tables of algal (and other botanical) water quality indicators listed in CSN 75 7716 – discussion material for assessment of trophic status of water bodies. Association Flos Aquae. Supplement. Centre for cyanobacteria and their toxins. Web page. URL:http://www.sinice.cz/res/file/scientific/trophicstatus-list.pdf (accessed: 20.11.2023).

Megarran, E., 1992. Ekologicheskoye raznoobraziye i yego izmereniye [Ecological diversity and its measurement]. Nauka, Moscow, USSR, 184 p. (In Russian).

Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov [Methodology for studying biogeocenoses of inland water bodies], 1975. Mordukhai-Boltovskoy, F.D. (ed.). Nauka, Moscow, USSR, 239 p. (In Russian).

Niyogi, D., Lewis, Jr., W., McKnight, D., 2002. Effects of stress from mine drainage on diversity, biomass, and function of primary producers in Mountain Streams. *Ecosystems* **5**, 554–567. https://doi.org/10.1007/s10021-002-0182-9

Novakovskiy, A. B. 2016. Vzaimodeistvie Excel i statisticheskogo paketa R dlia obrabotki dannykh v ekologii [Interaction between Excel and statistical package R for ecological data analysis]. *Vestnik Instituta biologii Komi NTs UrO RAN [Bulletin of the Institute of Biology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences]* **3** (197), 26–33. (In Russian). https://doi.org/10.31140/j.vestnikib.2016.3(197).4

Pantle, R., Buck, H., 1955. Die biologische uberwachung der gawässer und die darstellung der ergebnisse. *Gas und Wasserfach* **96** (18), 604. (In German).

Parparov, A, Gal, G, Zohary, T., 2015. Quantifying the ecological stability of a phytoplankton community: the Lake Kinneret case study. *Ecological Indicators* **56**, 134–144.

Proshkina-Lavrenko, A.I., 1953. Diatomovyye vodorosli – pokazateli solenosti vody [Diatoms – indicators of water salinity]. In: Proshkina-Lavrenko, A.I., Sheshukova, V.S. (eds.) *Diatomovyy sbornik [Diatom collection].* Leningrad State University, Leningrad, USSR, 186–205. (In Russian).

Rivera, M.J., Luís, A.T., Grande, J.A., Sarmiento, A.M., Dávila, J.M. et al., 2019. Physico-chemical influence of surface water contaminated by acid mine drainage on the populations of diatoms in dams (Iberian Pyrite Belt, SW Spain). *International Journal of Environmental Research and Public Health* **16**, 4516. https://doi.org/10.3390/ijerph16224516

Shitikov, V.K., Rozenberg, G.S., 2005. Otsenka bioraznoobraziya: popytka formal'nogo obobshcheniya [Biodiversity assessment: an attempt at formal generalization]. In: Rozenberg, G.S. (ed.), *Kolichestvennyye metody ekologii i gidrobiologii [Quantitative methods of ecology and hydrobiology]*. Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia, 91–129. (In Russian).

Sládecék, V., 1973. System of water quality from the biological point of view. *Archiv für Hydrobiologie und Ergebnisse der Limnologie* **7**, 1–218.

Tauson, A.O., 1947. Vodnyye resursy Molotovskoy oblasti [Water resources of the Molotov region]. United State Publishing House, Molotov, USSR, 321 p. (In Russian).

Tur'yanova, R.R., 2006. Fitoplankton raznotipnykh vodoyemov na territorii g. Ufy [Phytoplankton of different types of reservoirs on the territory of the city of Ufa. *PhD in Biology thesis.* Ufa, Russia, 214 p. (In Russian).

Umanskaya, M.V., Gorbunov, M.Yu., Krasnova, E.S., Zharikov, V.V., 2018. Troficheskiy status nekotorykh prigorodnykh ozer g. Tol'yatti (Vasil'yevskiye ozera) v 2013–2015 gg. [Trophic status of some suburban lakes of Togliatti (Vasilievsky Lakes) in 2013–2015]. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii [Samarskaya Luka: Problems of Regional and Global Ecology]* **27** (2), 183–188. (In Russian). https://doi.org/10.24411/2073-1035-2018-10028

Urrea-Clos, G., Sabater, S., 2009. Comparative study of algal communities in acid and alkaline waters from Tinto, Odiel and Piedras river basins (SW Spain). *Limnetica* **28** (2), 261–272. https://doi.org/10.23818/limn.28.22

Valente, T., Rivera, M.J., Almeida, S.F.P., Delgado, C., Gomes, P., Grande, J.A., de la Torre, M.L., 2016. Characterization of water reservoirs affected by acid mine drainage: Geochemical, mineralogical and biological (diatoms) properties of the water. *Environmental Science and Pollution Research International* **23**, 6002–6011. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4776-0

Verb, R.G., Vis, M.L., 2001. Macroalgal communities from an acid mine drainage impacted watershed. *Aquatic Botany* **71** (2), 93–107. https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00184-X

Verb, R.G., Vis, M.L., 2005. Periphyton assemblages as bioindicators of mine-drainage in unglaciated Western Allegheny Plateau lotic systems. *Water, Air, and Soil Pollution* **161**, 227–265. https://doi.org/10.1007/s11270-005-4285-8

Vetrova, Z.I., 1993. Flora vodorosley kontinental'nykh vodoyemov Ukrainskoy SSR. Evglenofitovyye vodorosli, Vyp. 1. Ch. 2 [Algal flora of continental water bodies of the Ukrainian SSR. Euglenophyte algae. Vol. 1. Part 2]. Naukova Dumka, Kiev, Ukraine, 260 p. (In Russian).

Whitton, B.A., Albertano, P., Satake, K., 2000. Chemistry and ecology of highly acidic environments. *Hydrobiologia* **433**, 1–2.

Zalack, J.T., Smucker, N.J., Vis, M.L., 2010. Development of a Diatom Index of biotic integrity for acid mine drainage impacted streams. *Ecological Indicators* **10** (2), 287–295. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.06.003