

УДК 581.9

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДОРΟΣЛЯХ ЗАПОВЕДНОГО ОЗЕРА АЛАКОЛЬ (КАЗАХСТАН) И ИХ ФЛОРИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

*А.К. Джиенбеков¹, С.С. Баринава², А.Б. Бигалиев³, С.Б. Нурашов⁴,
Э.С. Саметова⁵*

Впервые приводятся результаты изучения альгофлоры заповедного оз. Алаколь. Список обнаруженных видов водорослей включает 196 видов (208 с разновидностями и формами) из 5 отделов, относящихся к 83 родам, 51 семейству, 29 порядкам, 11 классам. На основе современной систематики составлен конспект обнаруженных видов водорослей и проведен флористический анализ. Построена кривая Виллиса для оценки полноты списка в целях флористического анализа. Рассчитан индекс внутривидового разнообразия. Проведено сравнение распределения внутривидового полиморфизма и таксономического богатства по разным отделам. Выделена и проанализирована головная часть альгофлоры оз. Алаколь. Индекс внутривидового полиморфизма оз. Алаколь сопоставлен с таковым в других альгофлорах Европы и Азии.

Ключевые слова: водоросли, планктон, фитоперифитон, флора, статистические методы, озеро Алаколь.

Заповедные территории, находящиеся в статусе охраняемого природного объекта, требуют инвентаризации видового состава организмов, которые, собственно, и служат объектом охраны. Первый этап в изучении разнообразия – исследование видового состава. Следующий шаг – флористический анализ, в результате которого определяется как его состояние на заповедной территории в момент начала исследований, так и его последующие изменения, отслеживаемые в процессе мониторинга.

Биоразнообразие водорослей используется для анализа в флористическом аспекте (Шмидт, 1974; Баринава и др., 2006). Перечень видов индивидуален для каждой изучаемой флоры, а систематическая структура – одно из свойств флоры как географически очерченного комплекса видов (Толмачёв, 1974).

Для флор сосудистых растений считается достаточным в сравнительно-флористических целях ограничиться анализом 10 ведущих в видовом и родовом отношении семейств, составляющих головную часть флористического спектра (Шмидт, 1980). Ранее мы уже пытались провести сравнительный анализ методов для выделения головной

части альгофлоры на примере видового состава водорослей Южно-Таджикской депрессии (Баринава, Бобоев, 2015). Для определения головной части альгофлоры выбирали те таксоны, которые, во-первых, входили в 10 наиболее представленных, во-вторых, включали более 50% выявленного видового состава, а в-третьих, включали таксоны, отделяемые линией стандартного отклонения, как статистически значимые.

Таким образом, анализ флоры водорослей на основе видового состава показывает, что методология определения ведущих таксонов и внутривидового полиморфизма для последующего мониторинга на охраняемой территории находится пока на стадии разработки (Баринава, Бобоев, 2015).

В 1994 г. Парламент Казахстана ратифицировал Конвенцию о биологическом разнообразии, чем подтвердил свое стремление сохранять уникальное богатство природы. Реальным шагом по реализации этих документов стало создание в 1998 г. Алакольского государственного заповедника (Березовиков, 2006). Цель нашего исследования – инвентаризации видового состава водорослей, которые прежде не изучались, а также

¹ Джиенбеков Айбек Капланбекович – докторант Казахского национального университета имени Аль-Фараби (zh-ai-bek@mail.ru); ² Баринава София Степановна – ассоциированный профессор Института эволюции университета Хайфы, канд. биол. наук (sophia@evo.haifa.ac.il); ³ Бигалиев Айтхаж Бигалиевич – профессор Казахского национального университета имени Аль-Фараби, докт. биол. наук (aitkhazha@gmail.com); ⁴ Нурашов Сатпай Бахытбаевич – науч. сотр. Института ботаники и фитоинтродукции, канд. биол. наук (nurashs@mail.ru); ⁵ Саметова Эльмира Сайлаухановна – науч. сотр. Института ботаники и фитоинтродукции, канд. биол. наук (elyasam@mail.ru).

анализ таксономической структуры альгофлоры с выделением различными методами ее головной части.

Материалы и методы

Отбор проб. Материалом для исследования послужили результаты обработки 25 проб микрофитобентоса, харовых водорослей и фитопланктона, собранных в течение 2015–2017 гг. из трех районов озера. Пробы фитопланктона отобраны сетью Апштейна с диаметром пор 40 мкм. Микрофитобентос отбирали путем соскабливания с поверхности камней, растений, а также дна. Образцы харофитовых водорослей отобраны в виде полных растений. Пробы зафиксированы на месте сразу после отбора 4%-м раствором нейтрального формальдегида, а некоторые из них 96%-м этанолом.

Параллельно с отбором проб водорослей измеряли pH, температуру воды и определяли географические координаты точек отбора.

Лабораторные исследования. Пробы транспортировали в сумке-холодильнике в лабораторию Института ботаники и фитоинтродукции (Алматы), где их обрабатывали в трех повторностях и просматривали под световым микроскопами «МБИ-3», «Amplival», и «CarlZeiss Axioskop-40» с цифровой камерой «AxioCamMRc-5» высокого разрешения (программа AxioVision 4.8) при увеличении в 600–1000 раз. Пробы просматривали также в Институте эволюции университета Хайфы (Израиль) под световым микроскопом «M4000-D» при увеличении в 400–1000 раз. Постоянные препараты диатомовых водорослей, изготовленные с помощью перекисного метода (Баринава, 1988; Barinova, 2017a), изучены в среде Эляшева и в каннадском балзаме.

Обилие каждого вида в препаратах оценивали по шестибалльной шкале (Баринава и др., 2006; Barinova, 2017a). Обнаруженные виды водорослей фотографировали под микроскопом (камеры «ОМАХА35100U» и «MoticMBI-300»).

Видовой состав определяли, пользуясь международными определителями, а современные названия таксонов унифицировали с помощью Algaebase (Guiry and Guiry, 2018).

При проведении флористического анализа выявленного видового состава водорослей для выделения головной части таксономического спектра применяли три метода: 1) выделение 10 ведущих таксонов каждого таксономического ряда, 2) выделение ведущих таксонов, включающих в каждом таксономическом ранге 50% видового состава, 3) выделение большинства видового состава в каждом таксономическом ранге с помощью

расчета стандартного отклонения. Для расчета стандартного отклонения (STDEV) использовали возможности программы Microsoft Excel.

Логарифмическая линия тренда была построена для проверки распределения по Виллису (Barinova, 2011), как было установлено Ж.К. Виллисом (Willis, 1949). В остальных случаях строились полиномиальные линии трендов.

Ssp/Sp Index (индекс внутривидового разнообразия) рассчитывали на основе данных по числу видов и числу родов в исследуемой альгофлоре (Barinova, 2011).

Описание района исследования. Оз. Алаколь и прилегающая часть бассейна его водосбора – охраняемая природная территория. Озеро бессточное, относится к экорегиону 624 (Balkash–Alakul) по классификации FEOW (FreshwaterEco regionsoftheWorld) и когда-то представляло единую водную систему с оз. Балхаш. Оно расположено на высоте 348 м над ур. моря на Балхашско-Алакольской низменности, которая лежит на границе Алматинской и Восточно-Казахстанской областей, в восточной части Балхаш-Алакольской котловины (рис. 1). В озеро впадают более 15 рек и притоков, из которых основные – реки Урджар, Катынсу, Емелькуйса, Ыргайты, Жаманты, Жаманотколь и Тасты. Речной сток сильно зависит от сезонности климата и осадков, летом минимальный. Вместе с озерами Сасыкколь, Уялы, Жаланашколь и другими, более мелкими озерами образует Алакольскую озерную систему (Березовиков, 2006). Климат побережья резко континентальный. Над озером отмечен сложный ветровой режим. Площадь акватории изменяется от 2076 км² во время минимального понижения уровня воды до 2650 км² (с островами 2696 км²) в период его максимального наполнения. Длина озера 104 км, максимальная ширина 52 км (средняя 25,5 км), максимальная глубина 54 м, (средняя глубина 21 м), длина береговой линии 348 км. Воды озера солоноватые, по составу хлоридно-натриевые и хлоридно-сульфатно-натриевые, минерализация в зависимости от района озера колеблется в пределах 0,8–9,5 г/л, в среднем около 5,9–7,8 г/л (Крупа и др., 2010). В водах оз. Алаколь выявлено повышенное содержание фтора и брома (Березовиков, 2006).

Результаты и обсуждение

В отобранных пробах определено 196 видов (208 видовых и внутривидовых таксонов (ввт)) водорослей из 5 отделов, относящихся к 83 родам, 51 семейству, 29 порядкам, 11 классам. Как видно из данных табл. 1, таксономическое разнообразие

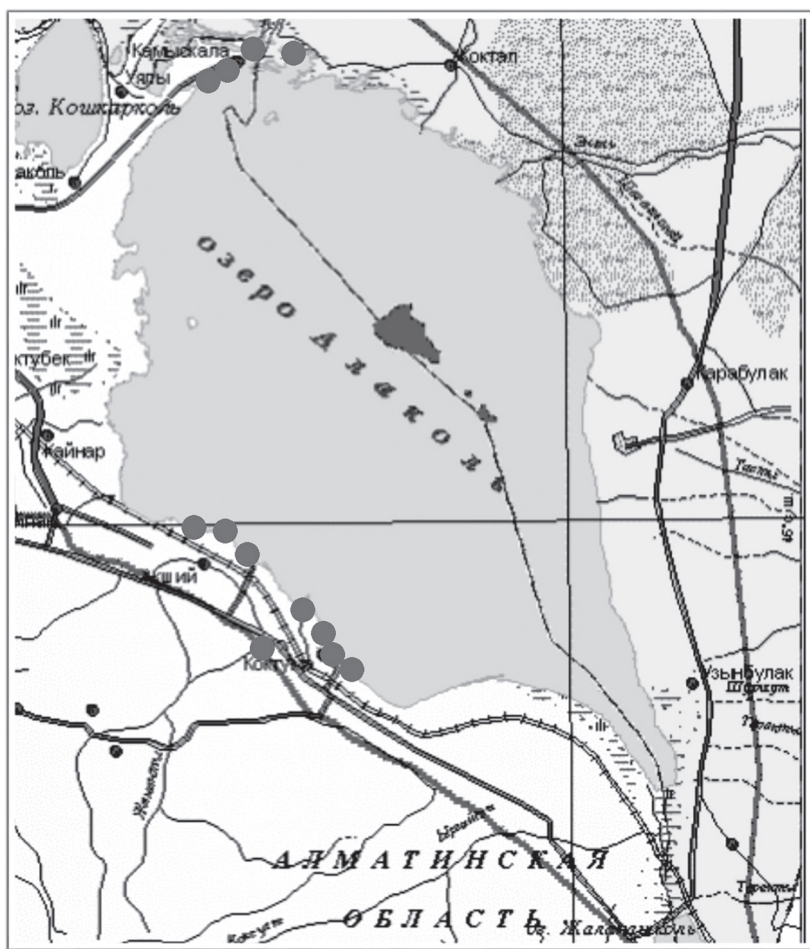


Рис. 1. Карта оз. Алаколь с точками отбора проб в 2015–2017 гг. (места отбора проб отмечены кругами)

представлено в большинстве типовыми разновидностями, и только 28 из них относятся к внутривидовым вариациям.

Проверка достаточности данных. Для того чтобы определить достаточность выявленного видового состава для флористического анализа, была построена кривая Виллиса (Баринаова и др., 2006; Varinova et al., 2011; Varinova 2017b), оказалось, что ее форма достаточно приближена к линии тренда, что указывает на возможность достоверного флористического анализа.

Флористический анализ. В целях проведения флористического анализа мы рассчитали соотношения высших таксонов для альгофлоры оз. Алаколь. В табл. 2 приведено распределение числа таксонов по отделам.

Из данных табл. 2 видно, что видовой состав оз. Алаколь более всего представлен диатомовыми водорослями – 134 вида (145 вместе с внутривидовыми таксонами). За ними идут отделы синезеленых с 21 (22 с ввт) и харофитовых с 20 видами. Зеленые и эвгленовые водоросли представлены 15

и 6 видами соответственно. По три класса определено у диатомовых, харофитовых и зеленых водорослей, остальные имели только по одному классу. Среди порядков доминируют диатомовые водоросли с наиболее насыщенными видами – Cymbellales, Naviculales и Bacillariales. Наиболее богатые семейства представлены Gomphonemataceae, Bacillariaceae и Naviculaceae (все из диатомовых). Наиболее богатыми родами были диатомовые *Nitzschia*, *Gomphonema* и *Cymbella*. Как видно из данных табл. 2, самое большое разнообразие внутривидовых таксонов наблюдается у диатомовых, а также у цианобактерий.

Результаты выделения головной части таксономического спектра тремя методами представлены в табл. 3. Видно, что на уровне отделов включается весь имеющийся видовой состав по методу 10 таксонов, а нисходящие ранги включают по 10 таксонов из каждого. По методу 50% видовой состава картина радикально меняется с включением в анализ только одного отдела и одного класса, 5 порядков, 8 семейств и 17 таксонов

Т а б л и ц а 1

Таксономический состав водорослей озера Алаколь в 2015–2017 гг.

Таксон	Вид	Вид и ввт	Таксон	Вид	Вид и ввт
Cyanobacteria			<i>Cavinulapusio</i> (Cleve) Lange-Bertalot	1	1
<i>Anabaena cylindrica</i> Lemmermann	1	1	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow	1	1
<i>A. oscillarioides</i> Bory ex Bornet & Flahault	1	1	<i>Cosmioneis pusilla</i> (W.Smith) D.G. Mann & A.J. Stickle	1	1
<i>Arthrospirajenneri</i> Stizenberger ex Gomont	1	1	<i>Craticula ambigua</i> (Ehrenberg) D.G. Mann in Round, R.M. Crawford & D.G. Mann	1	1
<i>Chroococcus minutus</i> (Kützing) Nägeli	1	1	<i>Ctenophora pulchella</i> (Ralfs ex Kützing) D.M. Williams & Round var. <i>pulchella</i>	1	1
<i>C. tenax</i> (Kirchner) Hieronymus	1	1	<i>C.pulchella</i> var. <i>Lacerata</i> (Hustedt) Bukhtiyarova	0	1
<i>C. turgidus</i> (Kützing) Nägeli	1	1	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	1	1
<i>Gloeocapsa turgida</i> f. <i>subnuda</i> (Hansg.) Hollerbach	0	1	<i>C.pseudostelligera</i> Hustedt	1	1
<i>G. violacea</i> Kützing	1	1	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & J.C. Lewin	1	1
<i>Gloeotrichia intermedia</i> (Lemmermann) Geitler	1	1	<i>Cymbella affinis</i> Kützing var. <i>affinis</i>	1	1
<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenberg) Kützing	1	1	<i>C. affinis</i> var. <i>neoprocera</i> W. Silva	0	1
<i>M. punctata</i> Meyen	1	1	<i>C. aspera</i> (Ehrenberg) Cleve	1	1
<i>Nodulariaharveyana</i> Thuret ex Bornet&Flahault	1	1	<i>C. cistula</i> (Ehrenberg) O.Kirchner	1	1
<i>N. spumigena</i> Mertens ex Bornet&Flahault	1	1	<i>C. cymbiformis</i> C.Agardh	1	1
<i>Nostoc linckia</i> Bornet ex Bornet&Flahault	1	1	<i>C. excisa</i> Kützing	1	1
<i>N. zetterstedtii</i> Areschoug ex Bornet&Flahault	1	1	<i>C. helvetica</i> Kützing	1	1
<i>Oscillatoria princeps</i> Vaucher ex Gomont	1	1	<i>C. parva</i> (W.Smith) Kirchner	1	1
<i>O. sancta</i> Kützing ex Gomont	1	1	<i>C. pseudoaffinis</i> Tynni	1	1
<i>Spirulina labyrinthiformis</i> Gomont	1	1	<i>C. simonsenii</i> Krammer	1	1
<i>S. major</i> Kützing ex Gomont	1	1	<i>C. tumida</i> (Brébisson) Van Heurck	1	1
<i>S. subsalsa</i> Oersted ex Gomont	1	1	<i>Cymboplectra inaequalis</i> (Ehrenberg) Krammer	1	1
<i>Trichodesmium lacustre</i> Klebahn	1	1	<i>Diatoma ehrenbergii</i> Kützing	1	1
<i>Trichormus variabilis</i> (Kützing ex Bornet&Flahault) Komárek & Anagnostidis	1	1	<i>D. moniliformis</i> (Kützing) D.M. Williams	1	1
Bacillariophyta			<i>D. vulgaris</i> var. <i>brevis</i> Grunow	1	1
<i>Amphora eximia</i> J.R.Carter	1	1	<i>Encyonema cespitosum</i> Kützing	1	1
<i>A. lineolata</i> Ehrenberg	1	1	<i>E. leibleinii</i> (C. Agardh) W.J. Silva, R. Jahn, T.A. Veiga Ludwig & M. Menezes	1	1
<i>A. ovalis</i> (Kützing) Kützing	1	1	<i>E. minutum</i> (Hilse) D.G. Mann	1	1
<i>Anomooneis costata</i> (Kützing) Hustedt	1	1	<i>E. obscurum</i> (Krasske) D.G. Mann	1	1
<i>A. sphaerophora</i> Pfitzer	1	1	<i>E. silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann in Round, R.M. Crawford & D.G. Mann	1	1
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen	1	1	<i>E.subventricosum</i> (Cholnoky) Krammer	1	1
<i>Brebissonia lanceolata</i> (C.Agardh) R.K. Mahoney & Reimer	1	1	<i>Entomoneis paludosa</i> (W.Smith) Reimer in R.M. Patrick & Reimer var. <i>paludosa</i>	1	1
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve var. <i>amphisbaena</i>	1	1	<i>E.paludosa</i> var. <i>subsalina</i> (Cleve) Krammer in Lange-Bertalot & Krammer	0	1
<i>C. amphisbaena</i> var. <i>subsalina</i> (Donkin) Cleve	0	1	<i>Epithemia adnata</i> var. <i>porcellus</i> (Kützing) R. Ross	1	1
<i>C. latiuscula</i> (Kützing) Cleve	1	1	<i>E. adnata</i> var. <i>saxonica</i> (Kützing) R.M. Patrick in Patrick & Reimer	0	1
<i>C. smolaris</i> (Grunow) Krammer	1	1	<i>E. argus</i> var. <i>alpestris</i> (W. Smith) Grunow	1	1
<i>C. silicula</i> (Ehrenberg) Cleve	1	1			
<i>C. westii</i> (W. Smith) Hendey	1	1			

Продолжение табл. 1

Таксон	Вид	Вид и ввт
<i>E. argus</i> var. <i>angustata</i> Tarnavski	0	1
<i>E. gibba</i> (Ehrenberg) Kützing	1	1
<i>E. sorex</i> Kützing	1	1
<i>E. turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	1	1
<i>Eunotia flexuosa</i> (Brébisson ex Kützing) Kützing	1	1
<i>Fragilaria acus</i> (Kützing) Lange-Bertalot in Krammer & Lange-Bertalot	1	1
<i>F. alpestris</i> Krasske ex Hustedt	1	1
<i>F. bidens</i> Heiberg	1	1
<i>F. capucina</i> Desmazières	1	1
<i>F. crotonensis</i> Kitton	1	1
<i>F. rumpens</i> (Kützing) G.W.F. Carlson	1	1
<i>F. tenera</i> (W. Smith) Lange-Bertalot var. <i>tenera</i>	1	1
<i>F. tenera</i> var. <i>nanana</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot & S. Ulrich	0	1
<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson ex W. Smith) Lange-Bertalot & Krammer in Lange-Bertalot & Metzeltin	1	1
<i>F. rhomboides</i> (Ehrenberg) De Toni	1	1
<i>Gomphoneis clevei</i> (Fricke) Gil	1	1
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst	1	1
<i>G. calcareum</i> Cleve	1	1
<i>G. constrictum</i> Ehrenberg	1	1
<i>G. gracile</i> Ehrenberg	1	1
<i>G. insigne</i> W. Gregory	1	1
<i>G. longiceps</i> var. <i>subclavatum</i> Grunow	1	1
<i>G. minutum</i> (C. Agardh) C. Agardh	1	1
<i>G. olivaceum</i> (Hornemann) Brébisson var. <i>olivaceum</i>	1	1
<i>G. olivaceum</i> var. <i>minutissimum</i> Hustedt	0	1
<i>G. parvulum</i> (Kützing) Kützing	1	1
<i>G. truncatum</i> Ehrenberg	1	1
<i>G. ventricosum</i> W. Gregory	1	1
<i>G. vibrio</i> Ehrenberg	1	1
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst	1	1
<i>G. scalproides</i> (Rabenhorst) Cleve	1	1
<i>Halamphora coffeiformis</i> (C. Agardh) Levkov	1	1
<i>H. normanii</i> (Rabenhorst) Levkov	1	1
<i>H. veneta</i> (Kützing) Levkov	1	1
<i>Hannaea arcus</i> (Ehrenberg) R.M. Patrick in R.M. Patrick & C.W. Reimer var. <i>arcus</i>	1	1
<i>H. arcus</i> var. <i>amphioxys</i> (Rabenhorst) R.M. Patrick	0	1
<i>H. inaequidentata</i> (Lagerstedt) S.I. Genkal & V.G. Kharitonov	1	1

Таксон	Вид	Вид и ввт
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow in Cleve & Grunow var. <i>amphioxys</i>	1	1
<i>H. amphioxys</i> var. <i>constricta</i> Pantocsek	0	1
<i>Mastogloia albertii</i> A. Pavlov, E. Jovanovska, C.E. Wetzel, L. Ector & Z. Levkov	1	1
<i>Mastogloia baltica</i> Grunow	1	1
<i>M. grevillei</i> W. Smith	1	1
<i>M. pumila</i> (Grunow) Cleve	1	1
<i>M. smithii</i> Thwaites ex W. Smith	1	1
<i>Navicula cuspidata</i> f. <i>Primigena</i> Dippel	1	1
<i>N. dicephala</i> Ehrenberg	1	1
<i>N. pusilla</i> var. <i>Jacutica</i> Kisselev	1	1
<i>N. radiosa</i> Kützing	1	1
<i>N. rhynchotella</i> Lange-Bertalot	1	1
<i>N. tenelloides</i> Hustedt	1	1
<i>N. tripunctata</i> (O.F. Müller) Bory in Bory de Saint-Vincent	1	1
<i>N. trivialis</i> Lange-Bertalot	1	1
<i>Neidiomorpha binodis</i> (Ehrenberg) M. Cantonati, Lange-Bertalot & N. Angeli	1	1
<i>Neidium ampliatum</i> (Ehrenberg) Krammer in Krammer & Lange-Bertalot	1	1
<i>N. apiculatum</i> Reimer	1	1
<i>N. productum</i> (W. Smith) Cleve	1	1
<i>Nitzschia acicularis</i> (Kützing) W. Smith	1	1
<i>N. filiformis</i> (W. Smith) Van Heurck	1	1
<i>N. fonticola</i> (Grunow) Grunow in Van Heurck	1	1
<i>N. gandersheimiensis</i> f. <i>tenuirostris</i> (Grunow) Lange-Bertalot	1	1
<i>N. nana</i> Grunow	1	1
<i>N. obtusa</i> W. Smith	1	1
<i>N. palea</i> (Kützing) W. Smith var. <i>palea</i>	1	1
<i>N. paleavar. capitata</i> Wislouch & Poretsky	0	1
<i>N. punctata</i> var. <i>coarctata</i> (Grunow) Hustedt in A.W.F. Schmidt	1	1
<i>N. scalpelliformis</i> Grunow in Cleve & Grunow	1	1
<i>N. sigma</i> (Kützing) W. Smith	1	1
<i>N. tryblionella</i> var. <i>ambigua</i> Grunow	1	1
<i>N. vermicularis</i> (Kützing) Hantzsch in Rabenhorst	1	1
<i>Odontidium mesodon</i> (Kützing) Kützing	1	1
<i>Pinnularia brauniana</i> (Grunow) Studnicka	1	1
<i>P. hemiptera</i> Brébisson ex Greville	1	1
<i>P. rhombarea</i> var. <i>halophila</i> Krammer	1	1
<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg	1	1

Окончание табл. 1

Таксон	Вид	Вид и ввт
<i>Placoneis elginensis</i> (W.Gregory) E.J.Cox	1	1
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot	1	1
<i>Platessa salinarum</i> (Grunow) Lange-Bertalot	1	1
<i>Pleurosigma elongatum</i> W.Smith	1	1
<i>Psammothidium semiapertum</i> (Hustedt) Aboal	1	1
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bertalot	1	1
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) Otto Müller var. <i>gibba</i>	1	1
<i>R. gibba</i> var. <i>ventricosa</i> (Kützing) H.Peragallo & M.Peragallo	0	1
<i>Sellaphorasub muralis</i> (Hustedt) C.E. Wetzel, L. Ector, B. Vande Vijver, Compère & D.G. Mann	1	1
<i>Stauroneis phoenicenteron</i> (Nitzsch) Ehrenberg	1	1
<i>Staurosira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & J.D. Möller	1	1
<i>Surirella brebissonii</i> Krammer & Lange-Bertalot	1	1
<i>S. elegans</i> Ehrenberg	1	1
<i>S. librile</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	1	1
<i>S. patella</i> Kützing	1	1
<i>Synedra familiaris</i> Kützing	1	1
<i>Synedra rumpens</i> var. <i>scotica</i> Grunow in Van Heurck	1	1
<i>Tabularia fasciculata</i> (C. Agardh) D.M. Williams & Round	1	1
<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) Frenguelli	1	1
<i>T. levidensis</i> W.Smith	1	1
<i>T. navicularis</i> (Brébisson) Ralfs in Pritchard	1	1
<i>Ulnaria amphirhynchus</i> (Ehrenberg) Compère & Bukhtiyarova in Bukhtiyarova & Compère	1	1
<i>U. ulna</i> (Nitzsch) Compère	1	1
Euglenozoa		
<i>Euglena deses</i> Ehrenberg	1	1
<i>E. sanguinea</i> Ehrenberg	1	1
<i>Lepocinclis acus</i> (O.F. Müller) B. Marin & Melkonian in Marin et al.	1	1
<i>Phacus acutus</i> Pochmann	1	1
<i>P. orbicularis</i> K.Hübner	1	1
<i>P. triqueter</i> (Ehrenberg) Perty	1	1
Chlorophyta		
<i>Ankistrodesmus spiralis</i> (W.B. Turner) Lemmermann	1	1

Таксон	Вид	Вид и ввт
<i>Botryococcus braunii</i> Kützing	1	1
<i>Bulbochaete intermedia</i> De Bary ex Hirn	1	1
<i>B. nana</i> Wittrock ex Hirn	1	1
<i>Chlorococcum infusioenum</i> (Schrank) Meneghini	1	1
<i>Cladophora glomerata</i> (Linnaeus) Kützing	1	1
<i>Coelastrum microporum</i> Nägeli in A. Braun	1	1
<i>Desmodesmus tropicus</i> (W.B.Crow) E. Hegewald	1	1
<i>Geminella ellipsoidea</i> (Prescott) G.M. Smith	1	1
<i>Messastrum gracile</i> (Reinsch) T.S.Garcia in T.S. Garcia et al.	1	1
<i>Oedogonium obtruncatum</i> Wittrock ex Hirn	1	1
<i>Raphidocelis subcapitata</i> (Korshikov) Nygaard, Komárek, J. Kristiansen & O.M. Skulberg	1	1
<i>Scenedesmus armatus</i> (Chodat) Chodat	1	1
<i>S. quadrispina</i> Chodat	1	1
<i>Volvox aureus</i> Ehrenberg	1	1
Charophyta		
<i>Chara aspera</i> C.L. Willdenow	1	1
<i>C. vulgaris</i> L.	1	1
<i>Cosmarium bioculatum</i> var. <i>excavatum</i> Gutwinski	1	1
<i>C. botrytis</i> Meneghini ex Ralfs	1	1
<i>C. clepsydra</i> var. <i>dissimile</i> (Raciborski) Krieger & Gerloff	1	1
<i>C. obtusatum</i> (Schmidle) Schmidle	1	1
<i>C. phaseolus</i> Brébisson ex Ralfs	1	1
<i>C. subcrenatum</i> var. <i>subdivaricatum</i> Gutwinski	1	1
<i>C. tetraophthalmum</i> Brébisson ex Ralfs	1	1
<i>C. wittrockii</i> P.Lundell	1	1
<i>Mougeotia genuflexa</i> (Roth) C. Agardh	1	1
<i>Nitella hyalina</i> (De Candolle) C. Agardh	1	1
<i>N. tenuissima</i> (Desvaux) Kützing	1	1
<i>Spirogyra longata</i> (Vaucher) Kuetzing	1	1
<i>Staurastrum boreale</i> West & G.S. West	1	1
<i>S. hexacerum</i> var. <i>hexacerum</i> Wittrock	1	1
<i>S. manfeldtii</i> var. <i>ucrainicum</i> (Palamar-Mordvintseva) Petlovany	1	1
<i>S. retusum</i> var. <i>boreale</i> West & G.S. West	1	1
<i>Zygnema pectinatum</i> (Vaucher) C. Agardh in Liljebblad	1	1
<i>Z. ralfsii</i> (Hassall) De Bary	1	1
Всего	196	208

Т а б л и ц а 2

Общий таксономический состав флоры водорослей оз. Алаколь

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид	Вид и внутривидовые таксоны	Ssp/Sp Index
Bacillariophyta	3	14	28	49	134	145	1,08
Cyanobacteria	1	5	10	12	21	22	1,05
Charophyta	3	3	3	7	20	20	1,00
Chlorophyta	3	6	8	12	15	15	1,00
Euglenozoa	1	1	2	3	6	6	1,00
Всего	11	29	51	83	196	208	

родового уровня. Похожие данные получены в результате отделения головной части флоры линией стандартного отклонения, причем выросло число семейств и родов, включенных в анализ.

Критерий достоверности выделения видового состава для флористического анализа разными методами – его представленность в таксонах, в сумме составляющих более 50% выявленной альгофлоры, т.е. видовой состав больше стандартного отклонения, вычисленного для каждого анализируемого таксономического ранга. Поскольку основную единицу для флористического анализа представляет вид, то расчет проводился на основе данных табл. 1 по числу видов.

Результаты расчетов по методам 10 таксонов и 50% видового состава мы сравнили с видовым составом, выделенным статистическим методом. В целом почти везде учтено от 50 до 100% видового состава. Однако метод 10 таксонов статистически достоверен (более или

равно STDEV) при анализе отделов (Сёмкин и др., 2010) и классов, но не пригоден для анализа таксономических уровней порядков, семейств и родов, т.е. 10 таксонов не всегда достаточны для анализа и при большом числе уровней такой анализ оказывается недостоверным. Сравнение с ранее проведенным анализом такого распределения на примере альгофлоры Южно-Таджикской депрессии показывает, что число уровней, где анализ по 10 таксонам и по 50% недостоверен, оказывается даже больше при доминировании видового богатства одного из отделов, как в альгофлоре оз. Алаколь.

Таким образом, метод стандартного отклонения показал включение в анализ меньшей части видового состава на уровне отделов и классов, которой достаточно, но этот подход требует включения большего числа таксонов в анализ рангом ниже порядка и, следовательно, не только достоверный, но и достаточно полный.

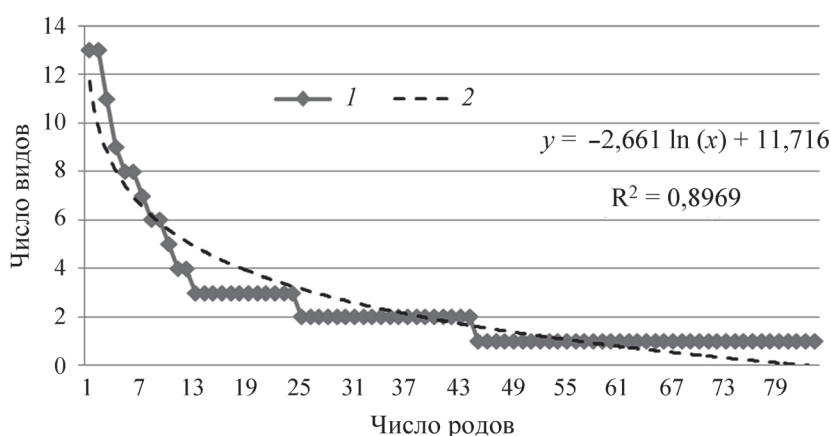


Рис. 2. Кривая распределения числа видов водорослей оз. Алаколь по числу родов. Пунктир – логарифмическая линия тренда распределения: 1 – вид, 2 – логарифмическая (вид)

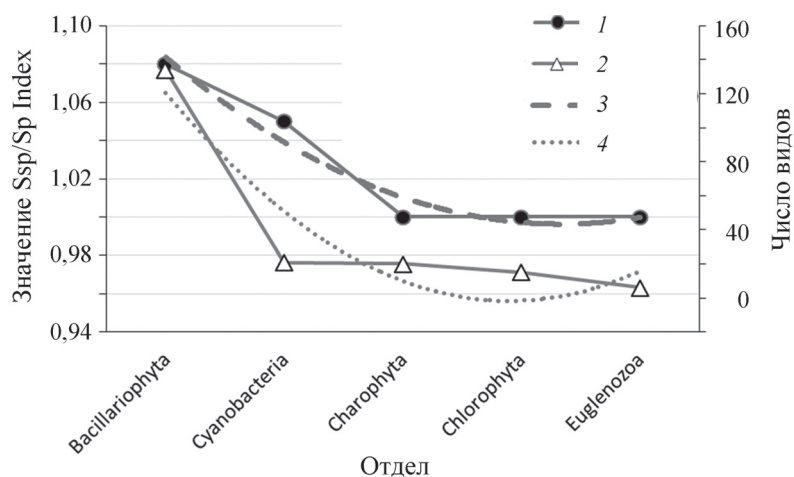


Рис. 3. Распределение числа видов и индекса внутривидового разнообразия (Ssp/Sp Index) в отделах водорослей оз. Алаколь: 1 – Ssp/Sp Index, 2 – вид, 3 – полиномиальная (Ssp/Sp Index), 4 – полиномиальная (вид)

Для флоры водорослей оз. Алаколь выделяются в качестве ведущих все 4 отдела (табл. 2) Bacillariophyta, Cyanobacteria, Chlorophyta и Charophyta. В головную часть альгофлоры включены наиболее представленные классы Cyanophyceae, Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Conjugatophyceae из трех отделов; порядки Naviculales, Cymbellales, Sphaeropleales, Desmidiaceae тех же отделов; семейства Desmidiaceae, Gomphonemataceae, Bacillariaceae; роды *Nitzschia*, *Cymbella*, *Cosmarium*, *Gomphonema* с диатомовыми и десмидиевыми на ведущих местах.

Для анализа степени полиморфизма выявленного видового состава оз. Алаколь мы рассчитали индекс внутривидового полиморфизма как соотношение общего числа таксонов видового и внутривидового ранга и таксонов только видового ранга для каждого отдела водорослей. Из данных табл. 2 видно, что среди многови-

довых отделов наиболее полиморфны виды у Bacillariophyta и Cyanobacteria, причем у диатомовых Ssp/Sp Index выше и составляет 1,08, тогда как у цианобактерий 1,05. Остальные отделы харовых, зеленых и эвгленовых водорослей не проявили внутривидового полиморфизма, и у каждого из них Ssp/Sp Index составлял 1,00. Среднее значение Ssp/Sp Index для альгофлоры составляло 1,06. Это сравнимо с полиморфизмом региональных флор Турции (1,09) и Израиля (1,09), но меньше, чем на Британских островах (1,15) и Грузии (1,19), и тем более чем в Центральной Европе (1,21), Центральных штатах США (1,23), Монголии (1,36), Белоруссии (1,42) и Польше (1,48) (Barinova, 2011). На рис. 2 показано, что видовое богатство в отделах и индекс внутривидового полиморфизма меняются синхронно. Это свидетельствует о том, что по мере дальнейших исследований возрастет

Т а б л и ц а 3

Число таксонов, участвующих в анализе флоры водорослей оз. Алаколь различными методами. STDEV, стандартное отклонение

Таксон	10 таксонов	50% видового состава	Более STDEV
Отдел	5	1	1
Класс	10	1	1
Порядок	10	5	5
Семейство	10	8	10
Род	10	17	22

видовой состав и, соответственно, число полиморфных таксонов в альгофлоре оз. Алаколь.

Таким образом, флористический анализ впервые выявленного видového состава водорослей оз. Алаколь на базе изучения сборов 2015–2017 гг. показал значительное преобладание диатомовых с классами, порядками, семействами и родами пенистых водорослей. Анализ головной части спектра флоры водорослей, обитающей в оз. Алаколь, представленной 196 видами (208 сввт) из 5 отделов, проведенный разными методами показал, что статистически достоверными могут быть

результаты, полученные для таксонов всех уровней методом стандартного отклонения, а при выделении 10 таксонов только для уровня отделов и классов. Рассчитанный индекс внутривидового полиморфизма изменялся синхронно с видовым богатством в отделах и в целом для альгофлоры оз. Алаколь составлял 1,06, что сравнимо с таковым для южных альгофлор в регионах с полусухим климатом. Это свидетельствует, с одной стороны, о большей адаптационной способности диатомовых, а с другой – о стабильности макроклиматических параметров в районе оз. Алаколь.

Работа частично поддержана фондом Министерства Али и Интеграции Израиля и фондом Казахского Национального Университета им. Аль-Фараби (Алматы, Казахстан) для подготовки PhD-докторанта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

- Барина С.С.* Полиморфизм соединительных структур у диатомовых водорослей. // Эволюционные исследования. Вавиловские темы. Владивосток, 1988. С. 110–122. [*Barinova S.S.* Polimorfizm soedinitel'nykh struktur u diatomovykh vodoroslei. // Evolyutsionnye issledovaniya. Vavilovskie temy. Vladivostok, 1988. S. 110–122].
- Барина С.С., Бобоев М.Т.* Критический подход к флористическому анализу пресноводных альгофлор на примере Южно-Таджикской депрессии. // Бюл. МОИП. Отд. Биол. 2015. Т. 120. № 1. С. 40–48 [*Barinova S.S., Boboev M.T.* Kriticheskii podkhod k floristicheskomu analizu presnovodnykh al'goflor na primere Yuzhno-Tadzhikskoi depressii. // Byul. MOIP. Otd. Biol. 2015. T. 120. № 1. S. 40–48].
- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. Тель-Авив, 2006. 498 с. [*Barinova, S.S., Medvedeva, L.A., Anisimova, O.V.* Bioraznoobrazie vodoroslei – indikatorov okruzhayushchei sredy. Tel'Aviv, 2006. 498 s.].
- Березовиков Н.* Алакольский государственный природный заповедник / Заповедники средней Азии и Казахстана. Охраняемые природные территории Средней Азии и Казахстана. Вып. 1. Под ред. Р.В. Ященко. Алматы, 2006. С. 12–13 [*Berezovikov N.* Alakol'skii gosudarstvennyi prirodnyi zapovednik / Zapovedniki srednei Azii i Kazakhstana. Okhranyaemye prirodnye territorii Srednei Azii i Kazakhstana. Vyp. 1. Pod red. R.V. Yashchenko. Almaty, 2006. S. 12–13].
- Крупа Е.Г., Амиргалиева Н.А., Лопарева Т.Я., Исаева А.К., Биманбаева Б.Б.* Зоопланктон озера Алаколь и его распределение в зависимости от минерализации и химического состава воды // Вестн. Казахского национального университета имени Аль-Фараби. Сер. биол. Алматы, 2010. № 1 (43). С. 96–100 [*Krupa E.G., Amirgalieva N.A., Lopareva T.Ya., Isaeva A.K., Bimanbaeva B.B.* Zooplankton ozera Alakol' i ego raspredelenie v zavisimosti ot mineralizatsii i khimicheskogo sostava vody // Vestn. Kazakhskogo natsional'nogo universiteta imeni Al'-Farabi. Ser. boil. Almaty, 2010. № 1 (43). S. 96–100].
- Сёмкин Б.И., Клочкова Н.Г., Гусарова И.С., Горшков М.В.* Дискретность и континуальность флор водорослей-макрофитов Дальневосточных морей России. III. Таксономические спектры // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 57–70 [*Syomkin B.I., Klochkova N.G., Gusarova I.S., Gorshkov M.V.* Diskretnost' i kontinual'nost' flor vodoroslei-makrofitov Dal'nevostochnykh morei Rossii. III. Taksonomicheskie spektry // Izv. TINRO, 2010. T. 160. S. 57–70].
- Толмачёв А.И.* Введение в географию растений. Л., 1974. 244 с. [*Tolmachyov A.I.* Vvedenie v geografuyu rastenii. L., 1974. 244 s.].
- Шмидт В.М.* Количественные показатели в сравнительной флористике // Бот. журн. 1974. Т. 59. Вып. 7. С. 929–940 [*Shmidt V.M.* Kolichestvennye pokazateli v sravnitel'noi floristike // Bot. Zhurn. 1974. T. 59. Vyp. 7. S. 929–940].
- Шмидт В.М.* Сравнительные методы в сравнительной флористике. Л., 1980. 176 с. [*Shmidt V.M.* Sravnitel'nye metody v sravnitel'noi floristike. L., 1980. 176 s.].
- Barinova S.* The effect of altitude on distribution of freshwater algae in continental Israel // Current Topics in Plant Biology. 2011. Vol. 12. P. 89–95.
- Barinova S.S., Kukhaleishvili L., Nevo E., Janelidze Z.* Diversity and ecology of algae in the Algeti National Park as a part of the Georgian system of protected areas // Turkish Journal of Botany. 2011. Vol. 35. P. 729–774. DOI 10.3906/bot-1009-83.
- Barinova S.* How to Align and Unify the Cell Counting of Organisms for Bioindication // International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources. 2017a. Vol. 2. N 2. P. 555585. DOI: 10.19080/IJESNR.2017.02.555585.

Barinova S. Systemic Criteria for the Analysis of Alpha- and Gamma-Diversity of Freshwater Algae // International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 2017b. Vol. 4. N 2. P. 555633. DOI: 10.19080/IJESNR.2017.04.555633.

Freshwater ecoregions of the world (FEOW). Available from: <http://feow.org/> [accessed 20 June 2018].

Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, 2018. Galway [accessed 20 June 2018].

Willis J.C. The birth and spread of plants // Boissiera. 1949. Vol. 8. P. 1–561.

Поступила в редакцию / Received 24.06.2018
Принята к публикации / Accepted 30.10.2018

THE FIRST EVIDENCE ABOUT THE ALGAE OF THE PROTECTED ALAKOL LAKE (KAZAKHSTAN) AND THEIR FLORAL ANALYSIS

A. Jiyenbekov¹, S. Barinova², A. Bigaliev³, S. Nurasov⁴, E. Sametova⁵

The paper for the first time represents data on the study of the algal flora of the protected Alakol Lake. The list of detected algal diversity includes 196 species (208 with varieties and forms) from 5 Divisions, belonging to 83 Genera, 51 Families, 29 Orders, 11 Classes. A summary of the revealed algal species was made and a floral analysis based on modern taxonomy was carried out. The Willis curve was constructed to estimate the completeness of the list for the purposes of floral analysis. The index of intraspecific variation was calculated. The fluctuation of intraspecific polymorphism and species richness in different Divisions has been compared. The head part of the algal flora of the Alakol Lake was defined and analyzed. The index of intraspecific polymorphism of the algal flora of the Alakol Lake was compared with it's in other European and Asian algal floras.

Key words: Algae, plankton, microphytobenthos, flora, AlakolLake, statistical methods.

Acknowledgements. The work was partly supported by Committee of Science, Ministry of Education and Science, Republic of Kazakhstan for PhD doctorants as well as by the Israeli Ministry of Aliyah and Integration.

¹ Jiyenbekov Aibek, al-Farabi Kazakh National University (zh-ai-bek@mail.ru); ² Barinova Sophia, Institute of Evolution, University of Haifa Mount Carmel (sophia@evo.haifa.ac.il); ³ Bigaliev Aitkhazha, al-Farabi Kazakh National University (aitkhazha@gmail.com); ⁴ Nurasov Satpai, Institute of Botany and Phytointroduction (nurashs@mail.ru); ⁵ Sametova Elmira, Institute of Botany and Phytointroduction (elyasam@mail.ru).