

## ФЛОРА И РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ОЗЕРА АРБАКАЛИР И ИСТОЧНИКА ЧАРСКИЙ ГОРЯЧИЙ КЛЮЧ (ЧАРСКАЯ КОТЛОВИНА, ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© 2024 г. Б. Б. Базарова\*, @, А. П. Куклин\*, Т. В. Желибо\*, Л. В. Замана\*

\*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ул. Недорезова, 16а, Чита, 672014 Россия

@E-mail: bazarovabb@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.03.2023

После доработки 10.05.2023

Принята к публикации 10.05.2023

В результате комплексного экологического исследования оз. Арбакалир и источника Чарский горячий ключ в вегетационный период 2021 года изучены физико-химические показатели воды, видовое и фитоценологическое разнообразие растительности. Во флоре водоемов выявлено 56 таксонов из 7 отделов, из них 22 вида относятся к макроводорослям, по одному представителю мохообразных, хвощевидных и плауновидных, 31 вид цветковых растений. Два вида включены в Красную книгу как на федеральном, так и на региональном уровне. Два вида относятся к реликтовым. В структуре флоры присутствуют представители трех экотипов, из которых 38 видов (67.9%) относятся к настоящим водным растениям. В синтаксономической структуре водной и прибрежно-водной растительности выделено 18 ассоциаций из 12 формаций. На основе факторного анализа установлено, что ведущими факторами, влияющими на распределение фитоценозов, являются температура воды, водородный показатель, минерализация, концентрация основных катионов, анионов и биогенных элементов.

**Ключевые слова:** *Isoetes echinospora*, *Caulinia flexilis*, реликтовые виды, цианобактериальные маты, факторный анализ.

**DOI:** 10.31857/S1026347024030094, **EDN:** VAIDMW

Интенсификация промышленного производства на севере Забайкальского края ведет к усилению воздействия в том числе и на водоемы, крайне слабо изученных в гидробиологическом отношении, что в условиях современных климатических изменений может привести к необратимым последствиям и потере уникальных местообитаний. Основные исследования в Чарской котловине были связаны с периодом проектирования и строительства Байкало-Амурской магистрали (БАМ, 2014). При этом работ, рассматривающих биоту водоемов Чарской котловины, очень мало, и практически нет работ о растительности озер данного региона. Среди значительного количества водоемов в Чарской котловине особо выделяются ледниково-моренное оз. Арбакалир и расположенный в 135 м от юго-западного берега озера термальный источник Чарский горячий ключ. Источник является «диким» народным курортом с нерегламентированным использованием термальной воды. Эти два водных объекта имеют статус комплексного памятника природы регионального значения (Решения Читинского облисполкома № 28 от 14.01.1980 и № 593 от 14.06.1983).

Озеро Арбакалир и термальный источник тесно связаны между собой и составляют единую экосистему, обладающую уникальным составом водной флоры и растительности, содержащую виды, включенные в Красную книгу РФ и Забайкальского края.

Цель работы — выявить состав и структуру растительности оз. Арбакалир и факторы, их определяющие. Полученные результаты внесут вклад в раскрытие причинно-следственных взаимосвязей растительности озера и параметров среды, послужат основой для дальнейших мониторинговых наблюдений исследованных охраняемых объектов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования оз. Арбакалир и источника Чарский горячий ключ (рис. 1) были проведены в период открытой воды, в августе 2021 г., сотрудниками Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН. Выполнены батиметрические, гидрохимические, гидробиологические работы.

Гидробиологические исследования проведены согласно общепринятым методикам (Катанская, 1981). Изучение растительности проведено путем детально-маршрутного обследования с подробным описанием фитоценозов и определением глубины и характера грунта. Для подъема растений из водоема использовали якорь-кошку с металлической сеткой. Собрано 50 гербарных листов. Комплексные гидробиологические и гидрохимические исследования проведены на 6 станциях, расположенных в разных секторах. В ходе

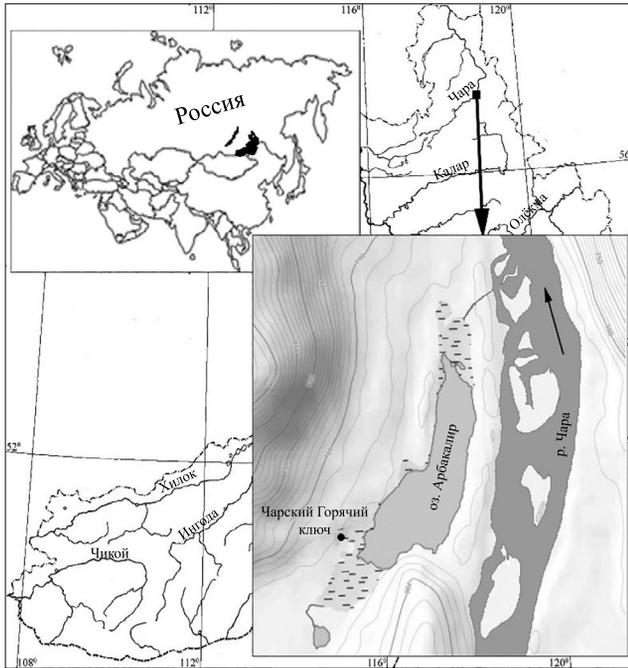


Рис. 1. Местоположение оз. Арбакалир с источником Чарский горячий ключ.

маршрутных наблюдений выполнено 84 описания. Крупные сообщества описывались на учетных площадках размером 100 м<sup>2</sup>, меньшие — в пределах их границ. Для расчета площади водных фитоценозов в ArcGIS составлены картосхема распространения видов и картосхема растительных сообществ. Общая площадь фитоценоза рассчитана как сумма площадей видов, занимаемых ими в водоеме (Катанская, 1981):

$$S_3 = \sum S_{\text{мм}} \cdot \text{ПП}, \text{ м}^2,$$

где S<sub>3</sub> — площадь зарослей на водном объекте, S<sub>мм</sub> — площадь сообщества, в состав которого входит конкретный вид, на картосхеме, ПП — проективное покрытие конкретного вида, входящего в данное сообщество.

Степень зарастания (Пс) водного объекта рассчитана как отношение площадь зарослей на водоеме к площади акватории озера.

Определение таксономической принадлежности цианобактерий на основании морфологических признаков проводили по М. М. Голлербаху с соавторами (1953) и по J. Komárek (2013). Для определения макроскопических водорослей использованы определители зигнемовых (Рундина, 1998), эдогониевых (Юнгер, Мошкова, 1993) и харовых (Голлербах, Красавина, 1983) водорослей. Определение видов осуществлялось с помощью микроскопов “Альтами” и “Биолам”. Таксономическая принадлежность сосудистых растений определена по “Флоре Сибири” (1988, 1993, 1997), мхов — по руководству “Мхи Среднего Урала” (Дьяченко, 1996). Номенклатура водорослей приведена по AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2022). Образцы хранятся в гербарии ИПРЭК СО

РАН, отдельные дублеты — в гербарии Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН (LE).

При классификации макроводорослей по способу прикрепления использована классификация J. D. Allan и M. M. Castillo (2007) с учетом положений, предложенных В. J. Biggs и С. W. Hickey (1994). Экологическая структура флоры дана по (Папченков, 2001). Выделение растительных ассоциаций проведено на основе доминантно-детерминантного подхода.

Математическая обработка полученных данных проводилась с использованием надстройки ExcelStat к пакету программ Microsoft Excel 2010. Для изучения взаимосвязей биоразнообразия макрофитов и характеристик среды применяли факторный анализ методом главных компонент (РСА).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе измерений глубин оз. Арбакалир установлено, что современные очертания озера сохраняют черты русла р. Чара с характерным чередованием мелководных частей (в южной и юго-западной части от 20 до 40 см, в северной части водоема — от 30 до 45 см) и более глубокой в центре водоема (65—70 см) (рис. 2). Площадь общего водного объекта (оз. Арбакалир и источник Чарский горячий ключ) составляет 346 810 м<sup>2</sup>. Температура поверхностного слоя воды в исследованных водных объектах колеблется от +16 до +40 °С. Наиболее высокие температуры зарегистрированы в местах выходов термальных вод, которые, поступая в озеро, охлаждаются до +22 °С. В местах впадения питающих озеро ручьев температура воды снижалась до +16 °С. У западного побережья температура воды выше, чем на большей части акватории. Это может свидетельствовать о субкавальной разгрузке термальных вод.

По химическому составу термальная вода источника Чарский горячий ключ хлоридно-сульфатная натриевая и относится к олекминскому типу — по названию источника на территории р. Олёкмы, где имеются источники такого анионного состава (Ломоносов и др., 1977). Озерная вода по составу анионов трехкомпонентная — хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-натриевая (табл. 1). Вода впадающего в озеро ручья — гидрокарбонатная натриево-кальциевая. Преобладание сульфата и натрия в озерной воде определяется участием в водном питании озера термальных вод.

Всего во флоре оз. Арбакалир и источника Чарский горячий ключ выявлено 56 таксонов из 31 семейств, 36 родов, относящихся к 7 отделам. При этом Cyanobacteria представлены 11 видами, Chlorophyta — 3, Charophyta — 8, Lycopodiophyta, Equisetophyta, Bryophyta представлены по одному виду. Цветковые растения представлены 31 видами, из 18 семейств, 20 родов. Наибольшим разнообразием характеризуются семейства Surireaceae, Potamogetonaceae, по 2 вида в семействах Agaceae, Juncaceae, остальные представлены по 1 виду.

Флора источника Чарский горячий ключ включает 24 таксона. Здесь наибольшего разнообразия

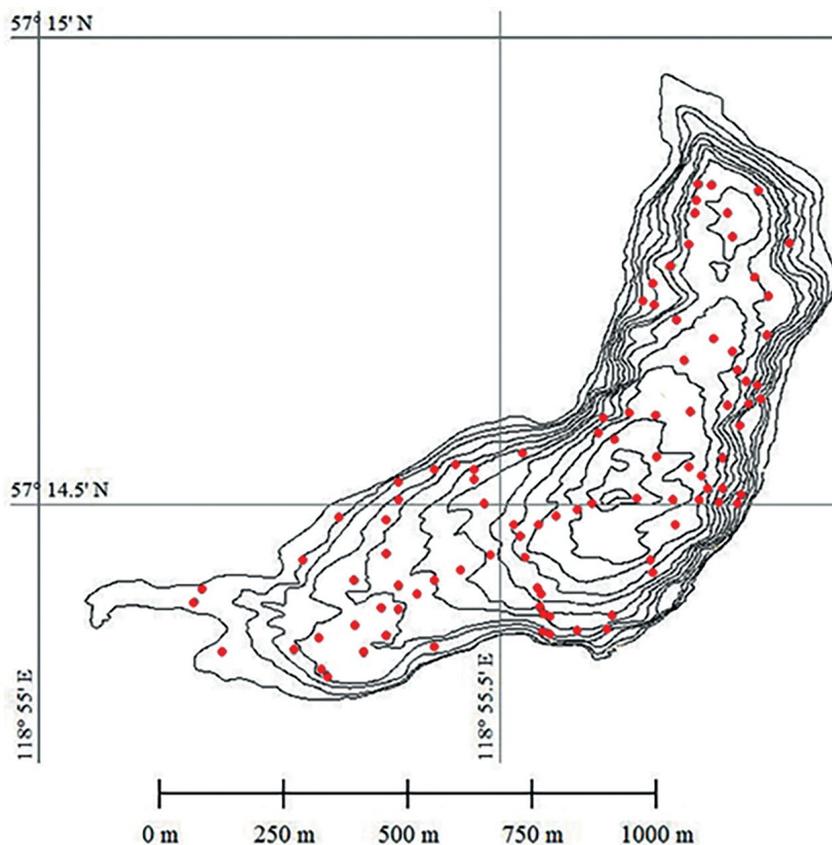


Рис. 2. Батиметрическая карта оз. Арбакалик (изобаты приведены через 5 см) с точками описания растительности.

Таблица 1. Химический состав вод оз. Арбакалик и источника Чарский горячий ключ

Показатель	Север	Центр	Юг	Источник 1	Источник 2	Ручей
pH	6.42	6.46	6.72	9.38	9.3	6.4
TDS, мг/л (М)	120.2	114.50	142.9	435.8	453.2	33.4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	25.9	28.40	36.9	12.4	19.8	20.5
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>				18.1	14.3	0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	37.2	28.70	39.3	175.8	184.7	0.97
Cl <sup>-</sup>	14.8	13.50	17.7	67.7	69	1.04
F <sup>-</sup>	1.81	1.90	2.44	8.81	8.74	0.19
Ca <sup>2+</sup>	8	7.92	9.3	9.23	9.2	5.77
Mg <sup>2+</sup>	0.9	0.91	0.77	0.25	0.05	0.96
Na <sup>+</sup>	30	31.80	35	141.4	145.2	3.3
K <sup>+</sup>	0.56	0.71	0.65	1.83	1.91	0.26
Si	1.68	1.59	5.69	26.6	25.6	4.25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.91	0.34	0.56	0.1	0.1	0.27
NO <sub>2</sub>	0.03	0.23	0.01	0.003	0.01	0.003
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.24	0.21	0.29	0.15	0.2	0.12
P <sub>общ</sub>	0.04	0.05	0.06	0.12	0.12	0.04

и развития достигли 2 отдела: Cyanobacteria и Charophyta. При этом, если Cyanobacteria формируют значимые цианобактериальные маты в термальных участках, роль харофитов возрастает в областях остывания термальных вод в устьях ручьев.

Во флоре оз. Арбакалир выявлено 38 таксонов. В отличие от источника, в озере развитие цианобактерий ограничено 3 видами. *Nostoc linckia* Born. ex Born. & Flah., формирующий в западной части водоема колонии диаметром до 5 см, является достаточно редким видом в водоемах Забайкальского края (Kuklin, unpubl. data). Эпифит *Tolypothrix tenuis* Kütz. ex Born. & Flah. изредка встречается на *Potamogeton compressus* L. в южной части водоема. Субстратом для развития *Gloeotrichia pisum* Thur. ex Born. & Flah. служат *Chara strigosa* A. Braun, мох *Drepanocladus aduncus* Warnstorff и рдесты на глубинах от 0.3 до 0.6 м. На отдельных растениях колонии *G. pisum* сливаются, образуя слизистый чехол.

Chlorophyta представлены 3 видами, эпифитно развивающимися на *Sagittaria natans* Pall. и *Sparganium emersum* Rehmann.

Среди Charophyta наибольшего развития в озере получил ледниковый реликтовый вид *Ch. strigosa*. Другим часто встречающимся представителем отдела Charophyta является *Mougeotia* sp., образующая куполообразные скопления в северной части водоема в окнах между зарослями *S. natans* и *Sp. emersum*. *Nitella* sp. встречается небольшими скоплениями в южной части озера.

Отделы Equisetophyta, Bryophyta и Lycopodiophyta представлены по 1 виду. Отдел Lycopodiophyta представлен *Isoetes echinospora* Durieu — реликтовым видом, включенным в Красную книгу Российской Федерации (Красная ..., 2021). Цветковые растения представлены 31 видами, 19 семействами, 19 родами. Наибольшим разнообразием характеризуются семейства Сурегасеае и Potamogetonaceae, остальные семейства представлены по 1 виду. Среди цветковых растений выявлен реликтовый вид *Caulinia flexilis* Willd, включенный в Красную книгу РФ (Красная ..., 2021) и региональную Красную книгу Забайкальского края (Красная ..., 2017).

По способу прикрепления макрофитные водоросли озера Арбакалир представлены 2 видами метафитона, 5 видами эпифитона. В экологической структуре флоры исследованных объектов выявлено 3 экотипа. Среди настоящих водных растений (экотип гидрофиты) обнаружено 38 видов. В его составе выделено 4 экологических группы: макроводоросли и водные мхи — 23 вида; погруженные укореняющиеся гидрофиты — 8 видов; укореняющиеся гидрофиты с плавающими в воде листьями — 5 видов; гидрофиты, свободно плавающие на поверхности воды, — 2 вида. Прибрежно-водные растения представлены 2 экотипами: высокотравные гелофиты — 2 вида, гидрофиты и гигромезофиты — 16 видов.

*Синтаксономический состав растительности.* В оз. Арбакалир и источнике Чарский горячий ключ выделено 12 формаций, 18 ассоциаций (табл. 2, рис. 3)).

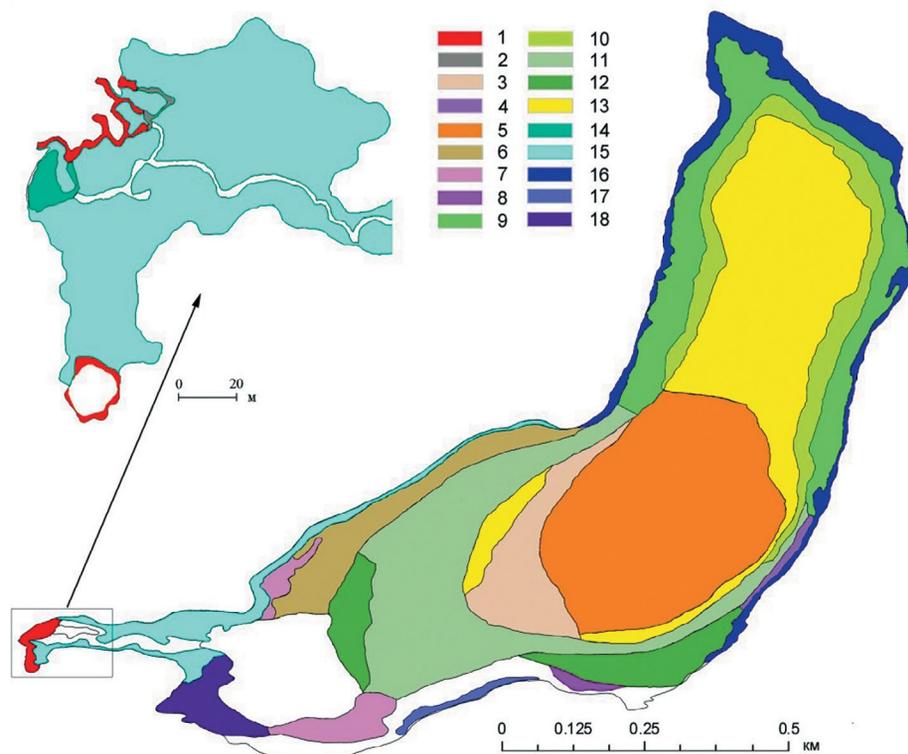


Рис. 3. Карта растительного покрова оз. Арбакалир и источника Чарский горячий ключ. Нумерация фитоценозов соответствует тексту.

**Таблица 2.** Синтаксономическая структура растительности исследованных водных объектов и доля их сообществ в зарастании

Класс формаций	Формации	Ассоциации
Гидрофиты	Группа формаций Макрофитные водоросли	
	1 Cyanophyteta	1 Cyanophytetum
	Группа формаций Погруженные укореняющиеся гидрофиты	
	2 Chareta	2 Charetum sp
		3 Charetum strigose
	3 Caulinieta	4 Caulinietum flexilis
	4 Potamogetoneta	5 Potamogetonetum perfoliatus
		6 Potamogetonetum berchtoldii
	5 Myriophyllumeta sibiricum	7 Myriophyllumetum sibiricum
	6 Callitricheta hermaphroditica	8 Callitrichetum hermaphroditica
	Группа формаций Погруженные укореняющиеся гидрофиты с плавающими на поверхности воды листьями	
	7 Sagittarieta natans	9 Sagittarietum natans
		10 Sagittaria–Isotesetum echinospora
		11 Sagittaria–Sparganiumetum emersum
12 Sagittaria Herbae		
8 Sparganiumeta emersum	13 Sparganiumetum emersum	
Группа формаций Гидрофиты, свободно плавающие на поверхности воды		
9 Lemneta trisulca	14 Lemnetum trisulca	
Гелофиты	Группа формаций Прибрежно-водные и воздушно-водные растения	
	10 Scrispeta tabernaemontani	15 Scrispetum tabernaemontani
	11 Carexeta	16 Carexetum nigra
		17 Carexetum aquatilis
12 Hippuriseta vulgaris	18 Hippurisetum vulgaris	

Настоящая водная растительность представлена 9 формациями и 14 ассоциациями. В гелофитной растительности выделено 3 формации 4 ассоциаций. Ниже приведен перечень выделенных сообществ с их краткой характеристикой. Зарастаемость озера составляет 88 % от его площади.

Сообщества сине-зеленых водорослей, или цианобактерии, широко распространены в различных континентальных водных объектах, однако классификации их фитоценозов в отечественной литературе уделяют мало внимания (Папченков, 2001). В некоторых случаях образуемые ими сообщества выделяют в «проценозы» — временные нестабильные группировки макрофитов, способные к быстрому и массовому развитию в течение некоторой части вегетационного сезона (Свириденко и др., 2012). В источнике Чарский горячий ключ сине-зеленые водоросли образуют стабильные фитоценозы.

1. Cyanophyteta создают основной фон растительности в горячих выходах источника Чарский горячий ключ, образуя цианобактериальные маты на площади 10 м<sup>2</sup>. На участках с температурой воды

40–50 °С на песчано-каменистых грунтах плотные скопления формирует *Leptolyngbya gelatinosa* (W.) An. & Kom., образуя моноспецифические фитоценозы слоем 3–7 мм на глубине 2–40 см. На участках источников, где отдыхающие принимают ванны, развитие *L. gelatinosa* ограничено узкой кромкой у берегов. В разливах с температурой от 12 до 20 °С и образуемых ими ручейках встречаются группировки из *Phormidium retzii* Kütz. ex Gom. и *Oscillatoria princeps* Vauch. ex Gom.

2. Charetum sp. доминант *Chara* sp., число видов 2; над *Chara* sp. *L. gelatinosa* формирует желеобразные скопления; проективное покрытие до 90 %; сообщество расположено в термальном ручье на глубине 35–40 см; грунт илистый; площадь 40 м<sup>2</sup>. По мере оттока горячей воды и ее охлаждения до +20...+25 °С появляются виды рода *Spirogyra*, *Mougeotia* sp.

3. Charetum strigose: доминант *Ch. strigosa* A. Braun, число видов 3, встречаются *D. aduncus* Warnstorf, *Potamogeton perfoliatus* L.; проективное покрытие 90 %; площадь 11 812 м<sup>2</sup>; распространен в центральном секторе озера на глубинах 20–40 см; грунт илистый.

4. *Caulinietum flexilis*: монодоминантное сообщество выявлено в литорали восточного сектора на глубинах 2—30 см; площадь 1 085 м<sup>2</sup>; проективное покрытие до 100 %; грунт илистый.

5. *Potametum perfoliatus*; доминант *P. perfoliatus*, число видов — 2, сопутствующий вид *Chara* sp., проективное покрытие до 80 %; площадь 64 141 м<sup>2</sup>, растет на глубинах 35—60 см в центральном секторе озера; грунт илистый.

6. *Potametum berchtoldii*: доминант *Potamogeton berchtoldii* Fieb., число видов 2, изредка встречается *Sagittaria natans* Pall, проективное покрытие до 100 %; площадь 14 308 м<sup>2</sup>; распространен в литорали западного сектора на глубинах 5—20 см; грунт илистый.

7. *Myriophyllum sibiricum*: доминант *Myriophyllum sibiricum* Kom.; число видов — 3, сопутствующий вид *Chara* sp., *Utricularis vulgaris* L.; проективное покрытие 35—65 %, площадь 6 597 м<sup>2</sup>; встречается в юго-западном секторе, на глубинах 5—15 см; грунт илистый.

8. *Callitriche hermaphroditica*; доминант *Callitriche hermaphroditica* L.; моноспецифическое сообщество с проективным покрытием до 50 %; встречающееся между валунов разного размера в южном прибрежье озера на глубине 5—15 см; занимает площадь 424,5 м<sup>2</sup>; грунт песчаный.

9. *Sagittarietum natans*: доминант *S. natans*; число видов — 3, встречаются *S. emersum*, *Isotes echinospora*; проективное покрытие до 100 %; образует пояс на глубинах 10—30 см в северной части озера; площадь 27 784 м<sup>2</sup>; грунт илистый.

10. *Sagittaria—Isotesetum echinospora*: доминанты: *S. natans* и *I. echinospora*; число видов — 4, встречается *S. emersum*, *P. compressus*; сообщество формирует пояс в северном (глубины 35—40 см) и восточном (25—30 см) секторах; площадь 19 444 м<sup>2</sup>; грунт илистый.

11. *Sagittaria—Sparganiumetum emersum*: доминанты *S. natans* и *S. emersum*; число видов — 3; встречаются *Chara* sp.; сообщество распространено в южном секторе озера на глубинах 20—45 см; проективное покрытие 45—100 %; площадь 36 704 м<sup>2</sup>; грунт илистый.

12. *Sagittaria—Herbae*: доминант *S. natans*, число видов 8; сопутствующие виды *Chara* sp., *D. aduncus*, *P. berchtoldii*, *P. compressus*, *Potamogeton gramineus* L., *P. perfoliatus*; проективное покрытие 70—85 %, встречаются в восточном (глубины 15—25 см) и южном (15—20 см) секторах озера; площадь 15 113 м<sup>2</sup>; грунт илистый.

13. *Sparganiumetum emersum*: доминант *S. emersum*, число видов — 4; встречаются *I. echinospora*; *Chara* sp., *P. perfoliatus*, *P. compressus*; сообщество распространено по северному (глубины 30—40 см), западному (30—35 см), восточному (35—40 см) секторам озера; проективное покрытие 50—90 %; общая площадь 66 024 м<sup>2</sup>; грунт илистый.

14. *Lemnetum trisulca*: доминант *Lemna trisulca* L.; число видов — 7; *L. trisulca* формирует скопления

в придонном слое, в толще воды и на поверхности воды обнаружены группировки цианобактерий *Oscillatoria princeps*, *Gloeotrichia pisum*, *Phormidium viride* (Vauch. ex Gom.t) Lemm., виды рода *Spirogyra*. Также изредка встречаются *Chara* sp. и редкие скопления *Lemna minor* L.; проективное покрытие до 100 %, встречается в разливах источника Чарский горячий ключ, на глубинах 15—30 см; площадь 20 м<sup>2</sup>.

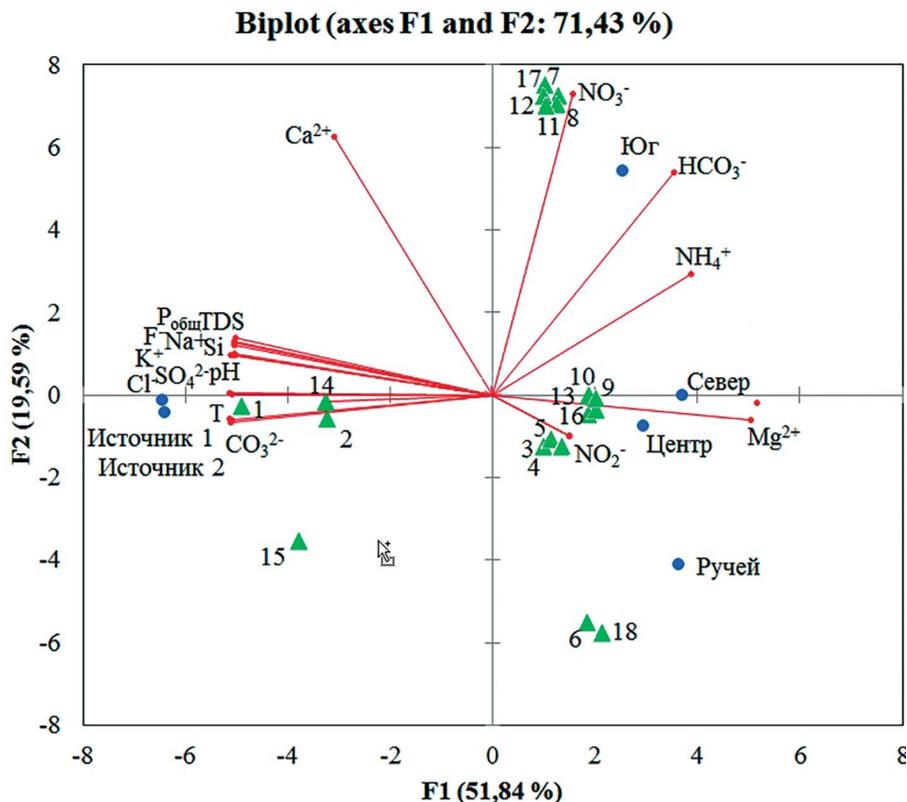
15. *Scrispetum tabernaemontani*: доминант *Scirpus tabernaemontani* C. C. Gmel.; число видов — 5; встречаются *Carex aquatilis* Wahlenb., *Equisetum palustre* L., *Eleocharis palustris*, *Equisetum palustre* L.; проективное покрытие 70—98 %; в озере распространен вдоль западного берега, заходя до глубины 20 см; общая площадь 10 800 м<sup>2</sup>; формирует монодоминантные сообщества на участке между источником Чарский горячий ключ и оз. Арбакалик; грунт песчаный.

16. *Carexetum nigra*: доминант *Carex nigra* subsp. *juncea* (Fr.) Soó; число видов — 5; встречаются *Carex vesicata* Meinsh., *Carex meyeriana* Kunth, *Sc. tabernaemontani*, *Eriophorum vaginatum* L.; проективное покрытие 50—70 %; занимает площадь 17 300 м<sup>2</sup>; распространен вдоль северо-западного, северного и северо-восточного берегов заходя в воду до глубины 10 см; грунт илисто-песчаный.

17. *Carexetum aquatilis*: доминант *C. aquatilis*, число видов — 3; встречаются *Carex utriculata* Boott, *C. nigra*; проективное покрытие до 30 %; занимает площадь 1 490 м<sup>2</sup>; на глубинах 0—5 см, на каменисто-песчаной литорали южного сектора.

18. *Hippurisetum vulgaris*: доминант *Hippuris vulgaris* L.; монодоминантное сообщество на площади 5 503 м<sup>2</sup>, встречается в юго-западной оконечности озера; грунт песчано-илистый.

*Факторы среды, определяющие растительность.* Для выявления ведущих факторов среды, определяющих распределение фитоценозов в исследованных объектах, проведен факторный анализ методом главных компонент. Факторный анализ переменных позволил выделить три главных компоненты, определяющие 84.29 % дисперсии фактических данных. Для визуализации результатов построен масштабированный биграф взаимных расположений станций наблюдений и исследованных переменных (рис. 4). Первая компонента, на долю которой приходится 51.84 % общей дисперсии, характеризуется высокой отрицательной корреляцией с температурой воды, pH, минерализацией, концентрацией CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> Si и P<sub>общ.</sub> Положительная связь с концентрацией Mg<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Выделенные факторные нагрузки определяют развитие фитоценозов *Suano-phytetum*, *Charetum* sp., *Lemnetum trisulca*, *Scrispetum tabernaemontani* в источнике Чарский горячий ключ. Вторая компонента (19.59 % дисперсии) характеризуется положительной связью с концентрацией NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, определяя состав растительности в южном секторе озера. В третью компоненту (12.87 %) объединены фитоценозы центрального и северного секторов.



**Рис. 4.** Масштабированный биграф ориентации между станциями исследования, их физико-химическими характеристиками и фитоценозами в пространстве двух компонент. Обозначения абиотических параметров представлены в табл. 1, нумерация фитоценозов соответствует тексту.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотренные результаты показывают, что в источнике Чарский горячий ключ представители отдела *Cyanobacteria* являются доминирующей группой. Важнейшим экологическим фактором, влияющим на развитие *Cyanobacteria* в термах, является температура воды (Никитина, 2000). В горячих выходах источника Чарский горячий ключ при температурах от +35 до +50 °С преобладает *Leptolyngbya gelatinosa*. Согласно J. Komárek и K. Anagnostidis (2005) вид описан из Грузии, известен также из Австрии, России и Новой Зеландии. По мере снижения температуры воды разнообразие цианобактерий растет. Достаточно богатая флора развивается при температурах от +26° до +30 °С и от +46° до +50 °С. Согласно исследованиям В. Н. Никитиной (2000) оптимум для развития цианобактерий лежит в пределах +31...+40 °С. Эти значения температуры можно считать жизненно благоприятной областью для *Cyanobacteria*. При меньших температурах (области тепловых выходов) *Cyanobacteria* вступают в конкурентные отношения с харовыми водорослями, а также представителями высшей водной растительности. Обнаруженная нами зависимость видового разнообразия *Cyanobacteria* от температуры воды совпадает с данными

ряда исследователей (Anagnostidis, 1961; Потапова, Брянская, 2008).

На формирование видового состава *Cyanobacteria* в термальных источниках оказывает влияние и pH. Источник Чарский горячий ключ характеризуется щелочной средой (pH = 9.3), что несколько выше оптимума, приведенного в литературе для *Cyanobacteria*. Так, наиболее благоприятными для развития богатых видами ценозов *Cyanobacteria* являются источники с нейтральными и близким к нейтральным значениями pH. Другие авторы в качестве оптимальных условий приводят щелочные биотопы (pH от 7.8 до 8.5) (Castenholz, 1969; Binder *et al.*, 1972).

Результаты исследования показывают, что доминирующий таксономический состав флоры оз. Арбакалир в целом характерен для водоемов России и мира (Распопов и др., 2011). Во флоре озера преобладают представители укореняющихся гидрофитов, высока доля укореняющихся гидрофитов с плавающими на поверхности воды листьями. Свободно плавающие в толще воды гидрофиты в озере отсутствуют, однако виды рода *Lemna* встречаются в прибрежной зоне источника.

Впервые за многолетние исследования разнотипных водоемов Забайкалья (Базарова, Пронин, 2006, 2009; Базарова, 2012; Базарова, Куклин, 2021) обследован водоем, в составе флоры которого установлено

произрастание сразу трех реликтовых видов (*C. strigosa*, *C. flexilis*, *I. echinospora*), что является редким явлением не только на территории Забайкалья, но в России. Видовое разнообразие макрофитов озера Арбакаликр чуть выше видового состава реликтовых озер Камско-Бакалдинских болот Нижегородской области. В озере Большое Плотово — 20 видов, Малое Плотово — 39, Красное — 25, Рябиновое — 21, Безрыбное — 19. При этом только в озере Безрыбное также одновременно растут 3 реликтовых вида *C. strigosa*, *C. flexilis*, *I. echinospora* (Беляков и др., 2021). В древних озерах Европейского северо-востока России насчитывают больше видов: озеро Ямозеро — 57 видов, Синдор — 63 вида и 1 гибрид; Донты — 88. Однако в них не присутствуют вышеперечисленные реликты (Тетерюк, 2012).

Мы предполагаем, что сложившийся состав и структура растительного покрова оз. Арбакаликр — результат комплексного сочетания особенности происхождения (ледово-моренный), температурного режима и гидрохимического состава вод. Эти факторы сформировали и поддерживают благоприятные условия для роста и развития реликтовых видов *I. echinospora*, *C. flexilis*, *C. strigosa* — первые два включены в Красную книгу РФ (Красная .., 2021), последний рекомендован.

По мнению М. Г. Попова (1955), *I. echinospora* является палеоарктическим реликтом, остатком теплолюбивой «среднеевропейской флоры». Известно несколько местонахождений *I. echinospora* в оз. Байкал, в Бурятии (Азовский, Чепинога, 2007). В Забайкальском крае *I. echinospora* ранее был указан в протоке, соединяющей озера Иван и Тасей (Флора .., 1988), в настоящее время данная протока высохла. Большой интерес представляет и находка ледникового реликта *C. flexilis* (Бирюкова и др., 2020). В Забайкалье и в России в целом отмечается рост числа находок данного вида. В 2015 г. вид регистрируется в пойме р. Аргунь. Одним из факторов прорастания семян считается температура воды более +20 °С (Красная .., 2003). *C. strigosa* — это ледниковый реликт Европы (Auderset, Schwarzer, 2012). По всему ареалу он является редким, находящимся под угрозой исчезновения. Новые находки вида в Северном Прибайкалье позволили предполагать более широкое распространение *C. strigosa* в этом регионе (Романов и др., 2014), что подтверждается нашей находкой. Кроме данных реликтовых видов в озере растет *Potamogeton natans* L. Это редкий для Забайкалья вид, встречающийся в ледниково-моренных озерах Хентей-Даурского нагорья: оз. Шебетуй (бассейн оз. Байкал) и в горных озерах бассейна р. Онон (Сохондинский заповедник). Согласно определителю «Флора Сибири» (Флора .., 1988) вид приводится также для высокогорных озер Каларского округа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Видовой состав и фитоценологическое разнообразие растительности оз. Арбакаликр и источника Чарский

горячий ключ — результат комплексного сочетания особенностей происхождения водоемов и современных физико-химических условий среды. Ведущими факторами, влияющими на распределение фитоценозов, являются температура воды, водородный показатель, минерализация, концентрация основных катионов, анионов и биогенных элементов. Выявленная взаимосвязь происхождения и физико-химических показателей водоема дает возможность предположить, что в озерах подобного типа в России и в мире могут произрастать редкие реликтовые виды (по одному или в комплексе). Комплексные экологические исследования северных озер Забайкальского края, в частности озера Чарской котловины, могут стать полигоном для выявления редких и исчезающих видов флоры и фауны.

Результаты исследования на озере Арбакаликр и источнике Чарский горячий ключ служат основой для мониторинговых наблюдений, особенно в настоящее время — на фоне роста туристического и бальнеологического интереса к данным объектам.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПрЭК СО РАН по теме № FUFР-2021-0006 «Геоэкология водных экосистем Забайкалья в условиях современного климата и техногенеза. Основные подходы к рациональному использованию вод и их биологических ресурсов».

## СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азовский М.Г., Чепинога В.В. Флора высших растений озера Байкал. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. 157 с.
- Базарова Б.Б. Многолетние изменения растительности оз. Кенон (Забайкальский край) // Известия ИГУ. 2012. № 5. С. 18—23.
- Базарова Б.Б., Куклин А.П. О современном состоянии и многолетней динамике флоры и растительности озера Гусиное (Республика Бурятия) // Экосистемы. 2021. № 25. С. 72—81.
- Базарова Б.Б., Пронин Н.М. Динамика водной растительности Чивыркуйского залива // Сибирский экологический журнал. 2006. № 13(6). С. 767—772.

- Базарова Б.Б., Пронин Н.М. Многолетние изменения водной растительности озера Шучье (Еравно-Харгинская озерная группа, Забайкалье) // Вестник КрасГАУ. 2009. № 4. С. 121—125.
- БАМ. Каларский район. Чита, 2014. 400 с.
- Беляков Е.А., Гарин Э.В., Бирюкова О.В., Шестакова А.А. Флора макрофитов и особенности зарастания некоторых реликтовых озер Камско-Бакалдинской группы болот (Нижегородская область) // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2021. № 15(3). С. 5—38. <https://doi.org/10.24412/2072-8816-2021-15-3-5-38>
- Бирюкова О.В., Чкалов А.В., Воротников В.П., Сырова В.В., Шестакова А.А., Широков А.И., Соловьев А.А. Новые данные по редким и охраняемым видам во флоре Нижегородской области // Фиторазнообразии Восточной Европы. 2020. № 14(2). С. 146—149. <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2020-10072>
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Сине-зеленые водоросли. М.: Сов. наука, 1953. 652 с.
- Голлербах М.М., Красавина Л.К. Определитель пресноводных водорослей СССР. Т. 14. Харовые водоросли. М.-Л.: Акад. наук СССР, Ленингр. отд-ние, 1983. 190 с.
- Дьяченко А.П. Мхи Среднего Урала. Определитель распространенных видов по рисункам. Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 1996. 168 с.
- Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л: Наука, Ленингр. отд-ние, 1981. 187 с.
- Красная книга Забайкальского края. Растения. Новосибирск: ООО “Дом мира”, 2017. 384 с.
- Красная книга Республики Мордовия. Т. 1. Саранск: Мордовское книжное изд-во, 2003. 288 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). 2021. <https://redbookrf.ru/>
- Ломоносов И.С., Кустов Ю.И., Пиннекер Е.В. Минеральные воды Прибайкалья. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1977. 244 с.
- Никитина В.Н. Синезеленые водоросли термальных местообитаний. Автореф. дис. докт. биол. наук. СПб.: СПбГУ, 2000. 44 с.
- Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. 200 с.
- Попов М.Г. Флора Байкальской Сибири и ее происхождение // Новая Сибирь: литературно-художественный альманах Иркутского отделения Союза писателей СССР. Кн. 33. Иркутск, 1955. С. 302—319.
- Потапова З.М., Брянская А.В. Влияние температуры на распределение цианобактерий в гидротермах северного Прибайкалья // Изв. Иркутского ГУ. 2008. № 1 (1). С. 123—128.
- Распопов И.М., Папченков В.Г., Соловьева В.В. Сравнительный анализ водной флоры России и мира // Изв. Самарского НЦ РАН. 2011. № 13 (1). С. 16—27.
- Романов Р.Е., Чемерис Е.В., Вишняков В.С., Чепинова В.В., Азовский М.Г., Куклин А.П., Тимофеева В.В. *Chara strigosa* (Streptophyta: Charales) в России // Бот. журн. 2014. № 99 (10). С. 1148—1161.
- Рундина Л.А. Зигнемовые водоросли России. СПб.: Наука, 1998. 351 с.
- Свириденко Б.Ф., Мамонтов Ю.С., Свириденко Т.В. Использование гидромacroфитов в комплексной оценке экологического состояния водных объектов Западно-Сибирской равнины. Сургут: ООО «Студия рекламы «Матрешка», 2012. 231 с.
- Тетерюк Б.Ю. Флора древних озер Европейского Северо-Востока России // Изв. Самарского НЦ РАН. 2012. № 14 (1—1). С. 82—90.
- Флора Сибири. Т. 1. Новосибирск: Наука, 1988. 200 с.
- Флора Сибири. Т. 6. Новосибирск: Наука, 1993. 310 с.
- Флора Сибири. Т. 11. Новосибирск: Наука, 1997. 296 с.
- Юнгер В.П., Мошкова Н.О. Едогониевые водоросли — Oedogoniales. Киев: Наукова думка, 1993. 412 с.
- Allan J.D., Castillo M.M. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Heidelberg, 2007. 436 p.
- Anagnostidis K. Untersuchungen über die Cyanophyceen einiger Thermen in Griechenland. Institut für Systematische Botanik und Pflanzengeographie der Universität, 1961. 322 p.
- Auderset J.D., Schwarzer A. Liste rouge characees. Espèces menacées en Suisse, état 2010. L'environnement pratique. Is. 1213. Geneve, 2012. 72 p.
- Biggs B.J., Hickey C.W. Periphyton responses to a hydraulic gradient in a regulated river in New Zealand // Freshwater Biol. 1994. № 32 (1). P. 49—59. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1994.tb00865.x>
- Binder A., Wilson K., Zuber H. C-phycocyanin from the thermophilic blue-green alga *Mastigocladus laminosus*, isolation, characterization and subunit composition // FEBS letters. 1972. № 20 (1). P. 111—116.
- Castenholz R.W. Thermophilic blue-green algae and the thermal environment // Bacteriological Reviews. 1969. № 33 (4). P. 476—504.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2022. <https://www.algaebase.org/>; searched on 10.04.2022.
- Komárek J. Cyanoprokaryota. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Berlin, 2013. № 19 (3). P. 1130 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 2. Teil: Oscillatoriales. Süßwasserflora von Mitteleuropa. München, 2005. P. 1—759.

## Flora and vegetation in the Lake Arbakalir and the spring Charsky Goryachy Klyuch (Charskaya Basin, Transbaikalia)

© 2024 В. В. Bazarova\*, #, А. Р. Kuklin\*, Т. V. Zhelibo\*, L. V. Zamana\*

\*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Hedorezova, 16a, Chita, 672014 Russia

#E-mail: bazarovabb@yandex.ru

As a result of comprehensive researches in the Lake Arbakalir and the Spring Charsky Goryachy Klyuch during the growing season in 2021, the physical and chemical parameters of water, species and phytocenotic diversity of vegetation were studied. 56 taxa from 7 divisions of which 31 species belong to flowering plants, 22 species to macroalgae, one species in each to bryophytes, horsetails and lycophytes were identified in the flora of water bodies. Two species are included in the Red Book, both at the federal and regional levels. Two species are classified as relict. The structure of the flora contains species of three ecotypes, of which 38 species (67.9%) belong to true aquatic plants. 18 associations from 12 formations were identified in the syntaxonomic structure of aquatic and coastal aquatic vegetation. Based on factor analysis, the main factors influencing the distribution of phytocenoses are water temperature, pH, mineralization, and main cation, anion and nutrient contents.

*Key words:* *Isoetes echinospora*, *Caulinia flexilis*, relict species, cyanobacterial mats, factor analysis.