

## Таксономическое разнообразие диатомовых водорослей эпилитона оз. Иткуль (Республика Хакасия)

### Taxonomic diversity of diatoms of the epilithon of Lake Itkul (Republic of Khakassia)

Макеева Е. Г.<sup>1,2</sup>, Михайлина Н. Р.<sup>2</sup>

Makeeva E. G.<sup>1,2</sup>, Mikhajlina N. R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Государственный природный заповедник «Хакасский», г. Абакан, Россия. E-mail: meg77@yandex.ru

<sup>1</sup> Khakassky State Nature Reserve, Abakan, Russia

<sup>2</sup> Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан, Россия. E-mail: monro\_0404@mail.ru

<sup>2</sup> Katanov Khakassky State University, Abakan, Russia

**Реферат.** В работе приводятся сведения о таксономическом составе диатомовых водорослей эпилитона оз. Иткуль (Республика Хакасия) в условиях повышения уровня воды за последние годы (2018–2023 гг.). Задокументирован факт перемещения сплавин тростника по озеру в результате их отторжения с западной части водоема и закрепления на мелководных участках других берегов. В связи с этим обсуждаются возможные причины появления видов водорослей, ранее не зарегистрированных в озере. В статье приводится список видов диатомовых водорослей, выявленных в эпилитоне оз. Иткуль в 2023 г. Таксономическое разнообразие диатомей составляло 95 видов (96 видовых и внутривидовых таксонов), из них 25 – новые для озера виды. Установлено высокое содержание в составе эпилитона малоактивных и неактивных видов (встречаемость 0–20 %), составляющих 65,6 % от общего числа видовых и внутривидовых таксонов. Особо активным видом со 100 % встречаемостью являлась *Mastogloia lacustris*. Выделены доминанты: *Mastogloia lacustris*, *Meridion circulare*, *Achnanthidium minutissimum*. Проведено сравнение результатов настоящих исследований с данными 2006–2009 гг., согласно которому можно заключить, что, с одной стороны, состав эпилитона характеризуется относительным постоянством: наблюдаются совпадения в головной части спектра ведущих семейств, в составе ведущих родов, части доминирующих и содоминирующих видов. С другой стороны, произошли некоторые преобразования в семейственном и родовом спектрах, в число доминантов вошли ранее неактивные виды; среди видов-индикаторов солености увеличилось число галофобов, среди групп по приуроченности к pH среди появились ацидофилы и ацидобионты. Данные изменения возможно обусловлены поднятием уровня воды и требуют дальнейших наблюдений.

**Ключевые слова.** Диатомовые водоросли, оз. Иткуль, Республика Хакасия, таксономический состав, эпилитон.

**Summary.** The article presents data on the taxonomic composition of diatom algae of the epilithon of Lake Itkul (Republic of Khakassia) under the conditions of water level rise in recent years (2018–2023). We recorded the fact of movement of quagmires with *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. along the lake. They were detached from the waterlogged western shore of the lake and rooted on shallow areas of other shores. In this regard, the article discusses possible reasons for the emergence of new species that were not previously recorded in the lake. 95 species (96 species and infraspecific taxa) were identified in the epilithon of Lake Itkul in 2023. 25 species of diatoms were new for the lake. Most species in the epilithon (65.6 % of the total number of species and infraspecific taxa) were low-active and inactive (occurrence 0–20 %). *Mastogloia lacustris* was an especially active species with 100 % occurrence. The species *Mastogloia lacustris*, *Meridion circulare*, *Achnanthidium minutissimum* dominated in the epilithon of the lake in 2023. We compared the results of our studies with data from 2006–2009. On the one hand, the composition of the epilithon is characterized by relative constancy: there are coincidences in the head part of the spectrum of leading families, in the composition of leading genera, and part of the dominant and co-dominant species. On the other hand, there were some transformations in the family and genus spectra, previously inactive species became dominants, the number of halophobes increased among salinity indicator species, acidophiles and acidobionts appeared among the groups related to pH of the environment. These changes may have occurred due to rising water levels. Further observations on the composition of diatom complexes are required.

**Key words.** Diatoms, epilithon, Lake Itkul, Republic of Khakassia, taxonomic composition.

Иткуль – одно из самых чистых, пресных озер Хакасии, большая часть акватории озера находится в границах государственного природного заповедника «Хакасский», участка «Озеро Иткуль» (Ширинский район Республики Хакасия). Наблюдения последних лет показывают изменение уровня воды данного водного объекта, что может отразиться на составе сообществ гидробионтов. Сотрудниками заповедника пристальное внимание отводилось мониторингу фитопланктона озера, в то время как исследования фитоперифитона проводились лишь в период с 2006 по 2009 гг. (Природный комплекс..., 2010). Одним из основных биотических компонентов перифитона являются диатомовые водоросли, активно использующиеся в качестве индикаторов в отношении различных параметров окружающей среды. Нами исследованы диатомовые водоросли эпилитона озера с целью анализа изменения видового состава в условиях повышения уровня воды.

Площадь озера составляет 23,25 км<sup>2</sup>, площадь водосборного бассейна – 372 км<sup>2</sup>, максимальная глубина – 17 м. Озеро пресное, с суммарным содержанием растворенных солей – 0,6–0,7 г/л, pH = 7,2–8,9. Вода гидрокарбонатная натриево-кальциево-магниевая. С юго-западной стороны в оз. Иткуль впадает р. Карыш и два ручья: Карасук (Харсуг) и Шел-Сух (Шелсуха, Шексуг), в многоводный период происходит сток по руслу периодически пересыхающего руч. Тушининский (Тушинский) (Природные воды..., 2003; Архипова и др., 2014; Гусева, Савичев, 2016), впадающего в оз. Тушинино, затем в оз. Орлово и далее в р. Туим. На данном ручье между озерами построена дамба с дренажной трубой. Имеется отток воды не только по русловой сети в р. Туим, но и в виде фильтрационного потока в р. Туим и рядом расположенные водоемы, а также подземный сток в оз. Шира (Савичев и др., 2015). Западный и юго-западный берега озера заболочены.

Материалом для настоящего исследования послужили качественные пробы фитоэпилитона (13 штук), собранные в период июня по сентябрь 2023 г. с 7 станций отбора проб, расположенных вдоль северного, восточного, южного берегов озера по стандартной методике (Водоросли: Справочник, 1989). Обработку диатомовых водорослей проводили по методу холодного сжигания хромовой смесью, для приготовления постоянных препаратов использовали анилин-формальдегидную смолу А. А. Эльяшева. Видовой состав водорослей фитоперифитона определяли с помощью светового микроскопа «Olympus CX41». Таксономический список водорослей составлен в соответствии с AlgaeBase (Guiry M. D., Guiry G. M., 2023). По шкале Стармаха выделяли доминантные (5 баллов) и содоминантные виды (4 балла) по относительному обилию в препарате. Также виды распределяли по группам активности в соответствии со значениями их относительной частоты встречаемости в процентах от общего числа проб. Экологическую характеристику видов определяли согласно работам С. С. Бариновой и др. (2006, 2019).

В ходе исследования в фитоэпилитоне оз. Иткуль нами было обнаружено 95 видов (96 видовых и внутривидовых таксонов) диатомовых водорослей, относящихся к 2 классам, 13 порядкам, 23 семействам, 44 родам: *Achnanthidium lineare\** W. Smith, *A. minutissimum* (Kützing) Czarnecki, *Amphora ovalis* (Kützing) Kützing, *A. pediculus* (Kützing) Grunow, *Aneumastus rostratus* (Hustedt) Lange-Bertalot, *A. tusculus* (Ehrenberg) D. G. Mann et A. J. Stickle, *Brachysira brebissonii* R. Ross, *B. exilis* (Kützing) Round et D. G. Mann, *Cocconeis euglypta* Ehrenberg, *C. placentula* Ehrenberg, *Cymatopleura elliptica* (Brébisson) W. Smith, *Cymbella affinis* Kützing, *C. cistula* (Ehrenberg) O. Kirchner, *C. cymbiformis* C. Agardh, *C. helvetica* Kützing, *C. stuxbergii\** (Cleve) Cleve, *C. ventricosa* Kützing, *Cymbopleura angustata* (W. Smith) Krammer, *C. amphicephala* (Nägeli ex Kützing) Krammer, *Diatoma elongata* (Lyngbye) C. Agardh, *Diploneis parma* Cleve, *Encyonema leibleinii\** (C. Agardh) W. J. Silva, R. Jahn, T. A. V. Ludwig et M. Menezes, *E. ventricosum* (C. Agardh) Grunow, *Encyonopsis cesatii* (Rabenhorst) Krammer, *E. microcephala* (Grunow) Krammer, *Epithemia argus* (Ehrenberg) Kützing, *E. gibba* (Ehrenberg) Kützing, *E. parallela* (Grunow) Ruck et Nakov, *E. smithii* Carruthers, *Eucocconeis quadratarea\** (Østrup) Lange-Bertalot, *Eunotia exigua\** (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst, *E. tenella\** (Grunow) Hustedt, *Fragilaria amphicephaloidea* Lange-Bertalot, *Frustulia crassinervia\** (Brébisson ex W. Smith) Lange-Bertalot et Krammer, *Gomphonella calcarea* (Cleve) R. Jahn et N. Abarca, *G. olivacea* (Hornemann) Rabenhorst, *Gomphonema acuminatum* Ehrenberg, *G. acuminatum* var. *longiceps* (Ehrenberg) N. Abarca et R. Jahn, *G. angustatum* (Kützing) Rabenhorst, *G. coronatum* Ehrenberg, *G. subclavatum\** (Grunow) Grunow, *G. truncatum\** Ehrenberg, *G. ventricosum\** W. Gregory, *Hannaea arcus\** (Ehrenberg) R.M. Patrick, *H. arcus* var. *amphioxys\** (Rabenhorst), *H. inaequidentata\** (Lagerstedt) Genkal et Kharitonov, *Hantzschia amphioxys\** (Ehrenberg) Grunow, *Lindavia antiqua\** (W. Smith) Nakov, Guillory, M. L. Julius, E. C. Theriot et A. J. Alverson, *Mastogloia albertii* Pavlov, Jovanovska, Wetzel, Ector et Levkov, *M. braunii* Grunow, *M. danseyi* (Thwaites) Thwaites ex W. Smith, *M. elliptica* (C. Agardh) Cleve, *M. lacustris* (Grunow) Grunow, *M. smithii* Thwaites ex W. Smith, *Meridion*

*circulare* (Greville) C. Agardh, *Navicula cryptocephala* Kützing, *N. exilis* Kützing, *N. laterostrata* Hustedt, *N. radiosa* Kützing, *N. reinhardtii* (Grunow) Grunow, *N. veneta* Kützing, *N. viridula* (Kützing) Ehrenberg, *Neidium longiceps\** (W. Gregory) R. Ross, *N. dubium* (Ehrenberg) Cleve, *Nitzschia angustata* (W. Smith) Grunow, *N. denticula* Grunow, *N. dissipata* (Kützing) Rabenhorst, *N. fonticola* (Grunow) Grunow, *N. linearis* W. Smith, *N. sublinearis* Hustedt, *Odontidium hyemale* (Roth) Kützing, *O. mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Pantocsekia ocellata* (Pantocsek) K. T. Kiss et Ács, *Paraplaconeis placentula* (Ehrenberg) Kulikovskiy et Lange-Bertalot, *Pinnularia decrescens\** (Héribaud) F. W. Mills, *P. interrupta\** W. Smith, *P. microstauron* (Ehrenberg) Cleve, *Placoneis elginensis\** (W. Gregory) E. J. Cox, *P. exigua* (W. Gregory) Mereschkovsky, *P. placentula* var. *rostrata* (Mayer) N. A. Andresen, Stoermer et R. G. Kreis, Jr., *Planothidium lanceolatum* (Brébisson ex Kützing) Lange-Bertalot, *Psammothidium marginulatum\** (Grunow) Bukhtiyarova et Round, *P. kryophilum\** (J. B. Petersen) E. Reichardt, *Pseudostaurosira parasitica\** (W. Smith) E. Morales, *Reimeria sinuate* (W. Gregory) Kocielek et Stoermer, *Rhopalodia gibba* var. *ventricosa* (Kützing) H. Peragallo et M. Peragallo, *R. gibberula* (Ehrenberg) O. Müller, *Sellaphora bacillum\** (Ehrenberg) D. G. Mann, *Staurosira construens* Ehrenberg, *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) D. M. Williams et Round, *Stephanodiscus hantzschii\** Grunow, *Surirella librile* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kützing, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, *U. capitata* (Ehrenberg) Compère, *U. delicatissima* var. *angustissima\** (Grunow) Aboal et P. C. Silva, *U. ulna* (Nitzsch) Compère.

Выявлено 25 таксонов диатомовых водорослей, ранее не встречавшихся в оз. Иткуль, они отмечены знаком «\*». Вероятно, это связано с изменениями гидрологического режима озера, который подвержен периодическим колебаниям и зависит от величины стока р. Карыш, руч. Карасук и Шел-Сух, количества атмосферных осадков и притока подземных вод (Архипова и др., 2014). В 2017 г. на территории исследования наблюдалось максимальное количество годовых осадков за последние 20 лет – 500 мм, с 2006 по 2023 гг. изменения количества осадков характеризовались положительным коэффициентом линейного тренда с величиной достоверности аппроксимации 0,3579 (на основе анализа данных по метеостанции Шира). С 2018 г. наблюдалось увеличение уровня воды озера, с максимальным значением в 2021 г. (по данным гидропоста оз. Иткуль), когда уровень воды поднялся на 1 м, по сравнению с 2020 г. В 2021–2023 гг. со стороны заболоченного западного берега отрывались дерновины тростника южного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) или острова-сплавины (основу которых также составляет тростник) и разносились по всему водоему. Возможно, с их миграцией связано распространение новых видов. А также из-за восстановившейся связи с оз. Тушинино через руч. Тушинский при поднятии уровня воды.

К ведущим семействам относились: *Cymbellaceae*, *Gomphonemataceae*, *Naviculaceae*, *Mastogloiaeae*, *Bacillariaceae*, *Rhopalodiaceae*, *Ulnariaceae*; к ведущим родам – *Gomphonema*, *Navicula*, *Mastogloia*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Epithemia*.

Наибольшее количество видов было зарегистрировано в обрастаниях камней с северного и южного берегов во второй декаде июля – по 33 вида. На восточном берегу, где присутствует достаточно высокая ветроволновая нагрузка на сообщества, максимальное число видов (27) обнаружено в августе.

Распределение водорослей по группам активности показало высокое содержание в составе эпилитона малоактивных и неактивных видов (встречаемость 0–20 %), составляющих 65,6 % от общего числа видовых и внутривидовых таксонов. Особо активным видом со 100 % встречаемостью являлась *Mastogloia lacustris*; высокоактивными видами: *Epithemia gibba* (встречаемость 61,5 %), *Mastogloia albertii*, *Cymbella helvetica*, *Gomphonema acuminatum* var. *longiceps*, *Reimeria sinuata*, *Achnanthidium minutissimum*, *Navicula cryptocephala*, *N. veneta*, *Nitzschia linearis*, *N. sublinearis*, *Epithemia argus*, *E. parallela*, *E. smithii* (встречаемость 53,9 %).

К доминантам относились: *Mastogloia lacustris*, *Meridion circulare*, *Achnanthidium minutissimum*; к содоминантам – *Fragilaria amphicephaloidea*, *Odontidium hyemale*, *Cymbella affinis*, *Cymbella helvetica*.

Если сравнивать таксономический состав эпилитона оз. Иткуль с более ранними исследованиями 1934 г. (Попова, 1946), то можно отметить, что все виды, указанные тогда в обрастаниях камней, обнаружены нами в озере. Часть видов, регистрируемых Т. Г. Поповой, например, *Achnanthidium minutissimum*, *Epithemia argus*, *Gomphonella olivacea*, также обнаружены нами в эпилитоне с частотой встречаемости 30,8–53,9 %; другие виды как *Achnanthidium biasolettianum* (Grunow) Lange-Bertalot, *Encyonopsis microcephala* (Grunow) Krammer, *Cymbella parva* (W. Smith) Kirchner, *Epithemia sorex* Kützing, *Nitzschia frustulum* (Kützing) Grunow, *N. pusilla* Grunow присутствовали в 2023 г. в других альгологических сообществах. Для того времени автор отмечала отсутствие наземного стока и незначительную зарастаемость озера.

Из 66 видовых и внутривидовых таксонов, характерных для эпилитона оз. Иткуль в период 2006–2009 гг. (Природный комплекс..., 2010), в пробах 2023 г. присутствует половина состава – 33 таксона. Таким образом, из 96 обнаруженных в 2023 г. таксонов, 38 – новые для эпилитона, 25 таксонов – новые для озера. В спектр ведущих семейств в 2023 г. также вошли Mastogloiaeae, Bacillariaceae, Ulnariaceae, семейство Fragilariaeae утратило свои ведущие позиции. Головная часть спектра ведущих семейств (первое и второе места) осталась прежней. Число и состав ведущих родов не изменились, но поменялся их ранг относительно друг друга. Ведущие позиции стали занимать роды *Gomphonema* и *Navicula*, вместо *Cymbella* и *Epithemia*. Как и в 2006–2009 гг., в 2023 г. в эпилитоне доминировала *Mastogloia lacustris* (повсеместно), содоминировали: *Cymbella affinis* и *C. helvetica* (южный берег). В 2023 г. в число доминантов вошли также *Meridion circulare* (в районе восточного берега, где в литорали происходит постоянный волноприбойный процесс) и *Achnanthidium minutissimum* (повсеместно), ранее неактивные виды. В период настоящего исследования в эпилитоне не был обнаружен массовый в 2006–2009 гг. вид *Diatoma tenuis*, вместо него обильно развивались *Fragilaria amphicephalooides* (юго-восточный берег) и *Odontidium hyemale* (восточный берег).

Из 25 новых таксонов 28,0 % составляли галофобы (*Eunotia exigua*, *E. tenella*, *Frustulia crassinervia*, *Hannaea inaequidentata*, *Lindavia antiqua*, *Pinnularia decrescens*, *Psammothidium marginulatum*), остальные – индифференты по отношению к солености воды. Среди индикаторов кислотности воды 36,0 % приходилось на долю индифферентов, 28,0 % – алкалифильных видов, 20 % – ацидофилов, 8,0 % – нейтрофилов, по 4,0 % ацидобионтных и алкалибионтных видов. Из 16 видов с известным отношением к органическому загрязнению преобладали олигосапробы – индикаторы чистых вод.

При сравнении экологических спектров эпилитона 2006–2009 гг. и 2023 г. обращает на себя внимание увеличение числа галофобов на 8,9 %, уменьшение числа галофилов и мезогалобов на 5,4 и 2,8 % (соответственно), к 2023 г., количество индифферентов не изменилось (74,2 и 74,0 %). В 2023 г. среди групп по приуроченности к рН среды появились ацидофилы (*Eucocconeis quadratarea*, *Eunotia tenella*, *Frustulia crassinervia*, *Lindavia antiqua*, *Psammothidium marginulatum*) и ацидобионты (*Eunotia exigua*).

По экологической характеристике данных видов можно предполагать о процессах заболачивания водоема в последнее время. Однако все новые для водоема виды относились к неактивным и малоактивным по частоте встречаемости, а их число в препарате составляло от одного до пяти, кроме *Hannaea arcus* var. *amphioxys* – до 18 клеток в препарате и *Ulnaria delicatissima* var. *angustissima* – 12 (идифференты по отношению к солености, алкалифильные виды).

Таким образом, состав эпилитона оз. Иткуль характеризуется относительным постоянством, а его изменения обусловлены, скорее всего, поднятием уровня воды и требуют дальнейших наблюдений для адекватной оценки происходящих явлений.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Архипова Н. В., Макаренко Н. А., Парначев В. П., Архипов А. Л.** Экогеохимические особенности почвенного покрова и донных отложений кластерного участка «Озеро Иткуль» государственного природного заповедника «Хакасский» // Вестник Томск. гос. ун-та, 2014. – № 386. – С. 193–200.
- Баринова С. С., Белоус Е. П., Царенко П. М.** Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. – Хайфа; Киев: Изд-во Ун-та Хайфы, 2019. – 367 с.
- Баринова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В.** Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pilies Studio, 2006. – 498 с.
- Водоросли: Справочник / С. П. Вассер [и др.]; под ред. С. П. Вассер. – Киев: Наук. думка, 1989. – 608 с.
- Гусева Н. В., Савичев О. Г.** Гидрохимический баланс системы озер Иткуль – Шира (Хакасия, Российская Федерация) // Сиб. экол. журн., 2016. – Т. 23, № 5. – С. 718–728. DOI: 10.15372/SEJ20160509
- Попова Т. Г.** К познанию альгофлоры водоемов северной Хакасии. Ч. I. Альгофлора водоемов Ширинской (Качинской) степи // Изв. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Сер. биол., 1946. – № 1. – С. 41–72.
- Природные воды Ширинского района Республики Хакасия** / Под ред. В. П. Парначева. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 2003. – 183 с.
- Природный комплекс и биоразнообразие участка «Озеро Иткуль» заповедника «Хакасский» / Коллектив авторов. Под ред. В. В. Непомнящего. – Абакан: Хакасское книжн. изд-во, 2010. – 418 с.
- Савичев О. Г., Гусева Н. В., Абдуллаев Б. Д.** Водный баланс системы озер Шира – Иткуль (Хакасия) // Вестник Томск. гос. ун-та, 2015. – № 391. – С. 214–219. DOI: 10.17223/15617793/391/34
- Guiry M. D., Guiry G. M.** AlgaeBase World-wide electronic publication, National Universityof Ireland, Galway (2023). URL: <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 23.12.2023).