

О водных макрофитах в условиях ультраконтинентального климата Верхней Индигирки

On aquatic macrophytes in the ultracontinental climate conditions of the Upper Indigirka River

Чемерис Е. В.¹, Филиппова В. А.², Конотоп Н. К.¹, Бобров А. А.¹

Chemieris E. V.¹, Filippova V. A.², Konotop N. K.¹, Bobrov A. A.¹

¹ Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия. E-mail: lechem@ibiw.yaroslavl.ru

¹ Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

² Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия

² Institute for Biological Problems of Permafrost SB RAS, Yakutsk, Russia

Реферат. Представлены первые результаты исследования водных макрофитов района Верхней Индигирки. Видовой состав насчитывает ~84 видов (~74 сосудистых растений и более 10 криптогамных макрофитов). Исследованы 46 водоёмов разного возраста, размера и происхождения (тектонического, ледникового, речного, термокарстового и искусственного). Для каждого типа водоёмов приводятся основные экологические характеристики, особенности видового состава и растительного покрова. Наиболее распространённый тип водоёмов – термокарстовые, здесь отмечено и наибольшее флористическое разнообразие (54 вида). В тектонических озёрах отмечено 40 видов, в речных – 37, в ледниковых – 35, самое низкое разнообразие характерно для малых искусственных водоёмов. Для Оймяконского р-на сообщается о новых находках охраняемых видов: макроводоросли *Tolypella canadensis*, сосудистых растений *Isoëtes echinospora*, *Nuphar pumila*, *Nymphaea tetragona* (обычной и редкой розовоцветковой формы) и *Subularia aquatica*. Обсуждаются возможные последствия для водных экосистем при сохранении современных тенденций изменения климата (повышение среднегодовой температуры, смещение на более ранние сроки весеннего тепла, изменение количества и распределения осадков, пожары, глубины сезонного протаивания грунтов), приводящих к деградации многолетней мерзлоты и их влияние на биоразнообразие водных макрофитов региона. Самые уязвимые водные экосистемы – зрелые термокарстовые озёра Оймяконского нагорья.

Ключевые слова. Изменение климата, многолетняя мерзлота, новые находки, озёра, Оймяконское нагорье, охраняемые виды, флора водоёмов, Якутия.

Summary. The first results of the study of aquatic macrophytes of the Upper Indigirka River area are presented. The species composition includes ~84 species (~74 vascular plants and more than 10 cryptogamous macrophytes). 47 water bodies of different age, size and origin (tectonic, glacial, river, thermokarst and artificial) were studied. For each type of water bodies, the main ecological characteristics, features of the species composition and vegetation cover are given. The most common type of water bodies of the territory is thermokarst, and the greatest floristic diversity (54 species of macrophytes) is found here. There are 40 species in tectonic lakes, 37 – in rivers lakes, 35 – in glacial lakes, the lowest diversity was for small artificial waterbodies. For the Oymyakon District, new records of protected species are reported: macroalga *Tolypella canadensis*, vascular plants *Isoëtes echinospora*, *Nuphar pumila*, *Nymphaea tetragona* (common and its rare pink-flowered form) and *Subularia aquatica*. Possible consequences for aquatic ecosystems while maintaining current trends in climate change (increase in average annual temperature, shift to earlier periods of spring warmth, changes in the amount and distribution of precipitation, depth of seasonal thawing of soils) leading to degradation of permafrost and their impact on the biodiversity of aquatic macrophytes in the region are discussed. The most vulnerable aquatic ecosystems of the Oymyakon Highlands are the mature thermokarst lakes.

Key words. Climate change, lakes, new finds, Oymyakon Highlands, permafrost, protected species, water flora, Yakutia.

Введение. Территория бассейна Верхней Индигирки расположена в Республике Якутия и находится в пределах двух крупных геологических образований – Верхояно-Колымской складчатой области и частично Охотско-Чукотского вулканно-плутонического пояса (Куйдусунское вулканическое поле). Значимая её часть соотносится с Оймяконским нагорьем, для которого характерно сочетание плоских возвышенностей с абсолютными высотами 400–650 м, межгорных впадин и невысоких хреб-

тов, окруженных горными массивами Верхоянского хребта с запада и хребта Черского с востока. Здесь господствует субарктический резко континентальный климат с максимальными в Северном полушарии абсолютными колебаниями температур, достигающими более 100 °С. Для территории характерно небольшое среднегодовое количество осадков, ~200 мм, в горных районах до 600 мм, из них большая часть выпадает в летний период. Это место известно как полюс холода. Для всего района исследованный характерно распространение сплошной толщи многолетних мёрзлых пород мощностью 150–500 м и более. Подробнее с особенностями природных условий можно ознакомиться в следующих работах (Республика Саха (Якутия), 2009; Кузнецова и др., 2010). С позиций флористического районирования территория принадлежит самому крупному Яно-Индибирскому району, который по оценке исследователей флоры Якутии до сих пор недостаточно изучен (Разнообразие растительного ..., 2005; Николин, 2013), а водная флора, как показали наши первые результаты, ранее фактически не изучалась. Имеются данные обработки водных растений из гербарных коллекций научных учреждений г. Якутска (Бобров, Мочалова, 2014), хорошо изучен видовой состав сосудистых растений долины р. Колымы (Бобров, Мочалова, 2017), есть общие флористические сводки для Якутии (Разнообразие растительного ..., 2005; Определитель высших ..., 2021), для основной долины Средней Лены (Николин и др., 2022). Данные о водной растительности для Центральной Якутии содержатся в единичных публикациях (Гоголева и др., 2016; Филиппова, 2012, 2017). Однако о флористическом разнообразии водоёмов и специфике видового состава отдельных флористических районов судить по таким работам можно лишь косвенно.

В данном сообщении приводим первые результаты изучения особенностей растительного покрова водоёмов Верхней Индигирки.

Материал и методы. Основные материалы получены в ходе маршрутных исследований флоры разнотипных водоёмов во время экспедиционных исследований летом 2022 г. в Якутии в Оймяконском и частично Томпонском р-не. Изучена флора 46 водных объектов: озёр разного размера и происхождения, наледных луж, ручьёв, придорожных обводнённых дренажных канав и мест выемки грунта. Во всех исследованных водных объектах с помощью портативного многопараметрового анализатора Hanna HI 98130 измерялись основные характеристики водной среды (температура, общая минерализация, рН), визуально оценивались режим обводнения, грунты. Также оценивалась глубина произрастания растений, механический состав грунтов, степень зарастания водоёма, антропогенное воздействие на водоём и окружающий ландшафт (в том числе пожары). Всего было исследовано 46 водоёмов разных типов, для которых составлены флористические списки, схемы зарастания и распределения растительности. Идентификация некоторых сложных таксонов и гибридов проведена не только по морфологическим и анатомическим признакам, но и с использованием молекулярных маркеров (по аналогии: Bobrov et al., 2018). Материалы размещены в фондах гербария ИБВВ РАН (IBIW).

Флористическое разнообразие разных типов водоёмов. На исследованной территории распространены водоёмы разного происхождения. Самые обычные и часто встречаемые – **термокарстовые озёра** разного размера и возраста (оз. Кыс-Кюэль, Аласырдах в окр. с. Томтор, Мендерелях, Большое, Сырдык и др.), в том числе аласного типа (Гоголева и др., 2016). Видовой состав макрофитов таких озёр богат и разнообразен, здесь отмечено 57 видов. В зрелых водоёмах одновременно может произрастать до 27 видов. Исключение составляют молодые термокарстовые озёра – это своеобразные пустыни, где растения отсутствуют или их разнообразие ограничивается 1–2 видами. Общие характеристики озёр представлены в таблице. Старые озёра заметно меньше исходных размеров (что хорошо видно на космических снимках) и окружены сплавиной, по их дну часто развит мощный слой из зелёных мхов *Drepanocladus* spp., в который вплетены пузырьчатки, рдесты, кувшинки, кубышки, ежеголовники и другие виды. Растительность распределена по заливам и по мелководным побережьям, часто окружая озеро кольцом, при этом в центре, в самом глубоком месте растений нет. Растения мощные, крупные, формируют плотные сообщества. При понижении уровня воды в озере, в силу сукцессионных изменений или в результате иных причин, характер зарастания меняется на сплошной.

Местные озёра сильно отличаются по видовому составу от аласных водоёмов Центральной Якутии, которые характеризуются отсутствием водяных лютиков *Ranunculus (Batrachium)* spp., *Nuphar pumila*, *Nymphaea tetragona* и крупнолистных рдестов за исключением *Potamogeton perfoliatus* (Филиппова, 2012, 2017).

Озёра тектонического происхождения (оз. Бюрюндя, Улу, Лабынкыр, Тымпы) представлены в горной части территории исследования. Это самые крупные по размеру озёра, для них характерна

высокая прозрачность воды. Общее видовое богатство уступает термокарстовым. Здесь отмечено 40 видов макрофитов, видовое наполнение отдельных озёр зависит от характера литорали и грунтов (см. табл.). Большая часть дна свободна от растений, они располагаются небольшими по площади пятнами по границе свала литорали на песчаных субстратах или на галечниковых, галечниково-песчаных отмелях в местах, где минимально ветро-волновое воздействие.

Таблица

Водоёмы Верхней Индигирки, основные характеристики, особенности растительного покрова

Типы водоёмов/ характеристики	Тектонические	Ледниковые	Речные	Термокарстовые	Искусственные
Относительные высоты, м	972–1285	938–1056	726–940	675–960	750–980
Размер, км ²	1–42	<2	1	<2	<1
Глубины рас- пространения растений, м	0–5	0–3	0–3	0–2	0–1
рН	7,11–8,4	7,59–8,4	7,3–8,27	6,44–9,38	7,23–8,9
Общая минера- лизация, мг/л	22–50	54–112	24–62	9–338	27–348
Грунты	гр, гр-п, п-и, и-п	п, п-и, п-т	п, п-и	т, и, т-и	п, гр, г
Тип зарастания, %	Фрагм., < 5	Пояс., < 10	Пояс., < 25	Фрагм., пояс., спл., 0–100	Фрагм., пояс., спл., 0–100
Число видов ма- крофитов, всего / в отдельных водоёмах	40/ 1–22	35/ 10–18	37/2–21	54/ 2–27	31/ 1–18
Характерные виды	<i>Sparganium hyperboreum</i> × <i>S. rothertii</i> , <i>Stuckenia vaginata</i>	<i>Potamogeton obtusifolius</i> , <i>P. × nitens</i> , <i>Sparganium gramineum</i>	<i>Tolypella canadensis</i>	<i>Drepanocladus spp.</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Nuphar pumila</i> , <i>Nymphaea tetragona</i> , <i>Potamogeton compressus</i> , <i>P. natans</i> , <i>Sparganium emersum</i>	<i>Alisma plantago- aquatica</i> , <i>Juncus alpinoarticulatus</i> , <i>Potamogeton sibiricus</i> , <i>Ricciocarpos natans</i> и др.
	<i>Eleocharis acicularis</i> , <i>Isoëtes echinospora</i> , <i>Ranunculus mongolicus</i> , <i>R. reptans</i> , <i>R. trichophyllus</i> , <i>Subularia aquatica</i>			<i>Lemna turionifera</i>	

Примеч.: Грунт: гл – глинистый; гр – гравийный; гр-п – гравийно-песчаный; и – илистый; и-п – илисто-песчаный; п – песчаный; п-т – песчано-торфянистый; т – торфянистый. Тип зарастания: фрагм. – фрагментарный; пояс. – поясный; спл. – сплошной.

Своеобразным набором видов выделяются **озёра ледникового происхождения**, принадлежащие Куйдусунскому вулканическому полю (Малые Лабынкырские озёра, оз. Ниткан, Ичилах и др.). Глубины произрастания ограничены прозрачностью воды и подходящими субстратами, водные растения распространены либо по прибрежным мелководным участкам и заливам, либо по свалам глубин. Характерная особенность этих озёр – хорошо развитые сообщества ежеголовника (*Sparganium gramineum*) и миниатюрных трав (*Eleocharis acicularis*, *Isoëtes echinospora*, *Ranunculus reptans*, *Subularia aquatica* и др.).

Ещё один тип озёр – **речные озёра**, обязанные своим происхождением работе рек (оз. Заливное, Соххор, старицы рр. Индигирка, Куйдусун и др.). В растительном покрове некоторых озёр этого типа активное участие принимают харовые водоросли (*Nitella flexilis*, *Tolypella canadensis*), формирующие на дне покров с высоким общим проективным покрытием (50–85 %) на глубинах около 2 м (оз. Заливное).

Самым ограниченным набором видов макрофитов (31) отличаются малые **водоёмы искусственного происхождения** (каналы, кюветы, карьеры и пр.), что вытекает из их крайне малого размера и возраста. Такие водоёмы представляют собой своеобразные модели начальных этапов становления флоры макрофитов термокарстовых озёр.

В целом водоёмы Верхней Индигирки удивили разнообразием и обилием водных растений, они разительно отличаются от аласных озёр Центральной Якутии, где видовое разнообразие невелико и наиболее часто встречаются мелколистный рдесты (Филиппова, 2012, 2017). Здесь настоящее «царство» крупнолистный рдестов. Кроме широко распространённого по всей территории Якутии *Potamogeton perfoliatus*, в озёрах разного типа регулярно встречаются и формируют заросли *P. alpinus*, *P. gramineus* и *P. praelongus*.

Для Оймяконского р-на были найдены новые местонахождения охраняемых водных растений. Это такие виды, как: *Tolypella canadensis*, ранее известный по единственному указанию из оз. Ворота (Romanov, Корюгина, 2016; Копырина, Романов, 2017), *Isoetes echinospora* (Николин, 2017), *Nuphar pumila* (Егорова, 2017), *Subularia aquatica* (Кузнецова, 2017), прежде не указывались для района, данные о находках *Nymphaea tetragona* ограничивались одним местонахождением в районе (Захарова, 2017), однако вид здесь представлен в термокарстовых озёрах довольно часто, в некоторых озёрах во время массового цветения создает аспект, кроме обычной белоцветковой формы, встречается редкая розовоцветковая.

Изменение климата и возможные последствия для флоры водоёмов. В последние десятилетия в районе исследования наблюдается изменение ряда климатических показателей: повышение среднегодовых температур воздуха, которое оценивается для с. Оймякон за период 2001–2010 гг. в 0,9 °С, в настоящее время происходит некоторое замедление роста среднегодовых температур (Худяков, Решоткин, 2020), однако происходит это на фоне роста весенних температур с 1996 по 2021 гг. на 1 °С (Гидрометцентр России, URL: <https://meteoinfo.ru>), изменения количества и распределения осадков и глубины сезонного протаивания грунтов (Худяков, Решоткин, 2020). Всё это приводит к повышению температур многолетних мерзлотных пород, а при продолжительных изменениях к их деградации (Любомиров, 2005; Anisimov, Reneva, 2006; Десяткин Р. В., Десяткин А. Р., 2019).

Территория подвержена регулярным пожарам, которые вследствие изменения планетарной циркуляции воздушных масс, становятся всё более частыми и крупными по площади (Чевычелов, 2019). Сильнейшие природные пожары в районе исследования были зафиксированы в 2021 г. После пожаров усиливается сезонное протаивание мёрзлых грунтов ~в 2,5 раза, в каждом 10-сантиметровом слое мёрзлых грунтов (данные для Центральной Якутии) содержится ~30 мм влаги, которая быстрее поступает в водоёмы и реки. Всё это непосредственно влияет на водный баланс (Десяткин Р. В., Десяткин А. Р., 2019).

Повышение среднегодовой температуры, растягивание вегетационного сезона в водоёмах за счёт более раннего наступления тепла, пожары – все эти изменения опосредованно влияют на растительный покров водоёмов и несут в себе определённые угрозы флористическому разнообразию водоёмов. Наиболее уязвимы к таким изменениям зрелые термокарстовые озёра Оймяконского нагорья. Несмотря на то, что возникновение новых термокарстовых озёр и постепенное зарастание старых – естественный процесс, также, как и снижение водного уровня термокарстовых водоёмов, связанные с вытаиванием жильных многолетних мерзлотных пород (Гоголева и др., 2016; Desyatkin et al., 2018), с потеплением это может происходить в очень короткие сроки, что уже наблюдается в некоторых районах республики (Готовцев, 2014). Мы были свидетелями того, как после сильного и обширного пожара 2021 г. в окр. с. Оймякон уровень воды в оз. Большое снизился на 1,5 м за один год.

При увеличении продолжительности тёплого сезона, кроме возрастания эмиссии метана из оттаивающих слоёв грунта (Desyatkin et al., 2018), будет происходить повышение трофности водоёмов за счёт включения в биологический круговорот биогенов, аккумулированных в донных отложениях. В зависимости от глубины и возраста это может изменить функционирование озёрных экосистем на микрофитный тип (доминирование водорослей) или приведёт к краткосрочному интенсивному зарастанию макрофитной растительностью и более быстрому заболачиванию.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 23-24-00544.

ЛИТЕРАТУРА

- Бобров А. А., Мочалова О. А.** Заметки о водных сосудистых растениях Якутии по материалам якутских гербариев // *Новости сист. высш. раст.*, 2014. – Т. 45. – С. 122–144. + табл. I, II.
- Бобров А. А., Мочалова О. А.** Водные сосудистые растения долины Колымы: разнообразие, распространение, условия обитания // *Бот. журн.*, 2017. – Т. 102. № 10. – С. 1347–1378. DOI: 10.1134/S0006813617100015
- Гоголева П. А., Стручкова С. Г., Федорова Е. Д.** Физико-географические условия развития аласных форм рельефа и закономерности распределения растительности // *Успехи современного естествознания*, 2016. – № 12. – С. 368–374.
- Гидрометцентр России*. URL: <https://meteoinfo.ru/pogoda/russia/republic-saha-yakutia/ojnjakon> (Дата обращения: 20.04.2023).
- Готовцев С. П.** Причины активизации термоэрозионных процессов в Якутии и особенности их проявления // *Наука и образование*, 2014. – № 2. – С. 121–124.
- Десяткин Р. В., Десяткин А. Р.** Влияние увеличения глубины деятельного слоя почвы на изменение водного баланса в криолитозоне // *Почвоведение*, 2019. – № 11. – С. 1393–1402. DOI: 10.1134/S0032180X19110030
- Егорова А. А.** Кубышка малая // *Красная книга Республики Саха (Якутия)*. Т. 1. / Отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: «Реарт», 2017. – С. 135.
- Захарова В. И.** Кувшинка четырехгранная // *Красная книга Республики Саха (Якутия)*. Т. 1. / Отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: «Реарт», 2017. – С. 136.
- Копырина Л. И., Романов Р. Е.** Толипелла канадская // *Красная книга Республики Саха (Якутия)*. Т. 1. / Отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: «Реарт», 2017. – С. 330.
- Кузнецова Л. В.** Шильник водяной // *Красная книга Республики Саха (Якутия)*. Т. 1. / Отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: «Реарт», 2017. – С. 66.
- Кузнецова Л. В., Захарова В. И., Сосина Н. К., Егорова А. А., Софронова Е. В., Иванова Е. И., Васильева-Кралина И. И. и др.** Флора Якутии: Географический и экологический аспекты. – Новосибирск: Наука, 2010. – 188 с.
- Любомиров А. С.** Исследование устойчивости природных комплексов в тундрах Якутии в свете проблем термомокроста // *Вестник ЯГУ*, 2005. – Т. 2, № 3. – С. 49–56.
- Николин Е. Г.** Конспект флоры Верхоянского хребта. – Новосибирск: Наука, 2013. – 248 с.
- Николин Е. Г.** Полушник колючеспоровый // *Красная книга Республики Саха (Якутия)*. Т. 1. / Отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: «Реарт», 2017. – С. 266.
- Николин Е. Г., Гоголева П. А., Данилова Н. С., Исаев А. П., Борисова С. З., Егорова А. А., Постникова Е. П. и др.** Флора долины Эркээни (среднее течение р. Лены, Центральная Якутия) // *Бот. журн.*, 2022. – Т. 107, № 12. – С. 1156–1165. DOI: 10.31857/S0006813622120080
- Николин Е. Г., Чемерис Е. В.** К флоре ресурсного резервата Харыйалах (Горный улус, Республики Саха (Якутия)) // *Вестник СВФУ им. М. К. Аммосова*, 2015. – Т. 12, № 3(47). – С. 15–22.
- Красная книга Республики Саха (Якутия)*. Т. 1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / Отв. ред. Н. С. Данилова. – М.: «Реарт», 2017. – 412 с.
- Определитель высших растений Якутии* / Отв. ред. Е. Г. Николин. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Тов-во науч. изд. КМК; Новосибирск: Наука, 2020. – 895 с.
- Разнообразие растительного мира Якутии* / Отв. ред. Н. С. Данилова. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2005. – 328 с.
- Республика Саха (Якутия): комплексный атлас*. – Якутск: ФГУП «Якутское аэрогеодезическое предприятие», 2009.
- Филиппова В. А.** Изучение фитоценологического разнообразия и особенностей экологии сообществ водной растительности в долинах рек Лена и Амга (Центральная Якутия) // *Известия Самарского НЦ РАН*, 2012. – Т. 14, № 1(4) – С. 1145–1148.
- Филиппова В. А.** Характеристика гидрофильной флоры и водных сообществ аласных озер Центральной Якутии // *Растения в холодном регионе; Сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф.* (г. Якутск, 20–21 октября 2016 г.). – Якутск, 2017. – С. 2030–2035.
- Худяков О. И., Решоткин О. В.** Динамика температуры мерзлотных почв в вегетационный период на фоне повышения среднегодовой температуры воздуха // *Почвоведение*, 2020. – № 5. – С. 576–589. DOI: 10.31857/S0032180X2005007X
- Чевычелов А. П.** Лесные пожары в Якутии и их влияние на почвенный покров в аспекте прогнозируемого изменения климата // *Вестник СВФУ им. М. К. Аммосова*, 2019. – № 1(13). – С. 55–67. DOI: 10.25587/SVFU.2019.13.27557
- Anisimov O., Reneva S.** Permafrost and changing climate: The Russian perspective // *Ambio: Journ. of the Human Environ.*, 2006. – Vol. 35(4). – P. 169–175.
- Bobrov A. A., Chemeris E. V., Filippova V. A., Maltseva S. Yu.** European pondweed in East Siberia: evidence of *Potamogeton rutilus* (Potamogetonaceae) in Yakutia (Asian Russia) with evaluation of current distribution and conservation status // *Phytotaxa*, 2018. – Vol. 1. – P. 58–72 DOI: 10.11646/phytotaxa.333.1.4

Desyatkin A., Takakai F., Nikolaeva M. Landscape microzones within thermokarst depressions of Central Yakutia under present climatic conditions // *Geosciences*, 2018. – Vol. 8(12). – P. 439. DOI: 10.3390/geosciences8120439

Romanov R. E., Kopyrina L. I. *Tolypella canadensis* (Charales, Charophyceae) in Asia: final evidence of its circumpolar distribution // *Nova Hedwigia*, 2016. – Vol. 102(3–4). – P. 423–427.