

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗРАСТАНИЯ ВОДЯНОГО ОРЕХА *Trapa natans* НА СЕВЕРНОЙ ГРАНИЦЕ АРЕАЛА

© 2021 г. Е. В. Михайлова^{a, *}, А. Е. Артюхин^b, М. А. Панфилова^b, Б. Р. Кулуев^{a, b}

^aИнститут биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра,
Российской академии наук, Уфа, Россия

^bБашкирский государственный университет, Уфа, Россия

*e-mail: mikhele@list.ru

Поступила в редакцию 29.04.2020 г.

После доработки 02.07.2020 г.

Принята к публикации 25.07.2020 г.

Водяной орех плавающий *Trapa natans* L. – водное растение, являющееся реликтом третичного периода и занесенное в Красные книги в 36 регионах России. Его наиболее северные изолированные популяции на Южном Урале и на Алтае остаются слабо изученными. Исследования химического состава воды и донных отложений, интродукция в новые озера, а также эксперименты по проращиванию семян водяного ореха в аквариумной культуре показали способность этого растения существовать в широком диапазоне факторов среды. Вид показал себя чувствительным к хлоридному засолению, низкой температуре воды и устойчивым к сульфатному засолению. Основной угрозой для северных популяций водяного ореха является деятельность человека, которая уже привела к его исчезновению в оз. Ая и сокращению популяций в оз. Манжерокское и оз. Канонерское на Алтае.

Ключевые слова: водяной орех, чилим, *Trapa natans*, вымирание, редкий вид, интродукция

DOI: 10.31857/S0320965221010083

Ареал *Trapa natans* L. (водяного ореха) на территории России дизъюнктивный, при этом популяции на Южном Урале и на Алтае являются изолированными как друг от друга, так и от дальневосточных и европейских популяций. Озера Манжерокское, Ая, Канонерское на Алтае и озера Упканкуль, Бильгиляр, Медвежье и Лебяжье на Южном Урале (табл. 1) входят в число наиболее северных местообитаний водяного ореха в Евразии. Растение занесено в Красные Книги Республики Башкортостан как *Trapa sibirica* Fler. (2011), Оренбургской области как *T. natans* L. (1998), Республики Алтай как *T. natans*, а ранее – *T. pectinata* V. Vassil s. str (2017). Тем не менее, согласно проведенным нами исследованиям (Artyukhin et al., 2019), значительное генетическое разнообразие наблюдается только у дальневосточных популяций, тогда как на остальной территории России водяной орех, вероятнее всего, представлен одним полиморфным видом (*T. natans*).

Условия произрастания водяного ореха на северной границе ареала, где он является вымирающим видом, практически не изучены. Попытки его интродукции в большинстве случаев оказывались неудачными (Лесков, 2010; Кашин и др., 2019). Намного лучше этот вопрос исследован в регионах, где водяной орех широко распростра-

нен, – в Азии (Kurihara, Ikusima, 1991; Kumar, Chopra, 2018) и Южной Европе (Phartyal et al., 2018). Но часто такие исследования проводятся не с целью сохранения редкого вида, а для оценки возможности его использования в фиторемедиации, в частности при загрязнении тяжелыми металлами (Kumar, Chopra, 2018).

С целью выяснить, имеется ли что-то общее между озерами, где данный вид сохранился и пережил последнее оледенение, и можно ли восстановить вымирающие популяции, в 2017–2019 гг. были предприняты экспедиции на вышеперечисленные озера Алтая и Южного Урала. В оз. Упканкуль исследования популяции водяного ореха проводятся с 1960-х гг. (Кулуев и др., 2017) и, несмотря на колебания численности, с 2011 в этом озере стабильно обнаруживается не менее 3000 розеток (Артюхин и др., 2019). Около 70% популяции находится возле базы отдыха (Упканкуль-1), остальная часть – на южном конце озера “Упканкуль-2” (табл. 2). В оз. Бильгиляр водяной орех впервые появился в 1980-х гг., размер популяции уменьшается: с 500 розеток в 1992 г. до 28 розеток к 2017 г. Озера Лебяжье и Медвежье, находящиеся в Оренбургской обл., являются сильно эвтрофицированными, количество плава-

Таблица 1. Географическое расположение исследованных местообитаний водяного ореха

Озеро	Географические координаты с.ш.; в.д.
Манжерокское	51°49'14.7"; 85°48'39.4"
Ая	51°54'16.9"; 85°51'12.3"
Канонерское	52°27'48.1"; 85°10'53.0"
Упканкуль	55°03'57.5"; 56°31'14.8"
Бильгиляр	55°03'08.8"; 56°31'40.5"
Медвежье	51°38'48.0"; 54°18'25.6"
Лебяжье	51°41'35.1"; 54°33'45.8"

ющих розеток в 2018 г., согласно нашим подсчетам, составляло ~2800 и 1000 соответственно.

Если на Южном Урале состояние популяций водяного ореха представляется довольно стабильным, то экосистемы Алтайских озер из-за огромной рекреационной нагрузки находятся под серьезной угрозой (Черемисин и др., 2017). Озера Ая и Манжерок являются наиболее популярными местами отдыха туристов на Алтае, что в конечном итоге привело к их эвтрофикации. Местные власти провели очистку озер, заключавшуюся в изъятии донных отложений. Летом 2019 г. в оз. Ая полностью отсутствовала высшая водная растительность, на оз. Манжерокское нам удалось обнаружить всего лишь 20 мелких розеток водяного ореха, ранее произраставшего на площади 4 га, хотя в последние годы размер популяции сократился (Бляхарчук и др., 2015). Противоположным примером может служить оз. Канонерское, которое в связи с эвтрофикацией было постепенно заброшено. Ранее в нем насчитывалось ~2000 особей, но с начала XXI в. водяной орех здесь считался вымершим (Черемисин и др., 2017). Вероятно, снижение антропогенной нагрузки позволило восстановиться популяции – в 2019 г. наблюдалось ~1000 плавающих розеток.

Во всех озерах, где был обнаружен водяной орех (кроме Манжерокского, где после очистки 2018 г. вода все еще остается очень мутной), а также в оз. Долгое, куда водяной орех был наиболее успешно нами интродуцирован, была измерена глубина и взяты пробы воды и донных отложений (табл. 2). Для отбора поверхностных вод использовали батометр Рутнера, для отбора донных отложений – дночерпатель Экмана–Берджи. рН измеряли с помощью портативного рН-метра HI 83141 (HANNA Instruments, США). Анализ проб проводился по стандартным методикам (Ефремов и др., 2019) согласно ГОСТ (26424-85, 26426-85, 26428-85, 31957-2012) и ПНД Ф (14.1:2:3.96-97, 14.1:2.159-2000, 14.1:2:3.95-97, 14.1:2:3.98-97, 14.1:2:3:4.121-97, 14.1:2:4.128-98, 14.1:2:4.138-98, 14.1:2:4.137-98, 14.1:2:4.139-98, 16.1:2.21-98). В

оз. Упканкуль пробы отбирали в двух точках два года подряд.

Как видно из табл. 2, водяной орех произрастает в озерах со значительным диапазоном рН (6.73–8.75). Еще более низкий рН наблюдался в оз. Манжерокское до очистки (6.54 ± 0.06) (Бляхарчук и др., 2015), а после очистки, по нашим данным, рН в нем опустился до 6. Имеются данные, что проростки водяного ореха погибают в слабощелочной среде (рН 8–9) (Каршина, Трофимов, 1951; Дробот, 1997; Лесков, 2010), однако в исследованных водоемах высокие значения рН не были для него губительны. Предполагалось негативное влияние кальция (в концентрациях 33.6–42 мг/дм³) на прорастание семян водяного ореха и морфометрические показатели розеток (Лесков, 2010), однако, в исследованных озерах с наиболее высоким содержанием кальция (оз. Медвежье, Лебяжье) не наблюдалось уменьшения размера розеток. Крупные скопления водяного ореха были обнаружены при глубине озера от 40 см (Медвежье) до 230 см (Упканкуль). При этом водяной орех оказался единственным водным растением, пережившим очистку оз. Манжерокское, средняя глубина которого ранее составляла 2.5 м, а после, соответственно, увеличилась. Водяной орех произрастает как в ультрапресных водоемах (Бильгиляр), так и в озерах с повышенной минерализацией (Лебяжье, Медвежье). Во всех исследованных водоемах наблюдается превышение установленных нормативов по содержанию железа и марганца (табл. 2), что, скорее всего, обусловлено природными ландшафтно-геохимическими условиями (заболоченностью территорий). Анализ состава донных отложений выявил сульфатное засоление практически во всех пробах, при этом содержание хлоридов было низким (за исключением оз. Лебяжье). По остальным исследованным параметрам превышения нормативов не наблюдалось. Тогда как способность водяного ореха аккумулировать тяжелые металлы хорошо известна (Kumar, Chopra, 2018), влияние сульфатов и хлоридов на жизнеспособность водяного ореха ранее не обсуждалось, и поэтому представляет интерес для дальнейшего исследования.

В связи с существующим риском полного вымирания северных популяций водяного ореха представляются актуальными работы по его интродукции. Интродукцию проводили двумя способами, рассеивая либо стратифицированные в течение осенне-зимнего периода, либо свежесобранные семена водяного ореха из оз. Упканкуль. Стратификацию проводили с сентября по май при +5°C в темноте в закрытом пластиковом сосуде, наполненном водой для предотвращения высыхания семян. Посев осуществляли в мае в озера бассейна р. Уфы: Аркылы-аккан, Басмалы-куль, Муса-куль и Киндер-куль (Артюхин и др., 2019), отличающиеся температурой, рН, а также составом растительных сообществ, приближенными к оз. Упкан-

Таблица 2. Результаты анализа воды и донных отложений в местообитаниях водяного ореха на Южном Урале и на Алтае ($P = 0.95$)

Показатель	ПДК (рыбохозяйственный)	Место и время сбора									
		Упканкуль-1 2017	Упканкуль-2 2017	Бильгиляр 2017	Упканкуль-1 2018	Упканкуль-2 2018	Бильгиляр 2018	Мелвехье 2018	Лебяжье 2018	Канонерское 2019	Долгое 2019
Глубина, см	—	156	180	113	180	230	130	40	45	130	45
pH	6.5–8.5	6.78	6.88	6.73	6.8	6.82	6.75	8.6	8.3	8	8.75
Общая жесткость, °Ж	—	1.2 ± 0.1	1.3 ± 0.1	0.8 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.4 ± 0.1	1 ± 0.1	3.4 ± 0.25	3.6 ± 0.25	0.9 ± 0.1	1.3 ± 0.1
Минерализация	—	111.8 ± 7.4	106.7 ± 4.8	65.6 ± 4.3	128.5 ± 10.2	120.5 ± 9.4	78 ± 8.6	362.5 ± 39	457.2 ± 45	83.5 ± 6	94 ± 10
Общая щелочность	—	67.1 ± 6	67.1 ± 6	36.6 ± 6	73.2 ± 6	73.2 ± 6	30.5 ± 6	170.8 ± 6	152.5 ± 18	54.9 ± 6	36.6 ± 6
NO ₃ ⁻	40	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2	<6.2
SO ₄ ²⁻	100	<10	<10	<10	<10	<10	<10	29 ± 5	75 ± 10	<10	14 ± 2.8
Cl ⁻	300	<10	12.5 ± 2	<10	16.2 ± 2.5	14.2 ± 2.3	17.6 ± 2.8	56.5 ± 5	85 ± 7.6	<10	16.3 ± 2.5
Na ⁺ + K ⁺	120	6.8 ± 2.3	6.3 ± 2.4	2.8 ± 1	11.1 ± 3.2	7.4 ± 2.9	4.4 ± 1.7	43.1 ± 17.1	75.5 ± 27.8	5.3 ± 1.9	0.14 ± 0.06
Mg ²⁺	40	1.7 ± 0.2	3.2 ± 0.4	2.0 ± 0.3	3.7 ± 0.6	11 ± 1.8	4.8 ± 0.7	18.2 ± 2.6	18.2 ± 2.7	2.3 ± 0.3	1.3 ± 0.2
Ca ²⁺	180	21.2 ± 2.2	18.7 ± 2.1	12.5 ± 1.4	20 ± 1.9	10 ± 1.5	12.1 ± 1.3	38.3 ± 4.3	42 ± 4.5	13.3 ± 1.5	25.1 ± 2.7
Li	0.08	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	<0.006	0.0097 ± 0.0023	0.0088 ± 0.0025	<0.006	<0.006
Cu	0.001	0.0072 ± 0.0013	0.0036 ± 0.008	0.0028 ± 0.006	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Ni	0.1	0.003 ± 0.0005	0.0028 ± 0.0005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002 ± 0.0003	0.002 ± 0.0003	<0.002	0.0043 ± 0.0006
Fe	0.1	0.31 ± 0.05	0.5 ± 0.04	0.15 ± 0.03	<0.1	0.4 ± 0.05	0.77 ± 0.12	0.2 ± 0.01	0.27 ± 0.05	0.45 ± 0.05	0.3 ± 0.03
Sr	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5 ± 0.15	0.55 ± 0.15	<0.1	<0.1
Ba	0.74	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.052 ± 0.015	0.055 ± 0.015	<0.05	<0.05
Br	1.35	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.073 ± 0.02	0.12 ± 0.03	<0.05	<0.05
Mn	0.01	0.025 ± 0.002	0.035 ± 0.003	0.011 ± 0.002	0.038 ± 0.05	0.017 ± 0.02	0.022 ± 0.03	0.26 ± 0.07	0.092 ± 0.025	0.09 ± 0.024	0.063 ± 0.016
Плотный остаток	0.3	0.36 ± 0.04	1.18 ± 0.09	0.08 ± 0.05	<0.1	0.48 ± 0.04	<0.1	0.6 ± 0.05	0.46 ± 0.03	0.29 ± 0.03	0.12 ± 0.024
SO ₄ ²⁻	0.08	0.19 ± 0.001	0.61 ± 0.06	0.01 ± 0.001	<0.02	0.16 ± 0.001	<0.02	0.34 ± 0.03	0.28 ± 0.02	0.18 ± 0.001	<0.02
Ca ²⁺	—	0.066 ± 0.007	0.214 ± 0.02	0.006 ± 0.001	<0.01	0.046 ± 0.005	<0.01	0.11 ± 0.01	0.088 ± 0.09	0.007 ± 0.001	0.012 ± 0.02
HCO ₃ ⁻	—	0.012 ± 0.004	0.015 ± 0.004	0.099 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.012 ± 0.004	0.006 ± 0.004	0.021 ± 0.004	0.019 ± 0.004	0.019 ± 0.004	0.008 ± 0.004
Cl ⁻	0.01	0.001 ± 0.0005	0.001 ± 0.0005	0.001 ± 0.0005	<0.001	0.001 ± 0.0005	<0.001	0.005 ± 0.001	0.014 ± 0.002	0.001 ± 0.0005	<0.001
Mg ²⁺	—	0.009 ± 0.001	0.027 ± 0.003	<0.006	<0.006	0.007 ± 0.001	<0.006	0.021 ± 0.003	0.023 ± 0.003	0.01 ± 0.001	<0.006

Химический состав донных отложений, %

куль. Все весенние интродукции оказались неудачными. Свежие семена интродуцировали в озера Муса-куль, Осаеш, Урускуль, Басмалы-куль, Долгое, Теплое и Мельничное в сентябре сразу после сбора без прохождения ими периода покоя для естественной стратификации на дне озера. Весной всходы обнаружили только в озерах Мусакуль (посажено 30 семян, появилось 14 розеток), Теплое (из 30 семян – 36 розеток), Урускуль и Мельничное (в каждом из 30 семян – 2 розетки) и Долгое. Наиболее успешной оказалась интродукция в оз. Долгое – было посеяно 100 семян, из них образовалось ~900 розеток, что говорит о том, что на одном растении в среднем было как минимум 9 розеток. В связи с этим, в данном озере были взяты пробы воды и донных отложений (табл. 2). В оз. Долгое наблюдались наиболее высокие значения pH среди всех исследованных водоемов, а также самые низкие концентрации ионов Na, K и Mg. По сравнению с оз. Упканкуль, откуда семена были интродуцированы, выше было содержание SO_4^{2-} и Mn, а глубина озера была значительно меньше.

Одним из параметров, которые сложно измерить в естественных условиях, является оптимальная температура, в частности, температура, при которой начинается прорастание семян. Из покоящихся на дне водоема плодов водяного ореха сначала появляется гипокотиль, затем развивается стебель, только потом – корни, которые некоторое время растут вверх и лишь затем опускаются вниз и прикрепляются ко дну (Кулуев и др., 2017). Достоверно не известно, когда именно это происходит в природных водоемах, где температура меняется в очень большом диапазоне в зависимости от погодных условий. Известно, что исследованные алтайские озера – наиболее хорошо прогревающиеся в этом регионе (20–24°C), чем обусловлен повышенный интерес к ним туристов. Оз. Упканкуль, по нашим данным, в июле прогревалось до 27°C на глубине 50 см, а Бильгиляр – до 25°C, тогда как в Басмалы-куль, Осаеш, Урускуль, Мельничное – только до 23°C (Артюхин и др., 2019). Оз. Муса-куль прогревалось до 26°C, тогда как оз. Долгое, по всей видимости, прогревалось лучше всего (>27°C), поскольку было наиболее мелким. Оз. Теплое – искусственный водоем, являющийся охладителем ТЭЦ и не замерзающий даже зимой. Именно в этом озере плавающие розетки водяного ореха достигали поверхности воды уже в конце мая, тогда как в других озерах это происходило только в июне. Отсутствие всходов в озерах Осаеш и Басмалы-куль, а также плохая всхожесть в озерах Урускуль и Мельничное может быть связана именно с более низкой температурой.

Для проверки предположений, выдвинутых в ходе наблюдений за естественными популяция-

ми, был заложен опыт по выращиванию водяного ореха в аквариумной культуре. Перед посадкой в аквариумы семена проходили стратификацию при тех же условиях, что и в экспериментах по интродукции. В аквариумах объемом 60 л, содержащихся при естественном освещении, семена прорастали по истечении 30, 60, 100, 150 и 240 сут стратификации. Для наполнения аквариумов использовали отстоянную водопроводную воду (pH 8.4) из северного водозабора г. Уфы, который питается из р. Уфа, к бассейну которой относятся все озера, исследованные в Республике Башкортостан. Было использовано шесть аквариумов с комбинированными значениями температуры (22 и 25°C) и pH (8.4 и 6.7). Именно такие значения pH наблюдались в озерах Упканкуль и Бильгиляр (6.7–6.8) и озерах Медвежье, Лебяжье и Канонерское (8–8.6) (табл. 2). Кислотность довели соляной кислотой (HCl), которая обычно используется в приготовлении питательных сред для культур *in vitro*, а также серной кислотой H_2SO_4 (поскольку в местообитаниях водяного ореха наблюдалось сульфатное засоление, тогда как содержание хлоридов было низким). Еще один аквариум был использован для имитации естественных условий – в нем в качестве грунта использовался сапропель FLORIZEL (Россия) слоем в 2 см, после внесения которого устанавливался pH 7.2, поддерживалась температура 25°C. В каждый аквариум одновременно высаживали 10 семян.

Для вывода семян из состояния покоя требовалась стратификация не менее 100 сут. При более длительной стратификации всхожесть семян, перенесенных в аквариумы, не увеличивалась. Таким образом, для аквариумной культуры водяного ореха 100 сут стратификации, вероятно, является наиболее оптимальным периодом. Всхожесть была наивысшей в аквариуме, где использовался богатый органикой грунт (сапропель). Всходило 80% семян, в среднем в течение 7 сут. Среди аквариумов без грунта наилучшие показатели всхожести наблюдались при 25°C и pH 8.4 – в течение 14 сут всходило 60% семян. В более теплом аквариуме с кислой реакцией, обусловленной добавлением H_2SO_4 (25°C, pH 6.7), в течение 14 сут всходило 50% семян. 30% семян всходило в аналогичных аквариумах при температуре 22°C. Наихудшие показатели всхожести наблюдались в аквариуме, где использовалась соляная кислота (при 22°C взошло одно семя на 37-й день после посадки, при 25°C – ни одного).

Семена, стратифицированные в течение менее продолжительного периода (30 и 60 сут) после переноса в аквариумы, не всходили ни при одном из использованных вариантов культивирования. По истечении 240 сут семена начинали прорастать даже при +5°C, во время стратификации. В 90%

случаев семена с появившимися гипокотильями не продолжали свое развитие после помещения в аквариумы ни при одном из использованных вариантов культивирования. Имеются данные о том, что семена водяного ореха из более теплых местообитаний (Хорватия) хотя и переживали заморозки до -14°C , не прорастали при температуре ниже $+10/2^{\circ}\text{C}$ (день/ночь), а проростки с появившимися гипокотильями оказывались чувствительны к температуре ниже -4°C (Phartyal et al., 2018). В других источниках сообщается, что прорастание водяного ореха российских северных популяций возможно при температуре $15-20^{\circ}\text{C}$ (Лесков, 2017). Несмотря на способность исследованных нами семян прорасти при $+5^{\circ}\text{C}$, длительное содержание при этой температуре, по всей видимости, оказывалось губительно для проростков. Этим же может объясняться и неуспешность проведенной весенней интродукции плодов, поскольку к моменту посадки семян (в мае) большая их часть дала всходы в процессе стратификации, и эти всходы некоторое время находились под действием низких положительных температур.

Выводы. Водяной орех способен расти в водоемах с широким диапазоном рН, минерализации, глубины и других параметров, устойчив к засолению сульфатного типа. Такой тип засоления, а также повышенное содержание железа и марганца и низкое содержание хлоридов были характерны для естественных местообитаний водяного ореха на Южном Урале и на Алтае. В аквариумной культуре соляная кислота либо ее соли приводили к практически полной потере всхожести семян. Хотя семена и способны прорасти при $+5^{\circ}\text{C}$, низкие положительные температуры оказывают негативное воздействие на проростки, поэтому необходимо прекращать стратификацию своевременно, через 100–150 сут, и помещать семена в оптимальные для развития температурные условия (не ниже 25°C). При снижении температуры всего на 3°C всхожесть семян падала на 40–50%. На Алтае наибольшую угрозу водяному ореху представляет увеличение рекреационной нагрузки, тогда как на Южном Урале ситуация более стабильная. Численность редкого вида можно сохранить путем интродукции. Посев предпочтительно проводить сразу после сбора семян в водоемы, прогревающиеся летом до 25°C и выше, с рН от 6.7 до 8.8.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-74-00056).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова Л.М., Баишева З.З., Галеева А.Х. и др. 2011. Красная книга Республики Башкортостан. Т. 1: Растения и грибы. Уфа: МедиаПринт. 384 с.
- Артюхин А.Е., Михайлова Е.В., Кулуев Б.Р. 2019. Исследование изолированных популяций водяного ореха *Trapa sibirica* Fler. (Lythraceae) в республике Башкортостан // Вестник ПГУ. Сер. Биология. № 3. С. 217–226.
<https://doi.org/10.17072/1994-9952-2019-3-217-226>
- Бляхарчук Т.А., Митрофанова Е.Ю., Эйрих А.Н. 2015. Комплексные палеоэкологические исследования донных отложений озера Манжерокское в предгорьях Алтая // Труды КарНЦ РАН. № 9. С. 81–99.
- Васильев А.С. 1998. Красная книга Оренбургской области. Животные и растения. Оренбург: Оренбургское книжное издательство. 176 с.
- Дробот В.И. 1997. Состояние популяций водяного ореха *Trapa natans* L. s 1. и некоторые итоги его расселения в Республике Марий Эл // Вопросы прикладной экологии (природопользования), охотоведения и звероводства: Матер. науч. конф. Киров. С. 22–24.
- Ефремов А.Н., Свириденко Б.Ф., Болотова Я.В. и др. 2019. Ценокомплекс и экологические особенности *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle (*Hydrocharitaceae*) в Северной Евразии // Биология внутренних вод. № 1. С. 31–41.
- Каршина Л.Е., Трофимов М.М. 1951. О возможности культуры чилима в дельте р. Волги // Бюллетень МОИП. Отд. биологии. Т. 1(1). С. 94–96.
- Кашин А.С., Пархоменко А.С., Богослов А.В. и др. 2019. Результаты реинтродукции *Trapa natans* L. в р. Хопер на территории Саратовской области // Науч. тр. Национального парка “Хвалынский”. С. 67–72.
- Кулуев Б.Р., Артюхин А.Е., Шевченко А.М., Михайлова Е.В. 2017. Водяной орех плавающий *Trapa* L.: биология, ареал распространения и исследование его изолированных популяций в озерах Нуримановского района Республики Башкортостан // Биомика. Т. 9. № 2. С. 101–118.
- Лесков А.П. 2010. Экология и биология *Trapa natans* L. (восточное Забайкалье) // Ученые записки ЗабГУ. Сер. Биол. науки. № 1. С. 140–146.
- Манеев А.Г., Ачимова А.А., Седельникова Н.В., Горбунова И.А. 2017. Красная книга Республики Алтай. Растения. Горно-Алтайск. 267 с.
- Черемисин А.А., Важов С.В., Фефелова А.Ю., Важов В.М. 2017. Озера Кольванское, Манжерокское и Ая: рекреация и экологические проблемы // Соврем. пробл. науки и обр. № 2. С. 230.
- Artyukhin A.E., Mikhaylova E.V., Kuluev B.R. 2019. Genetic variation of water caltrop (*Trapa* L.) in several Russian populations // Curr. Challenges Plant Genet., Genom., Bioinform., Biotechnol. P. 44–45.
<https://doi.org/10.18699/ICG-PlantGen2019-12>
- Kumar V., Chopra A.K. 2018. Phytoremediation potential of water caltrop (*Trapa natans* L.) using municipal wastewater of the activated sludge process-based municipal wastewater treatment plant // Env. Technol. V. 39(1). P. 12–23.

- Kurihara M., Ikusima I. 1991. The ecology of the seed in *Trapa natans* var. *japonica* in a eutrophic lake // Vegetatio. V. 97(2). P. 117–124.
<https://doi.org/10.1007/BF00035385>
- Phartyal S.S., Rosbakh S., Poschlod P. 2018. Seed germination ecology in *Trapa natans* L., a widely distributed freshwater macrophyte // Aquat. Bot. V. 147. P. 18–23.
<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2018.02.001>

Growth Conditions of Water Caltrop *Trapa natans* L. on the Northern Border of its Habitat

E. V. Mikhaylova^{1,*}, A. Ye. Artyukhin², M. A. Panfilova², and B. R. Kuluev^{1,2}

¹*Institute of Biochemistry and Genetics Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia*

²*Bashkir State University, Ufa, Russia*

*e-mail: mikhele@list.ru

Water caltrop is a relic aquatic plant, protected in 36 regions of Russia. Its most northern and isolated populations in Southern Urals and Altai are poorly studied. Results of chemical analysis of water and aquarium culture experiments revealed that this plant can tolerate a wide range of environmental factors. The species appear to be sensitive to chlorides and low water temperature, but resistant to sulfate salinization. Human factor is the main threat to the northern populations of water caltrop, in Altai it already resulted in the extinction of this plant in Lake Aya and population decline in lakes Manzherok and Kanonerskoye.

Keywords: water caltrop, *Trapa natans*, extinction, rare species, introduction