

Оригинальная статья

УДК 574.34:574.91:57.018

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-55-78>

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *TRAPA NATANS* (TRAPACEAE, MAGNOLIÓPSIDA) ПРИ РЕИНТРОДУКЦИИ В ВОДОЕМЫ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ ИЗ ВОДОЕМОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А. С. Пархоменко, А. С. Кашин , И. В. Шилова, Л. В. Гребенюк,
А. В. Богослов, А. А. Денисов, А. О. Кондратьева, В. М. Пархоменко

² Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского
Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Поступила в редакцию 19.11.2021 г., после доработки 22.12.2021 г., принята 24.12.2021 г.

Аннотация. Плоды *Trapa natans* L. s.l. (Тгарасеae), исчезнувшего с территории Саратовской области, собранные в пойменных озерах р. Хопёр на территории Воронежской области (Новохопёрский район), были высеяны осенью 2019 и весной 2020 гг. в реки Хопёр и Волгу на территории Саратовской области. Осенью 2020 г. в 17 местах посева отмечены взошедшие розетки чилима, причем в большинстве из этих мест взошедших розеток было меньше количества высеянных плодов. Лишь в трех искусственных насаждениях количество розеток было равно или больше, чем высеяно плодов. По морфометрическим параметрам вегетативной сферы к донорным популяциям близки пять искусственных насаждений (№ 6, 7, 9, 15, 21) из р. Хопёр, по потенциальной и реальной семенной продуктивности – только два искусственных насаждения (№ 7, 9) из р. Хопёр. Реинтродукция *T. natans* более перспективна в р. Хопёр, а в р. Волга (по крайней мере, в районе высева) реинтродукция затруднена из-за резких перепадов уровня воды в течение сезона.

Ключевые слова: *Trapa natans*, морфологическая изменчивость, реинтродукция, река Хопер, река Волга, Воронежская область, Саратовская область

Для цитирования. Пархоменко А. С., Кашин А. С., Шилова И. В., Гребенюк Л. В., Богослов А. В., Денисов А. А., Кондратьева А. О., Пархоменко В. М. Изменчивость морфологических параметров *Trapa natans* (Тгарасеae, Magnoliópsida) при реинтродукции в водоемы Саратовской области из водоемов Воронежской области // Поволжский экологический журнал. 2022. № 1. С. 55 – 78. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-55-78>

 Для корреспонденции. Ботанический сад Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского.

ORCID и e-mail адреса: Пархоменко Алена Сергеевна: <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>, parkhomenko_as@mail.ru; Кашин Александр Степанович: <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>, kashinas2@yandex.ru; Шилова Ирина Васильевна: <https://orcid.org/0000-0002-9828-4229>, schival1952@yandex.ru; Гребенюк Людмила Владимировна: <https://orcid.org/0000-0003-0812-8861>, grebenuk2@yandex.ru; Богослов Артём Валерьевич: <https://orcid.org/0000-0002-2248-1285>, dandelioncave@mail.ru; Денисов Антон Александрович: <https://orcid.org/0000-0002-2887-758X>, boss.nhg@gmail.com; Кондратьева Анна Олеговна: <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>, popova.ao@mail.ru; Пархоменко Василий Михайлович: <https://orcid.org/0000-0002-7218-6540>, parhomenko_vm@mail.ru.

© Пархоменко А. С., Кашин А. С., Шилова И. В., Гребенюк Л. В., Богослов А. В., Денисов А. А., Кондратьева А. О., Пархоменко В. М., 2022

ВВЕДЕНИЕ

Среди актуальных экологических проблем современности одна из главнейших – проблема сохранения биоразнообразия. В различных регионах России уже не одно десятилетие ученые проводят работы по сохранению и восстановлению популяций редких и исчезающих видов в природных биотопах (Тихонова и др., 1991; Игнатенко, 1995; Тихонова, Беловодова, 2002; Абрамова и др., 2006; Горбунов и др., 2008). В 2000 г. была утверждена Международная программа ботанических садов по охране растений. В нее включена, наряду с сохранением растений в ботанических коллекциях (*ex situ*), и реинтродукция редких и эндемичных видов в естественную среду обитания (*in situ*). В данной статье мы используем широко употребляемый в настоящее время в отечественной и зарубежной литературе термин «реинтродукция» – возвращение вида в места его бывшего произрастания (Горбунов и др., 2008; Maschinski, Duquesnelb, 2007; Maschinski, Albrecht, 2017).

Одним из объектов, нуждающихся в реинтродукции, является водяной орех (рогольник, чилим) – *Trapa natans* L. s.l. (Trapaceae) – реликтовый тропогенно-бореальный вид, однолетний аэрогидратофит с дизъюнктивным, неуклонно сокращающимся ареалом (Цвелёв, 1964; Кашин и др., 2016). Водяной орех в нашей стране сохранился лишь в небольшом числе водоёмов отдельных регионов и формирует четыре фрагмента ареала, разделенных значительными расстояниями: европейская часть России, юг Западной Сибири, Забайкалье и Дальний Восток (Кулуев и др., 2017).

Произрастает водяной орех в пойменных озерах и старицах, заводях рек, в местах, хорошо прогреваемых солнцем и защищенных от ветра, на глубине 0.5 – 2.5 м. Образуется чистые заросли или встречается вместе с другими растениями – кувшинковыми, роголистником, урутью, водяной гречихой и др. (Hummel, Findlay, 2006; Dementeva, Petushkova, 2010; Lim, 2012).

Чилим использовался человеком со времен неолита для употребления в пищу и на корм скоту. Плоды водяного ореха по содержанию крахмала и белка не уступают пшенице и превосходят кукурузу и картофель. Растение культивируется и употребляется в пищу во многих странах Азии. Уникальным свойством водяного ореха, которое может найти практическое применение, является высокая антибактериальная активность внутренней оболочки его плодов. Чилим может использоваться и для фиторемедиации, так как поглощает растворенные соли и биогенные элементы в водоемах и подавляет развитие сине-зеленых водорослей (Артюхин и др., 2019).

В настоящее время в России плоды водяного ореха в качестве пищевого продукта не используют, в том числе из-за сокращения и вымирания популяций этого растения в реках и озерах. Лимитирующими факторами являются изменение гидрологического режима и загрязнение водоемов, усыхание озер из-за разбора воды на полив, мелиоративные работы, строительство гидросооружений, заготовка зеленой массы на корм скоту. Большой ущерб зарослям чилима наносит ловля рыбы сетями (Литвинская и др., 1983).

Вид *T. natans* включен в Красные книги стран Восточной Европы и ряда регионов Российской Федерации. На территории Саратовской области вид считается исчезнувшим (Кашин и др., 2015, 2016, 2019).

Попытки реинтродукции водяного ореха предпринимались в ряде регионов страны (Каршина, Трофимов, 1951; Матвеев, Шилов, 1996; Дробот, 1997; Печенюк, Радькова, 1998; Лесков, 2010). Успешной реинтродукция оказалась в водоемах Воронежской, Самарской и Пензенской областей (Матвеев, Шилов, 1996; Печенюк, Радькова, 1998; Розенберг и др., 2007; Агаева, 2016), Республики Башкортостан (Артюхин и др., 2019; Михайлова и др., 2021), Читинской области (Лесков, 2008). Исследователями было установлено, что на развитие *T. natans* преимущественное влияние оказывают глубина и температурный режим водоема, степень аэрации и величина рН, уровень освещенности. Наилучшие условия для развития чилима – хорошо аэрированные участки водоема с активным перемешиванием воды за счет родников и впадающих ручьев. В отношении рН воды в местах обитания чилима получены противоречивые сведения. Одни авторы (Смиренский, 1950) утверждают, что проростки чилима погибают в слабощелочной среде (рН = 8 – 9), другие (Михайлова и др., 2021) – наблюдали наибольшую всхожесть и наилучшее развитие розеток в водоеме с высоким значением рН (8.75). Температура придонных слоев воды в водоеме для начала вегетации должна составлять не менее 9 – 12°C. Самые крупные розетки чилима фиксируются на небольших глубинах, но располагаются на некотором отдалении от берега. Последнее обусловлено уходом растения от затенения прибрежной древесной и высокой прибрежно-водной растительностью в течение дня. При некоторой застойности на мелководье у рогольника появляется мощный конкурент – телорез алоэвидный.

Авторами, начиная с 2012 г., проводятся работы по реинтродукции *T. natans* на территорию Саратовской области в реки Волжского (Волга, Терешка) и Донского (Хопёр, Медведица) бассейнов. Плоды для посева в разные годы собирались в пойменных озерах р. Дон на территории Волгоградской области (Сиротинский и Кумылженский районы) и в низовьях Волги (Астраханская область). Многолетние мониторинговые исследования показали, что в ряде случаев попытки реинтродукции оказались удачными: фиксируется закрепление вида на новых местах. В ходе проведенных исследований было выяснено, что для реинтродукции *T. natans* на территорию Саратовской области наиболее благоприятные условия обеспечиваются в заливах р. Хопёр, а для посева необходимо использовать плоды чилима из популяций, произрастающих в сходных гидрологических и климатических условиях (Кашин и др., 2015, 2016, 2019).

В настоящей работе приведены результаты реинтродукции *T. natans* из пойменных озер в среднем течении р. Хопёр на территории Воронежской области в заливы и пойменные озера верховий р. Хопёр и заливы р. Волга на территории Саратовской области.

Целью работы была оценка морфологической изменчивости *T. natans* в искусственных насаждениях по сравнению с популяциями-донорами.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В пойменных озерах р. Хопёр, расположенных в пределах Хопёрского государственного природного заповедника (ХГПЗ) на территории Воронежской области, авторами во второй половине сентября 2019 г. были исследованы 3 естественные популяции *T. natans*: № 1 – в оз. Ульяновское, № 2 – в оз. Малое Голое, № 3 – в оз. Серебрянка Удельная (рис. 1).

В водоемах заповедника отмечено более ста видов растений, в том числе сальвиния плавающая, чилим, наяда морская, частуха Лезеля, кувшинки белая и чисто-белая, вольфия бескорневая. Обильны водокрас, кубышка желтая, стрелолист, сусак, ежеголовник, телорез и др. (Флора..., 2021). В озерах, расположенных в притеррасной части, получающих обильное питание грунтовыми водами, отмечено максимальное содержание кислорода в течение не только теплого, но и всего холодного периода (Бирюков, 2010). Озера Ульяновское, Малое Голое и Серебрянка Удельная, в которых изучались популяции водяного ореха, входят в число таких водоемов: оз. Ульяновское, размер 300×46 м, площадь 1.3 га, находится в 500 м севернее с. Варварино; оз. Малое Голое, размер 578×47 м, площадь 2.3 га, находится в 500 м южнее с. Варварино, во время половодья соединяется с оз. Большое Голое; оз. Серебрянка Удельная, размер 750×235 м, площадь 5.2 га, расположено в 2 км южнее с. Алфёровка.

Глубина водоемов в местах произрастания водяного ореха не превышает 1.5 – 2 м. Грунт дна песчаный, илисто-песчаный. Озеро Малое Голое со всех сторон окружено пойменным лесом. Озера Ульяновское и Серебрянка Удельная более открытые, с хорошим уровнем освещенности.

По сообщениям Е. В. Печенюк, Н. А. Радькова (1998), в оз. Ульяновское впервые чилим был обнаружен в 1990 г. Предполагается, что плоды перенесены людьми из одного из близ расположенных озер. В оз. Малое Голое *T. natans* был перенесён из оз. Ореховское в 1939 г. ботаником С. А. Красовской (Печенюк, Радькова

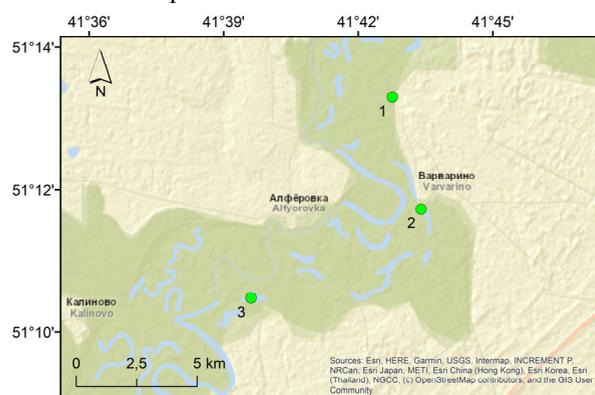


Рис. 1. Местонахождение донорных популяций *Trapa natans* в Воронежской области

Fig. 1. Locations of *Trapa natans* donor populations in the Voronezh region

1998). Численность и состояние популяций чилима сильно колеблются: до полного исчезновения в отдельные годы с последующим восстановлением численности и занимаемой прежде площади. Это происходит вследствие погодных изменений (наполняемость водоемов в половодье, в летний период в связи с выпадением или отсутствием осадков, прогреванием воды) и разрастания конкурирующих видов растений, либо уменьшения занимаемой ими площади.

В трех природных популяциях чилима (№ 1 – 3) были собраны плоды в количестве 1057 шт. В конце сентября – начале октября 2019 г. часть из них (852 шт.) высеяна в 20 местах в р. Хопёр в пределах Саратовской области (рис. 2, а, б). В заливы р. Волга (Волгоградское водохранилище) посев орехов производился как осенью 2019 г. (110 шт.), так и после стратификации орехов в холодильнике весной 2020 г. (95 шт.) (рис. 2, в). Для посева выбирались места, сходные с местобитаниями донорных популяций (табл. 1).

На р. Хопёр в Ртищевском районе, в окрестностях с. Бельщино и с. Ключи было выбрано пять мест для посева (№ 4 – 8). У с. Бельщино посеяно 40 шт. орехов, у с. Ключи в четырех местах – 180 шт. (от 30 до 60 шт. в каждое место). Места посева представляют собой заливы с глубиной около 1.5 м (0.5 – 2 м), песчаным дном с небольшим слоем ила (1 – 2 см).

В Турковском районе, у с. Кольчѐво, в заливы р. Хопёр в трех местах (№ 9 – 11) посеяно 186 шт. орехов (от 40 до 100 шт. в каждое место). Глубина мест посева – до 1.5 – 2 м. Дно заливов песчаное со слоем ила мощностью от 1 – 2 до 10 см.

В Балашовском районе, в окрестностях с. Лесное выбраны четыре точки (№ 12 – 15) для посева плодов. Орехи в количестве 160 шт. высеяны в старицу Затон, отделенную от реки зарослями рогоза узколистного, и расположенный в устье старицы Затон залив р. Хопёр.

В окрестностях с. Рассказань было выбрано 8 точек (№ 16 – 23) для посева. Орехи (от 20 до 60 шт.) посеяны в заливы, заводь и пойменные озера. Глубина мест посева – до 1.5 м.

Посев плодов *T. natans* был также осуществлен в четырех местах на р. Волга, в Марковском и Энгельском районах Саратовской области (см. рис. 2, в). В заливы было высеяно 205 орехов: часть – осенью 2019 г. (№ 25 и 27), часть – после стратификации в холодильнике – весной 2020 г. (№ 24 и 26).

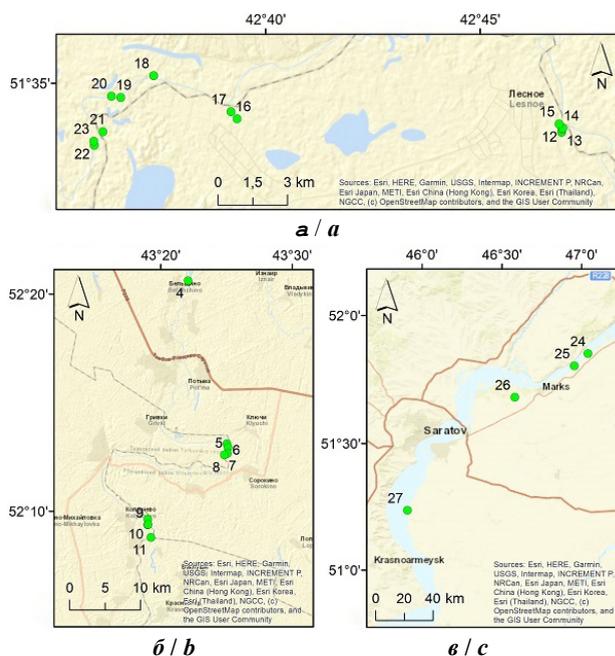


Рис. 2. Места посева плодов *Trapa natans* на территории Саратовской области: а, б – в р. Хопёр, в – в р. Волга
Fig. 2. *Trapa natans* sowing sites in the Saratov Region: а, b – in the Kholop river, c – in the Volga river

Таблица 1. Местонахождение и краткая характеристика искусственных насаждений *Trapa natans* в р. Хопёр и р. Волга на территории Саратовской области

Table 1. Locations and brief characteristics of *Trapa natans* recipient populations in the Kholer and Volga rivers within the Saratov region

Донорная популяция / Donor population	Искусственное насаждение / Artificial planting	Координаты / Coordinates		Ближайший населенный пункт / Nearest settlement	Дата посева – дата мониторинга / Sowing date – monitoring date	Число высеванных плодов, шт. / Number of fruits sown, pcs.	Число розеток, шт. / Number of sockets, pcs.		
		N, °	E, °						
Река Хопёр – Ртищевский район / Kholer River – Rtishchevsky district									
1	4	52.34329	43.36806	Бельшино / Belshchino	10.10.2019 – 10.09.2020	40	2		
2	5	52.21821	43.41728	Ключи / Klyuchi	11.10.2019 – 11.09.2020	40	9		
	6	52.21534	43.41893			60	37		
	7	52.21078	43.41784			30	12		
	8	52.20967	43.41391			50	5		
Река Хопёр – Турковский район / Kholer River – Turkovsky district									
1	9	52.16021	43.31693	Колычёво / Kolychevo	11.10.2019 – 11.09.2020	40	14		
	2	10	52.15596			43.31684	40	4	
11		52.15620	43.31720			60			
12		52.14620	43.32077			46	14		
Река Хопёр – Балашовский район / Kholer River – Balashovsky district									
2	12	51.57165	42.78166	Лесное / Lesnoye	21.09.2019 – 04.09.2020	20	0		
	13	51.57238	42.78181			40	0		
	14	51.57266	42.78224			20	2		
	15	51.57360	42.78072			80	30		
1	16	51.57485	42.65554	Рассказань / Rasskazan	21.09.2019 – 05.09.2020	40	0		
	2	17	51.57650			42.65318	40	0	
18		51.58500	42.62311			20	15		
19		51.57989	42.61034			20	20		
20		51.58019	42.60667			40	74		
21		51.57181	42.60339			40	19		
22		51.56858	42.60001			26	4		
23		51.56952	42.59987			60	0		
Река Волга – Марковский район / Volga River – Marksovsky district									
1	24	51.85083	47.03872			Ястребовка / Yastrebovka	19.03.2020 – 27.08.2020	40	0
2				18					
3				30					
2	25	51.80286	46.95260	Баскатовка / Baskatovka	04.10.2019 – 27.08.2020 (+08.06.2019)	60, (+29)	125		
3	26	51.67965	46.58072	Красная Поляна / Krasnaya Polyana	05.05.2020 – 27.08.2020	7	0		
Река Волга – Энгельский район / Volga River – Engelssky district									
2	27	51.23577	45.90804	Узморье / Uzmoreye	03.10.2019 – 27.08.2020	50	8		

В Марковском районе, окрестности с. Ястребовка (№ 24) для посева стратифицированных в холодильнике и начавших прорастать орехов в марте 2020 г. была выбрана узкая, мелкая (до 1 м) протока на волжском острове.

В окрестностях с. Баскатовка орехи посеяны в небольшой залив (№ 25), образованный песчаной косой, отходящей от волжского острова. Дно песчаное с небольшим наилком.

В окрестностях с. Красная Поляна посадка семян, полученных из стратифицированных и проросших в холодильнике орехов, проведена в маленький залив 05.05.2020 г.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *TRAPA NATANS*

В Энгельском районе, в окрестностях с. Узморье посев проведен в начале октября 2019 г., когда большая часть водных растений «осела» на дно и не была видна. Глубина 0.5 – 1 м, дно песчаное со слоем ила 1 – 2 см.

По химическому составу вода в реках Хопёр и Волга на территории Саратовской обл. несколько отличается от воды в озёрах и р. Хопёр на территории Хопёрского государственного природного заповедника (ХГПЗ) (табл. 2).

Таблица 2. Химический состав воды в пойменных озерах, реках Хопёр и Волга
Table 2. Chemical composition of water in the floodplain lakes, the Khoper and Volga rivers

Ингредиенты / Ingredients	На территории Хопёрского государственного природного заповедника в Воронежской области* / In the Khoper State Nature Reserve (Voronezh region)*			На территории Саратовской области / In the Saratov region	
	Озеро Ульяновское / Ulyanovskoye Lake	Озеро Большое Голое / Bolshoye Goloye Lake	Река Хопёр / Khoper river	Река Хопёр / Khoper river **	Река Волга / Volga river
рН	7.1	7.2	7.3	8.06	8.0***
Жесткость общая, мг-экв/л / Total hardness, mg-eq/L	1.8	2.2	4.2	7.1	4.74***
Щелочность общая, мг/дм ³ / Total alkalinity, mg/dm ³	116	146	299	–	–
Сульфаты, мг/дм ³ / Sulfates, mg/dm ³	26.6	28.8	86.0	109.7	112***
Хлориды, мг/дм ³ / Chlorides, mg/dm ³	24.5	23.9	47.3	43.0	32.3***
Кальций, мг/дм ³ / Calcium, mg/dm ³	20.1	27.1	53.7	97.6	–
Магний, мг/дм ³ / Magnesium, mg/dm ³	10.4	10.4	18.6	26.4	–
Сухой остаток, мг/дм ³ / Dry residue, mg/dm ³	185	213	398	до 700	260.4***
Азот аммонийный, мг/дм ³ / Ammonium nitrogen, mg/dm ³	0.64	0.5	0.4	0.197–1.07	0.18****
Азот нитритный, мг/дм ³ / Nitrite nitrogen, mg/dm ³	0.015	0.015	0.015	0.003–0.016	0.006–0.025****
Азот нитратный, мг/дм ³ / Nitrate nitrogen, mg/dm ³	8.4	8.4	8.6	0.27–0.89	0.35****
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³ / BOD ₅ , mg O ₂ /dm ³	3.9	3.5	3.1	–	0.2–5.6****
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³ / Permanganate oxidizability, mg/dm ³	29.3	24.8	23.8	–	5.9–8.5****
Железо общее, мг/дм ³ / Total iron, mg/dm ³	0.3	0.31	0.23	–	0.07–0.43****

Примечание. * Бирюков, 2010; ** Зобова, 2005; *** Кисель, 2007; **** Доклад ..., 2020; прочерк – нет данных.

Note. * Viryukov, 2010; ** Zobova, 2005; *** Kisel, 2007; **** Report ..., 2020; dash – no data.

Вода в р. Хопёр у г. Балашов более жесткая, со слабощелочной реакцией в отличие от воды с почти нейтральной реакцией на территории ХГПЗ, содержащая больше сухого остатка. По расчету индекса загрязнения вода в Хопре на территории ХГПЗ относится ко II классу, что соответствует качеству чистой (Зобова,

2005), а у Балашова – к III классу и оценивается как умеренно загрязненная (Кисель, 2007). Основными загрязняющими веществами являются трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), легкоокисляемые органические вещества (по БПК), железо общее, медь, марганец, нефтепродукты. Также незначительный вклад в загрязнения вносят нитриты и фенолы (Доклад..., 2020).

Показатели по загрязняющим веществам могут отразиться на местообитаниях, расположенных ниже г. Балашов по течению р. Хопёр (№ 13 – 15 у с. Лесное и № 16 – 23 у с. Рассказань), но в Ртищевском и Турковском районах местообитания (№ 4 – 12) не подвергаются промышленному загрязнению, поскольку на реке нет крупных населенных пунктов.

Вода в р. Волга также имеет слабощелочную реакцию, относится к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе, по жесткости приближается к воде из пойменных озер р. Хопёр. Минерализация в среднем течении составляет 180 – 200 мг/л. От Куйбышевского водохранилища до участка реки ниже г. Волгоград вода умеренно загрязненная или загрязненная (Волга. Вода России, 2021). Отмечается, что одним из самых распространенных загрязнителей Волгоградского водохранилища является медь (от 0.0010 до 0.0042 мг/дм³) (Доклад..., 2020).

При проведении исследований в качестве учетной единицы принималась отдельная розетка. В каждой популяции снимались морфометрические показатели с 30 розеток, остальные розетки учитывались при оценке численности популяции. Если насаждение оказывалось малочисленным, производились измерения всех розеток водяного ореха. Отмечалось фенологическое состояние растений в момент наблюдения, учитывалась общая численность розеток, число листьев в розетке, число цветков и плодов (зрелых, незрелых, следов от опавших плодов), измерялся диаметр розетки.

Измерения производились с помощью линейки и штангенциркуля «Mechanic 150 PRO» (ADA, Китай). Каждая из 30 розеток фотографировалась в естественных условиях с масштабной линейкой и затем, при камеральной обработке, определялись площади каждого листа и всей розетки с использованием компьютерной программы ImageJ.

Кроме того, по одному листу с каждой розетки гербаризировалось. На них в камеральных условиях измерялись признаки, приведённые на рис. 3, а также определялось отношение длины листа к ширине листа, угол между основаниями листовых пластинок, угол между сторонами третьего от основания зубца и угол отхождения второй боковой жилки.

Потенциальная семенная продуктивность определялась суммированием показателей числа плодов, следов от плодов и числа цветков. При определении реальной семенной продуктивности суммировалось количество зрелых плодов и следов от опавших плодов.

Анализ межпопуляционной изменчивости морфологических показателей проводили с использованием описательной статистики (средняя арифметическая и её ошибка), диаграмм размаха по наиболее важным, выделенным в ходе факторного анализа, признакам. Ординация точек, отвечающих особям соответствующих популяций, выполнена методом главных компонент (PCA). Кроме того, были рас-

считаны непараметрические коэффициенты корреляции Спирмена. В случае, если коэффициенты корреляции для коррелированных пар переменных были ≥ 0.90 , один признак из пары исключался из многомерного анализа. Кроме того, перед применением факторного анализа и проведением ординации методом главных компонент, количественные признаки были стандартизированы с целью компенсации различия единиц измерения путем вычитания из каждого наблюдения среднего значения столбца и деления на стандартное отклонение (Torrecilla et al., 2013; Finot et al., 2018).

Изучение изменчивости формы листовых пластинок проводилось с привлечением методов геометрической морфометрии, в частности эллиптического анализа формы с использованием гармоник Фурье (EFA) (Kuhl, Giardina, 1982; Claude, 2008), представленного в пакете Momocs (Bonhomme et al., 2014) среды статистического программирования R (R Core Team, 2020). Вначале листовые пластинки были отсканированы с разрешением 300 dpi. Далее полученные изображения были переведены из цветных в монохромные (черный объект на белом фоне). Для статистической обработки в качестве входных данных использовались автоматически прослеженные контуры объектов (листовых пластинок) – аутлайны. Аутлайн, согласно подходу EFA, определяется как сумма минимального числа эллипсов, требующихся для имитации формы (Васильев и др., 2018).

На основании подхода о кумулятивной мощности гармоник было установлено, что 24 гармоники дают 99.9% кумулятивной мощности, что является вполне достаточным для имитации формы листовых пластинок. Основные направления морфологической изменчивости листовых пластинок определялись в ходе анализа диаграммы рассеяния, полученной с помощью ординации методом главных компонент. Для проверки достоверности различий при сравнении естественных популяций между собой, а также естественных

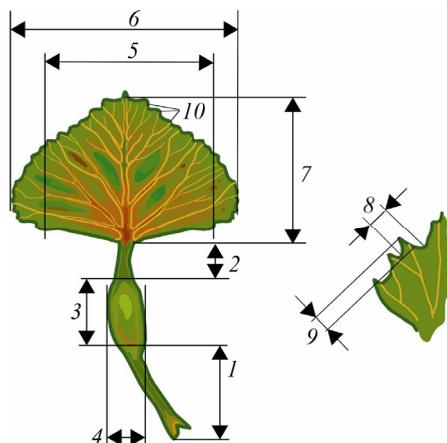


Рис. 3. Признаки, измеряемые на листьях *Trapa natans*: 1 – длина черешка до пузыря, 2 – длина черешка от пузыря, 3 – длина пузыря, 4 – ширина пузыря, 5 – ширина листовой пластинки между нижними зубцами, 6 – ширина листовой пластинки, 7 – длина листовой пластинки, 8 – ширина третьего от основания зубца листовой пластинки, 9 – высота третьего от основания зубца листовой пластинки, 10 – среднее количество зубцов на боковой стороне листовой пластинки, 11 – длина черешка

Fig. 3. The morphometric parameters for the measurement of *Trapa natans* leaves: 1 – the length of the petiole to the bubble, 2 – the length of the petiole from the bubble, 3 – the length of the bubble, 4 – the width of the bubble, 5 – the width of the leaf blade between the lower teeth, 6 – the width of the leaf blade, 7 – the length of the leaf blade, 8 – the width of the third tooth from the base of the leaf blade, 9 – the height of the third tooth from the base of the leaf blade, 10 – the average number of teeth on the side of the leaf blade, 11 – the petiole length

популяций с искусственными насаждениями проводился многомерный дисперсионный анализ (MANOVA) с использованием критерия Хотеллинга – Лоули.

В статистический анализ при этом брались популяции, число измеренных розеток в которых было не менее 10 шт. Остальные популяции с единичным числом розеток (№ 4, 8, 10, 14, 22) исключались из анализа и были использованы только для описаний общего их состояния. Таким образом, в различных статистических анализах использовалось 13 выборок: 3 – из природных популяций и 10 – из искусственных насаждений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как следует из табл. 3, среди трех природных популяций *T. natans* максимальными значениями морфометрических параметров, таких как количество листьев, площадь одного листа и суммарная площадь всех листьев розетки, длина черешков листьев, величина пузыря, отличаются особи популяции № 2 из оз. Малое Голое. У особей этой популяции и потенциальная семенная продуктивность намного выше, чем в двух других, а реальная – практически такая же, как и в популяции из оз. Ульяновское (№ 1). Минимальными морфометрическими параметрами характеризовались особи популяции из оз. Серебрянка Удельная (№ 3). Здесь же отмечена минимальная потенциальная и реальная семенная продуктивность. К моменту исследований цветение растений продолжалось во всех популяциях, но количество цветков было незначительным по сравнению с количеством плодов.

Таблица 3. Морфометрические параметры *Trapa natans* в природных популяциях из озер в пойме р. Хопёр на территории Воронежской области

Table 3. Morphometric parameters of *Trapa natans* donor populations in the lakes of the Khoper floodplain, the Voronezh region

Параметры / Parameters	Популяция / Population		
	1	2	3
1	2	3	4
Площадь розетки, см ² / The area of the rosette, cm ²	208.00±10.32	525.00±35.77	50.00±4.93
Длина листовой пластинки, см / The length of the leaf blade, cm	3.93±0.06	4.43±0.9	1.97±0.06
Максимальная ширина листовой пластинки, см / The maximum width of the leaf blade, cm	4.31±0.08	5.07±0.12	2.23±0.08
Ширина между нижними зубцами листовой пластинки, см / The width between the lower teeth of the leaf blade, cm	4.05±0.09	4.74±0.11	2.08±0.07
Угол между основаниями листовой пластинки, ° / The angle between the bases of the leaf blade, °	105.00±1.02	108.00±1.28	113.00±1.51
Площадь листовой пластинки, см ² / The area of the leaf blade, cm ²	13.26±0.49	17.56±0.71	3.59±0.20
Длина черешка листа, см / The length of the leaf petiole, cm	5.81±0.18	8.53±0.39	3.38±0.15
Длина черешка до пузыря, см / The length of the petiole to the bubble, cm	3.17±0.14	4.93±0.30	1.73±0.10
Длина черешка от пузыря, см / The length of the petiole from the bubble, cm	0.87±0.03	1.09±0.05	0.53±0.03
Длина пузыря, см / The length of the bubble, cm	1.77±0.04	2.51±0.09	1.12±0.04
Ширина пузыря, см / The width of the bubble, cm	0.29±0.06	0.36±0.02	0.15±0.01
Ширина третьего зубца от основания пластинки, см / The width of the third tooth from the base of the leaf blade, cm	0.33±0.01	0.36±0.02	0.21±0.01

Окончание табл. 3
Table 3. Continuation

1	2	3	4
Высота третьего зубца от основания пластинки, см / The height of the third tooth from the base of the leaf blade, cm	0.19±0.01	0.20±0.01	<i>0.14±0.01</i>
Угол между сторонами третьего от основания зубца, ° / The angle between the sides of the third tooth from the base, °	79.17±2.30	91.93±1.37	85.80±2.14
Угол отхождения второй боковой жилки, ° / The angle made by the second lateral vein, °	35.07±0.45	35.77±0.62	36.00±0.71
Число зубцов, шт. / The number of teeth, pcs.	12.00±0.19	12.47±0.24	<i>8.40±0.20</i>
Отношение длины листа к ширине листа / The ratio of the length of the leaf to the width of the leaf	0.91±0.01	<i>0.88±0.01</i>	0.89±0.01
Диаметр розетки, см / The diameter of the rosette, cm	24.17±0.58	36.43±1.62	<i>12.65±0.45</i>
Число листьев, шт. / The number of leaves, pcs.	18.40±0.60	32.20±1.57	<i>16.17±0.95</i>
Число зрелых плодов, шт. / The number of ripe fruits, pcs.	5.17±0.29	1.53±0.26	<i>0.60±0.11</i>
Число незрелых плодов, шт. / The number of unripe fruits, pcs.	5.87±0.46	11.20±0.75	<i>3.07±0.45</i>
Число следов от опавших плодов, шт. / The number of traces of fallen fruits, pcs.	3.40±0.41	6.77±0.83	<i>1.37±0.27</i>
Число цветков, шт. / The number of flowers, pcs.	<i>0.47±0.12</i>	1.30±0.30	0.90±0.18
Потенциальная семенная продуктивность, шт. / Potential seed productivity, pcs.	14.90±0.67	20.80±1.30	<i>5.93±0.51</i>
Реальная семенная продуктивность, шт. / Actual seed produc- tivity, pcs.	8.57±0.52	8.30±0.88	<i>1.97±0.31</i>

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены наибольшие значения параметров, курсивом – наименьшие значения параметров.

Note. The highest parameter values are in bold, the lowest ones are in italics.

Результаты морфометрических измерений розеток *T. natans* из искусственных насаждений в р. Хопёр и в заливах р. Волга в 2020 г. представлены в табл. 4.

В пределах Ртищевского района по морфометрическим параметрам лидирует искусственное насаждение № 7 из окрестностей с. Ключи, выделяющееся большим диаметром розеток, состоящих из крупных листьев с большим числом крупных зубцов. Листья сидят на длинных черешках с большим пузырем. Высока как потенциальная, так и реальная семенная продуктивность. По потенциальной и реальной семенной продуктивности к искусственному насаждению № 7 приближается № 8, у которого прочие морфометрические параметры достигали среднего уровня. Минимальными параметрами обладали розетки из местообитания № 5 в окрестностях с. Ключи, хотя реальная семенная продуктивность в последнем была довольно высока.

В Турковском районе, окрестностях с. Колычево из трех искусственных насаждений выделяется № 9, где обнаружено 14 розеток с максимальной площадью (в среднем – 467 см², площадь отдельной розетки – 893 см²). По большинству морфометрических параметров розетки из данного местообитания имеют самые большие значения по сравнению с параметрами розеток в других насаждениях. Лишь по значениям таких параметров, как диаметр розетки, количество листьев и количество плодов и следов от плодов, искусственное насаждение № 9 уступает местообитанию № 15 в окрестностях с. Лесное Балашовского района.

Таблица 4. Морфометрические параметры *Taraxacum officinale* в искусственных насаждениях в р. Хопер и р. Волга
Table 4. Morphometric parameters of *Taraxacum officinale* populations in the Khorop and Volga rivers

Параметры / Parameters	Искусственные насаждения / Artificial plantations										
	6	7	9	11	15	18	19	20	21	25	
Площадь розетки, см ² / The area of the rosette, cm ²	311.0±28.27	436.0±56.9	467.0±64.28	122.0±19.68	371.0±30.99	228.0±28.39	230.0±25.25	232.0±5.18	293.0±27.77	362.5±22.77	
Длина листовой пластинки, см / The length of the leaf blade, cm	3.6±0.10	4.5±0.20	4.5±0.19	3.7±0.19	4.0±0.08	3.8±0.10	3.7±0.13	3.7±0.09	4.0±0.09	3.7±0.09	
Максимальная ширина листовой пластинки, см / The maximum width of the leaf blade, cm	4.3±0.14	5.4±0.22	5.6±0.28	3.7±0.22	4.6±0.11	4.5±0.11	4.3±0.16	4.3±0.12	4.7±0.14	4.2±0.12	
Ширина между нижними зубцами листовой пластинки, см / The width between the lower teeth of the leaf blade, cm	4.0±0.13	5.0±0.18	5.1±0.26	3.5±0.22	4.3±0.11	4.1±0.17	3.9±0.16	4.1±0.11	4.4±0.14	4.0±0.11	
Угол между основаниями листовой пластинки, ° / The angle between the bases of the leaf blade, °	125.7±1.65	124.9±2.58	128.6±1.29	128.8±2.97	120.9±1.46	123.5±1.44	122.4±1.71	123.0±1.11	124.1±1.62	112.6±1.62	
Площадь листовой пластинки, см ² / The area of the leaf blade, cm ²	14.6±0.87	18.9±1.78	20.0±1.52	9.4±0.91	12.2±0.67	8.5±0.59	9.4±0.64	8.7±0.33	9.9±0.55	10.6±0.48	
Длина черешка листа, см / The length of the leaf petiole, cm	5.5±0.25	5.6±0.31	6.6±0.58	5.3±0.66	6.1±0.26	4.5±0.36	5.0±0.38	5.6±0.30	7.0±0.36	6.1±0.26	
Длина черешка до пузырька, см / The length of the petiole to the bubble, cm	3.0±0.22	2.9±0.28	3.6±0.45	3.1±0.56	3.3±0.21	2.2±0.28	2.7±0.32	3.3±0.22	4.2±0.33	3.4±0.23	
Длина черешка от пузыря, см / The length of the petiole from the bubble, cm	0.7±0.03	0.9±0.06	0.9±0.06	0.7±0.04	1.0±0.03	0.8±0.04	0.8±0.03	0.9±0.02	1.0±0.02	1.0±0.04	
Длина пузыря, см / The length of the bubble, cm	1.8±0.04	1.9±0.07	2.1±0.13	1.6±0.09	1.8±0.06	1.6±0.07	1.6±0.06	1.6±0.05	1.9±0.04	1.7±0.04	
Ширина пузыря, см / The width of the bubble, cm	0.3±0.02	0.4±0.04	0.5±0.05	0.3±0.03	0.4±0.02	0.2±0.02	0.3±0.02	0.3±0.02	0.3±0.02	0.4±0.02	
Ширина третьего зубца от основания пластинки, см / The width of the third tooth from the base of the leaf blade, cm	0.3±0.07	0.4±0.02	0.4±0.02	0.3±0.02	0.3±0.01	0.4±0.02	0.3±0.07	0.4±0.01	0.4±0.02	0.3±0.01	
Высота третьего зубца от основания пластинки, см / The height of the third tooth from the base of the leaf blade, cm	0.2±0.07	0.3±0.02	0.2±0.02	0.3±0.02	0.3±0.01	0.3±0.01	0.3±0.01	0.3±0.01	0.3±0.02	0.3±0.01	
Угол между сторонами третьего от основания зубца, ° / The angle between the sides of the third tooth from the base, °	88.3±1.86	98.6±1.63	82.8±2.94	87.6±3.68	79.4±1.95	94.3±1.84	97.9±1.58	89.2±1.71	87.8±2.45	82.1±2.01	

Окончание табл. 4
Table 4. Continuation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Угол отхождения второй боковой жилки, ° / The angle made by the second lateral vein, °		54.7±0.88	55.0±1.23	51.6±1.41	54.5±1.43	49.1±1.41	55.5±2.91	49.8±1.17	50.0±1.69	48.8±1.57	46.3±2.23
Число зубцов, шт. / The number of teeth, pcs.		12.3±0.40	14.7±0.70	13.3±0.55	<i>10.8±0.46</i>	11.9±0.29	11.2±0.42	11.3±0.32	12.1±0.28	12.0±0.31	11.8±0.29
Отношение длины листа к ширине листа / The ratio of the length of the leaf to the width of the leaf		0.8±0.01	0.8±0.02	<i>0.8±0.01</i>	0.8±0.02	0.9±0.01	0.9±0.01	0.9±0.01	0.9±0.01	0.9±0.01	0.9±0.01
Диаметр розетки, см / The diameter of the rosette, cm		28.6±1.27	36.1±2.61	35.2±2.94	22.2±2.17	40.5±1.88	30.9±2.51	32.4±1.97	32.5±1.71	33.6±1.50	35.0±1.28
Число листочков, шт. / The number of leaflets, pcs.		20.9±1.25	24.3±2.33	24.8±2.30	<i>13.8±1.69</i>	32.1±1.31	25.8±1.96	24.9±1.43	28.9±1.31	30.1±1.70	35.8±1.20
Число зрелых плодов, шт. / The number of ripe fruits, pcs.		1.2±0.27	1.7±0.36	2.1±0.72	0.2±0.15	1.0±0.33	0.5±0.24	1.8±0.40	1.0±0.30	0.8±0.37	0
Число незрелых плодов, шт. / The number of unripe fruits, pcs.		4.1±0.36	5.5±0.65	6.2±0.67	2.7±0.52	11.1±0.64	7.9±0.77	7.9±0.63	10.4±0.61	10.8±0.69	9.1±0.61
Число следов от опавших плодов, шт. / The number of traces of fallen fruits, pcs.		1.7±0.38	3.3±0.69	2.4±0.58	1.2±0.46	0.3±0.14	1.1±0.75	0.6±0.18	1.0±0.22	0.9±0.29	0
Число цветков, шт. / The number of flowers, pcs.		2.0±0.26	1.7±0.33	1.5±0.26	<i>1.3±0.40</i>	3.2±0.28	3.3±0.51	2.0±0.26	2.4±0.22	2.4±0.28	1.7±0.29
Потенциальная семенная продуктивность, шт. / Potential seed productivity, pcs.		9.0±0.66	12.2±1.12	12.2±0.78	<i>5.4±0.68</i>	15.5±0.78	12.8±1.02	12.2±0.91	14.8±0.84	14.7±0.92	10.8±0.68
Реальная семенная продуктивность, шт. / Real seed productivity, pcs.		2.9±0.54	5.0±0.75	4.5±0.97	1.4±0.52	<i>1.3±0.38</i>	1.5±0.74	2.4±0.53	2.0±0.42	1.5±0.42	0

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены наибольшие значения параметров, курсивом – наименьшие значения параметров.

Note. The highest parameter values are in bold, the lowest ones are in italics.

Факторный анализ (табл. 5), выполненный по 22 отобраным признакам, выявил, что максимальные по модулю значения факторной нагрузки (0.70 – 0.89) по первой компоненте имеют: площадь розетки, длина и площадь листовой пластинки, длина черешка листа, длина черешка листа от пузыря, длина пузыря, диаметр розетки, общее число плодов и следов, число следов и зрелых плодов. По второй компоненте максимальную нагрузку (0.82) имеют: число следов и зрелых плодов. Суммарный объём объясненной дисперсии по двум компонентам составил 49.42%.

Таблица 5. Факторные нагрузки морфометрических показателей на первые две главные компоненты.

Table 5. The factor loadings of the morphometric parameters on the first two principal components

Параметры / Parameters	PC 1	PC 2
Площадь розетки, см ² / The area of the rosette, cm ²	0.85	0.08
Длина листовой пластинки, см / The length of the leaf blade, cm	0.89	0.04
Угол между основаниями листовой пластинки, ° / The angle between the bases of the leaf blade, °	-0.04	0.59
Площадь листовой пластинки, см ² / The area of the leaf blade, cm ²	0.79	-0.14
Длина черешка листа, см / The length of the leaf petiole, cm	0.77	-0.09
Длина черешка от пузыря, см / The length of the petiole from the bubble, cm	0.75	0.01
Длина пузыря, см / The length of the bubble, cm	0.83	-0.17
Ширина пузыря, см / The width of the bubble, cm	0.38	0.08
Ширина третьего зубца от основания пластинки, см / The width of the third tooth from the base of the leaf blade, cm	0.49	0.24
Высота третьего зубца от основания пластинки, см / The height of the third tooth from the base of the leaf blade, cm	0.31	0.55
Угол между сторонами третьего от основания зубца, ° / The angle between the sides of the third tooth from the base, °	0.02	0.10
Угол отхождения второй боковой жилки, ° / The angle made by the second lateral vein, °	0.04	0.66
Среднее количество зубцов на боковой стороне листовой пластинки, шт. / The average number of teeth on the side of the leaf, pcs.	0.63	0.06
Отношение длины листа к ширине листа / The ratio of the length of the leaf to the width of the leaf	-0.16	-0.36
Диаметр розетки, см / The diameter of the rosette, cm	0.84	0.30
Число листьев, шт. / The number of leaves, pcs.	0.68	0.32
Число зрелых плодов, шт. / The number of ripe fruits, pcs.	0.21	-0.59
Число незрелых плодов, шт. / The number of unripe fruits, pcs.	0.66	0.22
Число следов от опавших плодов, шт. / The number of traces of fallen fruits, pcs.	0.34	-0.69
Число цветков, шт. / The number of flowers, pcs.	0.21	0.53
Общее число плодов и следов, шт. / The total number of fruits and traces of fruits, pcs.	0.74	-0.39
Число следов и зрелых плодов, шт. / The number of traces of fruits and ripe fruits, pcs.	0.35	-0.82
Собственное число / Eigenvalue	7.35	3.52
Объясненная дисперсия, % / Explained variance, %	33.42	16.00

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены максимальные значения параметров.
Note. The highest parameter values are in bold.

Ординация методом главных компонент (рис. 4) демонстрирует, что большая часть точек, отвечающих розеткам природных популяций из Хопёрского заповедника, расположена в нижней части области ординации и относительно хорошо обособлена от точек, отвечающих розеткам искусственных насаждений.

Лишь незначительно облака рассеяния точек популяций № 2 и 3 перекрываются с облаками рассеяния точек реципиентных искусственных насаждений. Облако рассеяния популяции № 1

не пересекается с таковыми у реципиентных насаждений, при этом перекрываясь: в большей степени – с популяцией № 2, в меньшей – с популяцией № 3. Таким образом, облака рассеяния природных популяций более или менее хорошо обособлены друг от друга, в то время как облака рассеяния искусственных насаждений заметно накладываются друг на друга, образуя единый агрегат. При этом среди искусственных насаждений более или менее обособлены насаждения № 11 и 15. Точки, характеризующие розетки местообитания № 11, тяготеют к левой верхней части области ординации, а № 15 – к правой верхней. Однако последнее обстоятельство не препятствует перекрыванию облаков рассеяния этих местообитаний. Стоит также отметить, что популяции и искусственные насаждения гораздо сильнее расходятся относительно первой компоненты (т.е. вдоль), имеющей наибольшее значение собственного числа (7.35), что определяет ее наибольшую значимость. Расхождение по этой компоненте во многом определяется размерами листа и розеток, в то время как по второй компоненте расхождение популяций и искусственных насаждений внутри и между собой по большей части определяется разницей в количестве зрелых плодов и следов от них. Последнее предположение во многом подтверждается построенными диаграммами размаха по признакам, имеющим наибольшие значения факторных нагрузок (см. табл. 5).

Таким образом, анализ ординации методом главных компонент подтверждает, что природные популяции и искусственные насаждения довольно заметно отличаются друг от друга. Что касается искусственных насаждений, то наибольшими показателями по всем представленным параметрам отличались местообитания № 7, 9 и 15. По показателям листовых пластинок, черешка, пузыря и розетки указанные искусственные насаждения превосходили или были сопоставимы по средним значениям с популяцией № 2 из Хопёрского заповедника. В преобладающем

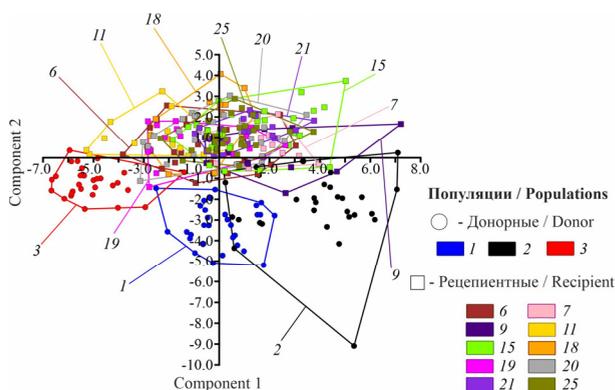


Рис. 4. Ординация точек, отвечающих розеткам природных популяций и искусственных насаждений *Trapa natans*, методом главных компонент

Fig. 4. Ordination of the points corresponding to the rosettes of *Trapa natans* natural populations and artificial plantings by the principal component method

большинстве случаев искусственные насаждения оказались схожи между собой в большей степени, чем с популяциями естественного происхождения.

Форма листовых пластинок особей *T. natans* в природных популяциях и искусственных насаждениях. При анализе изменчивости формы листовых пластинок естественных популяций с использованием метода РСА показано, что первые две главные компоненты объясняют 63.5% общей вариации формы (рис. 5). Для визуализации направлений межпопуляционных различий на диаграмме рассеяния представлены так же аутлайны листовых пластинок, характеризующие изменения их формы в пространстве первых двух главных компонент. Вдоль первой главной компоненты, объясняющей 49.6% общей изменчивости формы, популяции № 1, 2 и 3 перекрываются между собой. При этом форма листовых пластинок из популяции № 3 характеризуется большей степенью изменчивости верхней части листа: от широкой скругленной до более узкой заостренной. Вдоль второй главной компоненты (13.9% от общей изменчивости) все три естественные популяции демонстрируют сходный уровень изменчивости, при этом форма листовой пластинки меняется от более округлой с широким основанием и верхней частью до практически ромбовидной, с более узким основанием и заостренной верхней частью.

При сравнении природных популяций с искусственными насаждениями на диаграмме рассеяния отмечаются два перекрывающихся облака рассеяния точек (рис. 6). При этом первые две главные компоненты объясняют 66.7% изменчивости

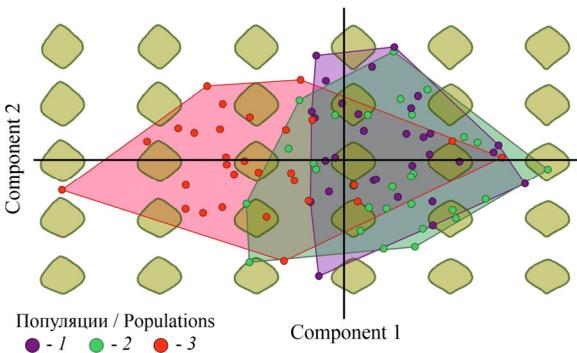


Рис. 5. Распределение листовых пластинок особей из естественных популяций *T. natans* в пространстве первых двух главных компонент. Фигуры на заднем плане соответствуют реконструированным формам листовых пластинок, расположенным согласно их позициям в пространстве первых двух главных компонент

Fig. 5. Distribution of the leaf blades from *T. natans* donor populations in the space of the first two principal components. The shapes in the background are the reconstructed leaf blade shapes arranged according to their position in the space of the first two principal components

формы листовых пластинок. Искусственные насаждения характеризуются большим разнообразием форм листовых пластинок по сравнению с естественными популяциями. Основное направление изменчивости формы задает нижняя часть листовой пластинки: для особей из естественных популяций более характерно узкое основание, для большинства особей из искусственных насаждений – широкое скругленное.

Несмотря на значительное перекрывание облаков рассеяния точек в пространстве первых двух главных компонент, многомерный дисперсионный анализ с использованием критерия Хотеллинга – Лоули показал, что

формы листовых пластинок достоверно различаются как при сравнении природных популяций между собой ($p < 0.001$), так и при их сравнении с искусственными насаждениями ($p < 0.001$). Это может быть обусловлено вариациями формы листа вдоль других компонент, в частности третьей (9.5 и 9% соответственно) и четвертой (7 и 4.4% соответственно).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно проведенным исследованиям в естественных популяциях *T. natans*, произрастающих в пойменных озерах Малое Голое (№ 2) и Ульяновское (№ 1) на территории Хопёрского государственного природного заповедника в Воронежской области, розетки чилима имели высокие значения по всем измеренным морфологическим признакам и характеризуются высокой реальной и потенциальной продуктивностью. Популяция в оз. Серебрянка Удельная (№ 3) характеризуется низкими значениями параметров как вегетативной, так и генеративной сферы в связи с ухудшением условий существования вследствие обмеления озера.

При реинтродукции *T. natans* в водоемы Саратовской области из водоемов, расположенных в пределах Хопёрского государственного природного заповедника, были получены положительные результаты. Из 24 мест посева плодов чилима в заводи и заливы рек Хопёр и Волга в пределах Саратовской области образовалось 17 искусственных насаждений, из них 10 были представлены достаточным для самоподдержания числом розеток со зрелыми и созревающими плодами. По морфометрическим параметрам (площадь и диаметр розетки, количество листьев и площадь листовой пластинки и др.) к естественным популяциям приближаются пять искусственных насаждений (№ 6, 7, 9, 15, 21) из р. Хопёр, по потенциальной

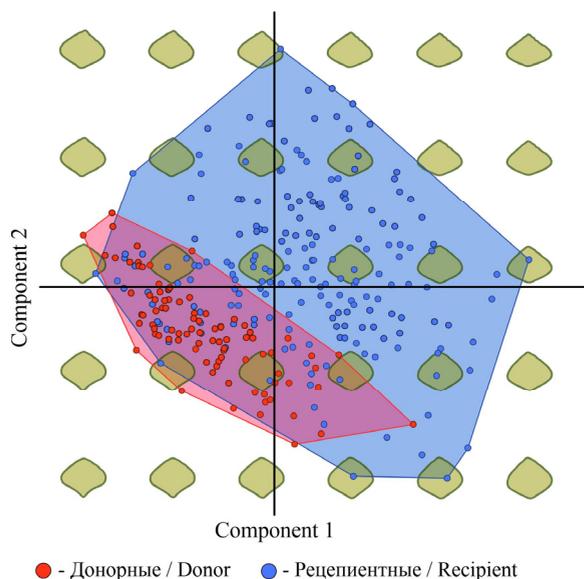


Рис. 6. Распределение листовых пластинок особей *T. natans* из естественных популяций и искусственных насаждений в пространстве первых двух главных компонент. Фигуры на заднем плане соответствуют реконструированным формам листовых пластинок, расположенным согласно их позициям в пространстве первых двух главных компонент

Fig. 6. Distribution of the leaf blades from *T. natans* donor populations in the space of the first two principal components. The shapes in the background are the reconstructed leaf blade shapes arranged according to their position in the space of the first two principal components

и реальной семенной продуктивности – только два искусственных насаждения (№ 7, 9). В целом естественные популяции и искусственные насаждения довольно заметно отличаются друг от друга. Наибольшими показателями среди искусственных насаждений по всем представленным параметрам отличались № 7, 9 и 15. По показателям листовая пластинка, черешка, пузырь и розетки указанные искусственные насаждения превосходили или были сопоставимы по средним значениям с популяцией № 2 из Хопёрского заповедника. В преобладающем большинстве случаев искусственные насаждения оказались схожи между собой в большей степени, чем с донорными популяциями естественного происхождения.

Факторный анализ, выполненный по 22 отобранными признакам, выявил, что в целом определяющими, в большей степени связанными с другими признаками для структуры растений *T. natans* являются показатели листа и общих ростовых процессов розетки в целом.

Анализ ординации методом главных компонент показал, что независимо от того, из какой природной популяции брались донорные образцы, они по морфологической изменчивости сходно вели себя в рецепиентных искусственных насаждениях. При этом естественные популяции в значительно большей мере отличаются друг от друга по комплексу морфологических признаков, чем рецепиентные искусственные насаждения.

Анализ изменчивости формы листовых пластинок, проведенный методом главных компонент, показал, что все три природные популяции демонстрируют сходный уровень изменчивости, при этом форма листовой пластинки меняется от более округлой с широким основанием и верхней частью до практически ромбовидной, с более узким основанием и заостренной верхней частью. Искусственные насаждения характеризуются большим разнообразием форм листовых пластинок по сравнению с природными популяциями.

Авторы выражают благодарность дирекции и сотрудникам Хопёрского государственного природного заповедника (Воронежская область) за оказанную помощь при проведении данного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абрамова Л. М., Маслова Н. В., Мулдашев А. А., Галеева А. Х., Шуганов З. Х. Опыт интродукции и реинтродукции эндемика Урала *Rhodiola imemelica* Boriss. в Башкортостане // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. Вып. 4. С. 4 – 7.

Агаева И. В. Опыт реинтродукции рогульника плавающего (*Trapa natans* L.) в Пензенской области как перспективного объекта введения в культуру // Нива Поволжья. 2016. Вып. 3. С. 2 – 8.

Артюхин А. Е., Михайлова Е. В., Кулуев Б. Р. Исследование изолированных популяций водяного ореха *Trapa sibirica* Fler. (Lythraceae) в Республике Башкортостан // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2019. Вып. 3. С. 217 – 226. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2019-3-217-226>

Бирюков В. И. Гидрологический режим пойменных озер и грунтовых вод Хоперского заповедника // Проблемы мониторинга природных процессов на особо охраняемых природных территориях : материалы международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Хоперского государственного природного заповедника). Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. пед. ун-та, 2010. С. 21 – 23.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *TRAPA NATANS*

Васильев А. Г., Васильева И. А., Шкурихин А. О. Геометрическая морфометрия : от теории к практике. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2018. 471 с.

Волга. Вода России. 2021. URL: <https://water-rf.ru/a80> (дата обращения: 25. 09. 2021).

Горбунов Ю. Н., Дзыбов Д. С., Кузьмин З. Е., Смирнов И. А. Методические рекомендации по реинтродукции редких и исчезающих видов растений (для ботанических садов). Тула : Граф и К, 2008. 56 с.

Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Саратовской области в 2019 году / Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области. Саратов, 2020. 211 с.

Дробот В. И. Состояние популяций водяного ореха *Trapa natans* L. s l. и некоторые итоги его расселения в Республике Марий Эл // Вопросы прикладной экологии (природопользования), охотоведения и звероводства : материалы научной конференции. Киров : ВНИИОЗ, 1997. С. 22 – 24.

Зобова А. М. Гидрохимические исследования пойменных озер Хоперского заповедника // Состояние особо охраняемых территорий Европейской части России : сборник научных статей, посвященный 70-летию Хоперского заповедника. Воронеж : Изд-во Воронежского университета, 2005. С. 36 – 38.

Игнатенко Н. А. Биологические основы интродукции и реинтродукции неморального реликта *Vivipera sibirica* Stev. (Vogagenaseae) в Томской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 1995. 18 с.

Каршина Л. Е., Трофимов М. М. О возможности культуры чилима в дельте р. Волги // Бюллетень МОИП. Отд. биологии. 1951. Т. 56, вып. 1. С. 94 – 96.

Кашин А. С., Петрова Н. А., Шилова И. В., Куликова Л. В. Реинтродукция *Trapa natans* L. на территории Саратовской области : предварительные результаты // Научные труды Национального парка «Хвалынский». Саратов ; Хвалынк : Амирит, 2015. Вып. 7. С. 86 – 94.

Кашин А. С., Петрова Н. А., Шилова И. В., Куликова Л. В. Перспективы реинтродукции *Trapa natans* (Traraseae) в Саратовской области // Растительные ресурсы. 2016. Вып. 4. С. 47 – 62.

Кашин А. С., Пархоменко А. С., Богослов А. В., Шилова И. В., Куликова Л. В., Гребенюк Л. В., Петрова Н. А. Результаты реинтродукции *Trapa natans* L. в р. Хопер на территории Саратовской области // Научные труды Национального парка «Хвалынский». Саратов, Хвалынк : Амирит, 2019. Вып. 11. С. 67 – 72.

Кисель А. В. Гидрохимический анализ воды реки Хопер // Естественное и гуманизм. 2007. Т. 4, вып. 4. С. 66 – 67.

Кулуев Б. Р., Артюхин А. Е., Шевченко А. М., Михайлова Е. В. Водяной орех плавающий *Trapa* L. : биология, ареал распространения и исследование его изолированных популяций в озерах Нуримановского района Республики Башкортоста // Биомика. 2017. Т. 9, вып. 2. С. 101 – 118.

Лесков А. П. Экология и биология *Trapa natans* L. в условиях Восточного Забайкалья // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. 2008. Вып. 4. С. 111 – 116.

Лесков А. П. Экология и биология *Trapa natans* L. (восточное Забайкалье) // Ученые записки Забайкальского государственного университета. Сер. Естественные науки. 2010. Вып. 1. С. 140 – 146.

Литвинская С. А., Тильба А. П., Филимонова Р. Г. Редкие и исчезающие растения Кубани. Краснодар : Кн. изд-во, 1983. 159 с.

Матвеев В. И., Шилов М. П. Водяной орех : проблемы восстановления ареала вида. Самара : Самар. гос. пед. ун-т, 1996. 184 с.

Михайлова Е. В., Артюхин А. Е., Панфилова М. А., Кулуев Б. Р. Особенности произрастания водяного ореха *Trapa natans* L. на северной границе ареала // Биология внутренних вод. 2021. Вып. 1. С. 85 – 90.

- Печенюк Е. В., Радькова Н. А. Восстановление численности *Trapa natans* (Трапасеае) в пойменном водоеме реки Хопер // Ботанический журнал. 1998. Т. 83, вып. 9. С. 70 – 75.
- Розенберг Г. С., Саксонов С. В., Евланова И. А., Зинченко Т. Д., Матвеев В. И., Быкова С. В., Герсимова Ю. Л., Головатюк Л. В., Горбунов В. В., Горохова О. Г., Иванова А. В., Конева Н. В., Краснова Е. С., Лысенко Т. М., Номоконова В. И., Романова Е. П., Соловьёва В. В., Уманская М. В., Шерышева Н. Г., Юрицына Н. А. Голубая книга Самарской области : Редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара : Самар. науч. центр РАН, 2007. 200 с.
- Смирнский А. А. Водные кормовые и защитные растения в охотничье-промысловых хозяйствах. М. : Заготиздат, 1950. Вып. 1. 136 с.
- Тихонова В. Л., Беловодова Н. Н. Реинтродукция дикорастущих травянистых растений : состояние проблемы и перспективы // Бюллетень Главного ботанического сада РАН. 2002. Вып. 183. С. 90 – 106.
- Тихонова В. Л., Викторов В. П., Беловодова Н. Н. О восстановлении численности охраняемых растений на территории лесопарков Москвы // Лесное хозяйство. 1991. Вып. 7. С. 21 – 22.
- Флора Хоперского заповедника // Хоперский государственный природный заповедник. 2021. URL: <https://hoperzap.ru/flora> (дата обращения: 25.09.2021).
- Целев Н. Н. О способе распространения водяного ореха *Trapa* L. в прошлом и вымирании его в историческое время // Ботанический журнал. 1964. Т. 49, вып. 9. С. 1338 – 1340.
- Bonhomme V., Picq S., Gaucherel C., Claude J. Momocs : Outline analysis using R // Journal of Statistical Software. 2014. Vol. 56, iss. 13. P. 1 – 24. <https://doi.org/10.18637/jss.v056.i13>
- Claude J. Morphometrics with R. New York : Springer-Verlag, 2008. 316 p.
- Dementeva S. M., Petushkova T. P. On the ecology and distribution of *Trapa natans* L. in lakes of the Tver Region // Russian Journal of Ecology. 2010. Vol. 41, iss. 5. P. 440 – 444. <https://doi.org/10.1134/S1067413610050139>
- Finot V. L., Soreng R. J., Giussani L. M., Muñoz R. G. A multivariate morphometric delimitation of species boundaries in the South American genus *Nicoraepoa* (Poaceae : Pooideae : Poaceae) // Plant Systematics and Evolution. 2018. Vol. 304. P. 679 – 697. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1499-y>
- Hummel M., Findlay S. Effects of water chestnut (*Trapa natans*) beds on water chemistry in the tidal freshwater Hudson river // Hydrobiologia. 2006. Vol. 559, iss. 1. P. 169 – 181. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-9201-0>
- Kuhl F. P., Giardina C. R. Elliptic Fourier features of a closed contour // Computer Graphics and Image Processing. 1982. Vol. 18. P. 236 – 258.
- Lim T. K. *Trapa natans* L. // Edible Medicinal and Non-medicinal Plants. Dordrecht : Springer, 2012. P. 195 – 201. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3_1
- Maschinski J., Albrecht M. A. Center for plant conservation's best practice guidelines for the reintroduction of rare plants // Plant Diversity. 2017. Vol. 39, iss. 6. P. 390 – 395. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.09.006>
- Maschinski J., Duquesnelb J. Successful reintroductions of the endangered long-lived Sargent's cherry palm, *Pseudophoenix sargentii*, in the Florida Keys // Biological Conservation. 2007. Vol. 134, iss. 1. P. 122 – 129. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.07.012>
- R Core Team // R : A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria : R Foundation for Statistical Computing, 2020. Available at: <http://www.r-project.org/index.html> (accessed 29 September 2021).
- Torrecilla P., Acedo C., Marques I., Díaz-Pérez A. J., López-Rodríguez J. A., Mirones V., Sus A., Llamas F., Alonso A., Pérez-Collazos E., Viruel J., Sahuquillo Sancho M. D., Komac B., Manso J. A., Segarra-Moragues J. G., Draper D., Villar L., Catalán P. Morphometric and molecular variation in concert : Taxonomy and genetics of the reticulate Pyrenean and Iberian alpine spiny fescues (*Festuca eskia* complex Poaceae) // Botanical Journal of the Linnean Society. 2013. Vol. 173, iss. 4. P. 676 – 706. <https://doi.org/10.1111/boj.12103>

Original Article

<https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-55-78>

**Variability of morphological parameters
of *Trapa natans* (Trapaceae, Magnoliopsida) during reintroduction
into water bodies of the Saratov region from those of the Voronezh region**

**A. S. Parkhomenko, A. S. Kashin , I. V. Shilova, L. V. Grebenyuk,
A. V. Bogoslov, A. A. Denisov, A. O. Kondratyeva, V. M. Parkhomenko**

*Saratov State University
83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia*

Received: 19 November 2021 / revised: 22 December 2021 / accepted: 24 December 2021

Abstract. The fruits of *Trapa natans* L. s. l. (Trapaceae), which has disappeared from the territory of the Saratov region, collected in the floodplain lakes of the Khoper river in the Voronezh region (Novokhopersky district), were sown in the fall of 2019 and spring of 2020 into the Khoper and Volga rivers within the Saratov region. In the fall of 2020, 17 recipient populations were observed, and the number of water caltrop rosettes in most of them was less than that of nuts sown. The number of rosettes equal to or greater than that of the nuts sown was observed in three recipient populations only. According to the morphometric parameters of the vegetative sphere, five recipient populations (Nos 6, 7, 9, 15, and 21) from the Khoper river approach the donor ones, while only two recipient populations (Nos 7 and 9) from the Khoper river approach them by the potential and actual seed productivity. The reintroduction of *T. natans* populations seems more promising in the Khoper river, whilst it is difficult in the Volga river due to sudden changes in the water level during the season.

Keywords: *Trapa natans*, revification, donor population, recipient population, Voronezh region, Saratov region

For citation: Parkhomenko A. S., Kashin A. S., Shilova I. V., Grebenyuk L. V., Bogoslov A. V., Denisov A. A., Kondratyeva A. O., Parkhomenko V. M. Variability of morphological parameters of *Trapa natans* (Trapaceae, Magnoliopsida) during reintroduction into water bodies of the Saratov region from those of the Voronezh region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2022, no. 1, pp. 55–78 (in Russian). <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2022-1-55-78>

REFERENCES

- Abramova L. M., Maslova N. V., Muldashev A. A., Galeeva A. Kh., Shigapov Z. Kh. Experience of introduction and reintroduction of the Ural endemic *Rhodiola iremelica* Boriss. in Bashkortostan. *Bulletin of the Orenburg State University*, 2006, iss. 4, pp. 4–7 (in Russian).
- Agaveva I. V. Experience of reintroduction of water chestnut (*Trapa natans* L.) in Penza Region as a promising object for introduction. *Niva Povolzhya*, 2016, iss. 3, pp. 2–8 (in Russian).

 *Corresponding author.* Botanical Garden, Saratov State University, Russia.

ORCID and e-mail addresses: Alena S. Parhomenko: <https://orcid.org/0000-0002-9948-7298>, parkhomenko_as@mail.ru; Alexandr S. Kashin: <https://orcid.org/0000-0002-2342-2172>, kashinas2@yandex.ru; Irina V. Shilova: <https://orcid.org/0000-0002-9828-4229>, schiva1952@yandex.ru; Lyudmila V. Grebenyuk: <https://orcid.org/0000-0003-0812-8861>, grebenuk2@yandex.ru; Artem V. Bogoslov: <https://orcid.org/0000-0002-2248-1285>, dandelioncave@mail.ru; Anton A. Denisov: <https://orcid.org/0000-0002-2887-758X>, boss.nhg@gmail.com; Anna O. Kondratyeva: <https://orcid.org/0000-0001-5000-8914>, popova.ao@mail.ru; Vasily M. Parkhomenko: <https://orcid.org/0000-0002-7218-6540>, parhomenko_vm@mail.ru.

Artyukhin A. E., Mikhajlova E. V., Kuluev B. R. Study of isolated populations of the water nut *Trapa sibirica* Fler. (Lythraceae) in the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of Perm University. Biology*, 2019, iss. 3, pp. 217–226 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2019-3-217-226>

Biryukov V. I. Hydrological regime of floodplain lakes and ground waters of the Khopersky Nature Reserve. In: *Problems of Monitoring Natural Processes in Specially Protected Natural Areas : Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th Anniversary of the Khopersky State Nature Reserve*. Voronezh, Izdatel'stvo Voronezhskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta, 2010, pp. 21–23 (in Russian).

Vasil'ev A. G., Vasil'eva I. A., Shkurikhin A. O. *Geometric Morphometrics: From Theory to Practice*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2018. 471 p. (in Russian).

Volga. Water of Russia. 2021. Available at: <https://water-rf.ru/a80> (accessed 25 September 2021).

Gorbunov Yu. N., Dzybov D. S., Kuzmin Z. E., Smirnov I. A. *Metodicheskie rekomendatsii po reintroduksii redkikh i ischezaiushchikh vidov rastenii (dlia botanicheskikh sadov)* [Guidelines for the Reintroduction of Rare and Endangered Plant Species (for Botanical Gardens)]. Tula, Graf i K Publ., 2008. 56 p. (in Russian).

Doklad o sostoianii i ob okhrane okruzhaiushchei sredy Saratovskoi oblasti v 2019 godu [Report on the State and Protection of the Environment of the Saratov Region in 2019]. Saratov, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Saratov region Publ., 2020. 211 p. (in Russian).

Drobot V. I. Status of water nut populations *Trapa natans* L. s l. and some results of its settlement in the Republic of Mari El. In: *Voprosy prikladnoy ekologii (prirodopol'zovaniya), okhotovedeniya i zverovodstva: materialy nauchnoi konferentsii* [Issues of Applied Ecology (Nature Management), Hunting and Animal Husbandry: Materials of the Scientific Conference. Kirov, VNIIOZ Publ., 1997, pp. 22–24 (in Russian).

Zobova A. M. Hydrochemical studies of floodplain lakes of the Khopersky Nature Reserve. In: *Sostoianie osobo okhraniaemykh territorii Evropeiskoi chasti Rossii: sbornik nauchnykh statei, posviashchennyi 70-letiiu Khoperskogo zapovednika* [State of Specially Protected Territories of the European Part of Russia: Collection of Scientific Articles Dedicated to the 70th Anniversary of the Khopersky Nature Reserve]. Voronezh, Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta, 2005, pp. 36–38 (in Russian).

Ignatenko N. A. *Biological Bases of the Introduction and Reintroduction of the Non-moral Relic *Brunnera sibirica* Stev. (Boragenaceae) in the Tomsk region*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Tomsk, 1995. 18 p. (in Russian).

Karshina L. E., Trofimov M. M. On the Possibility of chilim culture in the Volga delta. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 1951, vol. 56, iss. 1, pp. 94–96 (in Russian).

Kashin A. S., Petrova N. A., Shilova I. V., Kulikova L. V. Reintroduction of *Trapa natans* L. on the territory of the Saratov region: Preliminary results. *Scientific Papers of Khvalynsky National Park*. Saratov, Khvalynsk, Amirit Publ., 2015, iss. 7, pp. 86–94 (in Russian).

Kashin A. S., Petrova N. A., Shilova I. V., Kulikova L. V. The prospects for the reintroduction of *Trapa natans* (Trapaceae) in the Saratov region. *Rastitelnye Resursy*, 2016, iss. 4, pp. 47–62 (in Russian).

Kashin A. S., Parkhomenko A. S., Bogoslov A. V., Shilova I. V., Kulikova L. V., Grebenyuk L. V., Petrova N. A. The results of the reintroduction of *Trapa natans* L. in the Koper River in the Saratov Region. *Scientific Papers of Khvalynsky National Park*. Saratov, Khvalynsk, Amirit Publ., 2019, iss. 11, pp. 67–72 (in Russian).

Kisel A. V. Hydrochemical analysis of the water of the Koper river. *Natural Science and Humanism*, 2007, vol. 4, iss. 4, pp. 66–67 (in Russian).

Kuluev B. R., Artyukhin A. E., Shevchenko A. M., Mikhaylova E. V. Water chestnut *Trapa* L.: Biology, habitat and the study of its isolated populations in the lakes of Nurimanovsky District in the Republic of Bashkortostan. *Biomics*, 2017, vol. 9, iss. 2, pp. 101–118 (in Russian).

Leskov A. P. Ecology and biology of *Trapa natans* L. in the conditions of Eastern Transbaikalia. *Bulletin of the Buryat State University. Biology. Geography*, 2008, iss. 4, pp. 111–116 (in Russian).

Leskov A. P. Ecology and biology *Trapa natans* L. (Eastern Transbaikalia). *Scholarly Notes of Transbaikal State University. Series: Natural Sciences*, 2010, iss. 1, pp. 140–146 (in Russian).

Litvinskaya S. A., Tilba A. P., Filimonova R. G. *Redkie i ischezaiushchie rasteniia Kubani* [Rare and Endangered Plants of the Kuban]. Krasnodar, Knizhnoe izdatel'stvo, 1983. 159 p. (in Russian).

Matveev V. I., Shilov M. P. *Vodianoi orekh: problemy vosstanovleniia areala vida* [Water Walnut: Problems of Species Range Restoration]. Samara, Samara State Pedagogical University Publ., 1996. 184 p. (in Russian).

Mikhailova E. V., Artyukhin A. E., Panfilova M. A., Kuluev B. R. Features of the growth of the water nut *Trapa natans* L. on the northern border of the range. *Biology of Inland Waters*, 2021, vol. 14, iss. 1, pp. 104–108.

Pechenyuk E. V., Radkova N. A. Reconstruction of the population *Trapa natans* (Trapaceae) in the flood-plane lake of the Koper River. *Botanicheskii zhurnal*, 1998, vol. 83, iss. 9, pp. 70–75 (in Russian).

Rosenberg G. S., Saksonov S. V., Evlanov I. A., Zinchenko T. D., Matveev V. I., Bykova S. V., Gerasimov Yu. L., Golovatyuk L. V., Gorbunov V. V., Gorokhova O. G., Ivanova A. V., Koneva N. V., Krasnova E. S., Lysenko T. M., Nomokonova V. I., Romanova E. P., Solovieva V. V., Umanskaya M. V., Sherysheva N. G., Yuritsyna N. A. *Golubaia kniga Samarskoi oblasti: Redkie i okhraniaemye gidrobiotsenozy* [Blue Book of the Samara Region: Rare and Protected Hydrobiocenoses]. Samara, Samara Scientific Center of RAS Publ., 2007. 200 p. (in Russian).

Smirensky A. A. *Vodnye kormovye i zashchitnye rasteniia v okhotnich'e-promyslovyykh khoziaistvakh* [Aquatic Forage and Protective Plants in Hunting and Fishing Grounds]. Moscow, Zagotizdat, 1950, iss. 1. 136 p. (in Russian).

Tikhonova V. L., Belovodova N. N. Reintroduction of wild-growing herbaceous plants; state of the problem and prospects. *Bulletin of the Central Botanical Garden*, 2002, vol. 183, pp. 90–106 (in Russian).

Tikhonova V. L., Viktorov V. P., Belovodova N. N. About restoration of the number of protected plants in the territory of forest parks of Moscow. *Forestry*, 1991, iss. 7, pp. 21–22 (in Russian).

Flora of the Khopyor reserve. *Khopersky Natural State Reserve*. 2021. Available at: <https://hoperzap.ru/flora> (accessed 25 September 2021) (in Russian).

Tzvelev N. N. About the way of distribution of the water nut *Trapa* L. in the past and its extinction in the historical time. *Botanicheskii zhurnal*, 1964, vol. 49, iss. 9, pp. 1338–1340 (in Russian).

Bonhomme V., Picq S., Gaucherel C., Claude J. Momocs: Outline analysis using R. *Journal of Statistical Software*, 2014, vol. 56, iss. 13, pp. 1–24. <https://doi.org/10.18637/jss.v056.i13>

Claude J. *Morphometrics with R*. New York, Springer-Verlag, 2008. 316 p.

Dementeva S. M., Petushkova T. P. On the ecology and distribution of *Trapa natans* L. in lakes of the Tver Region. *Russian Journal of Ecology*, 2010, vol. 41, iss. 5, pp. 440–444. <https://doi.org/10.1134/S1067413610050139>

Finot V. L., Soreng R. J., Giussani L. M., Muñoz R. G. A multivariate morphometric delimitation of species boundaries in the South American genus *Nicoraepoa* (Poaceae: Pooideae: Poaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 2018, vol. 304, pp. 679–697. <https://doi.org/10.1007/s00606-018-1499-y>

Hummel M., Findlay S. Effects of water chestnut (*Trapa natans*) beds on water chemistry in the tidal freshwater Hudson river. *Hydrobiologia*, 2006, vol. 559, iss. 1, pp. 169–181. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-9201-0>

Kuhl F. P., Giardina C. R. Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*, 1982, vol. 18, pp. 236–258.

Lim T. K. *Trapa natans* L. In: *Edible Medicinal and Non-medicinal Plants*. Dordrecht, Springer, 2012, pp. 195–201. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5653-3_1

Maschinski J., Albrecht M. A. Center for plant conservation’s best practice guidelines for the reintroduction of rare plants. *Plant Diversity*, 2017, vol. 39, iss. 6, pp. 390–395. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.09.006>

Maschinski J., Duquesnelb J. Successful reintroductions of the endangered long-lived Sargent’s cherry palm, *Pseudophoenix sargentii*, in the Florida Keys. *Biological Conservation*, 2007, vol. 134, iss. 1, pp. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.07.012>

R Core Team // R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing, 2019. Available at: <http://www.r-project.org/index.html> (accessed 29 September 2021).

Torrecilla P., Acedo C., Marques I., Díaz-Pérez A. J., López-Rodríguez J. A., Mirones V., Sus A., Llamas F., Alonso A., Pérez -Collazos E., Viruel J., Sahuquillo Sancho M. D., Komac B., Manso J. A., Segarra-Moragues J. G., Draper D., Villar L., Catalán P. Morphometric and molecular variation in concert: Taxonomy and genetics of the reticulate Pyrenean and Iberian alpine spiny fescues (*Festuca eskia* complex Poaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2013, vol. 173, iss. 4, pp. 676–706. <https://doi.org/10.1111/boj.12103>