

УДК 574

DOI: 10.24412/2072-8816-2021-15-3-67-78

ВИТАЛИТЕТНАЯ СТРУКТУРА ИСКУССТВЕННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ *TRAPA NATANS* (TRAPACEAE) В ПРЕДЕЛАХ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2021 А.С. Пархоменко*, А.В. Богослов, А.С. Кашин,
Л.В. Гребенюк, И.В. Шилова, В.М. Пархоменко

Саратовский национальный исследовательский
государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
ул. Астраханская, 83, Саратов, 410012, Россия
*e-mail: parkhomenko_as@mail.ru

Аннотация. Изучена виталитетная структура 14 искусственных популяций *Trapa natans* L. в реке Хопер на территории Саратовской области. В большинстве популяций доминирующей была группа среднего класса виталитета. Больше половины популяций на момент их исследования в 2019 г. имели высокую жизненность. Остальные популяции, имеющие низкую жизненность, без дополнительных мер по их охране и восстановлению с большой вероятностью могут исчезнуть.

Ключевые слова: *Trapa natans*, реинтродукция, морфометрия, виталитет.

Поступила в редакцию: 09.07.2021. **Принято к публикации:** 10.09.2021.

Для цитирования: Пархоменко А.С., Богослов А.В., Кашин А.С., Гребенюк Л.В., Шилова И.В., Пархоменко В.М. 2021. Виталитетная структура искусственных популяций *Trapa natans* (Trapaceae) в пределах Саратовской области. — Фиторазнообразие Восточной Европы. 15(3): 67–78. DOI: 10.24412/2072-8816-2021-15-3-67-78

Для сохранения биоразнообразия все чаще предпринимаются попытки реинтродукции видов, которые исчезли из той или иной части ареала. Работы по созданию искусственных популяций видов в природных биотопах проводятся довольно широко уже не одно десятилетие (Tikhonova, Belovodova, 2002).

Одной из ключевых задач популяционной ботаники является оценка виталитетного состояния растений, что важно для понимания адаптивной способности растений к условиям места произрастания.

Водяной орех (*Trapa natans* L.), представитель семейства Trapaceae – реликтовый тропогенно-бореальный вид, однолетний аэрогидатофит с дизъюнктивным, неуклонно сокращающимся ареалом (Kashin et al., 2016a; Tzvelev, 1964). Произрастает в пойменных озерах и старицах, заводях рек, в местах, хорошо прогреваемых солнцем и защищенных от ветра, на глубине 0.5–2.5 м. Предпочитает слегка кислую, богатую питательными веществами пресную воду с pH 6.7–8.2 и щелочностью 12–128 мг/л карбоната кальция (Dementeva, Petushkova, 2010; Lim, 2012; Hummel, Findlay, 2006). Включен в Приложение 1 к Бернской конвенции об охране дикой фауны и флоры и природных сред обитания в Европе, Европейский Красный список МСОП, а также в Красные книги стран Восточной Европы. В Российской Федерации включен в Красные книги ряда регионов, в том числе соседствующих с Саратовской областью. На территории Саратовской области вид считается исчезнувшим (Kashin et al., 2016a).

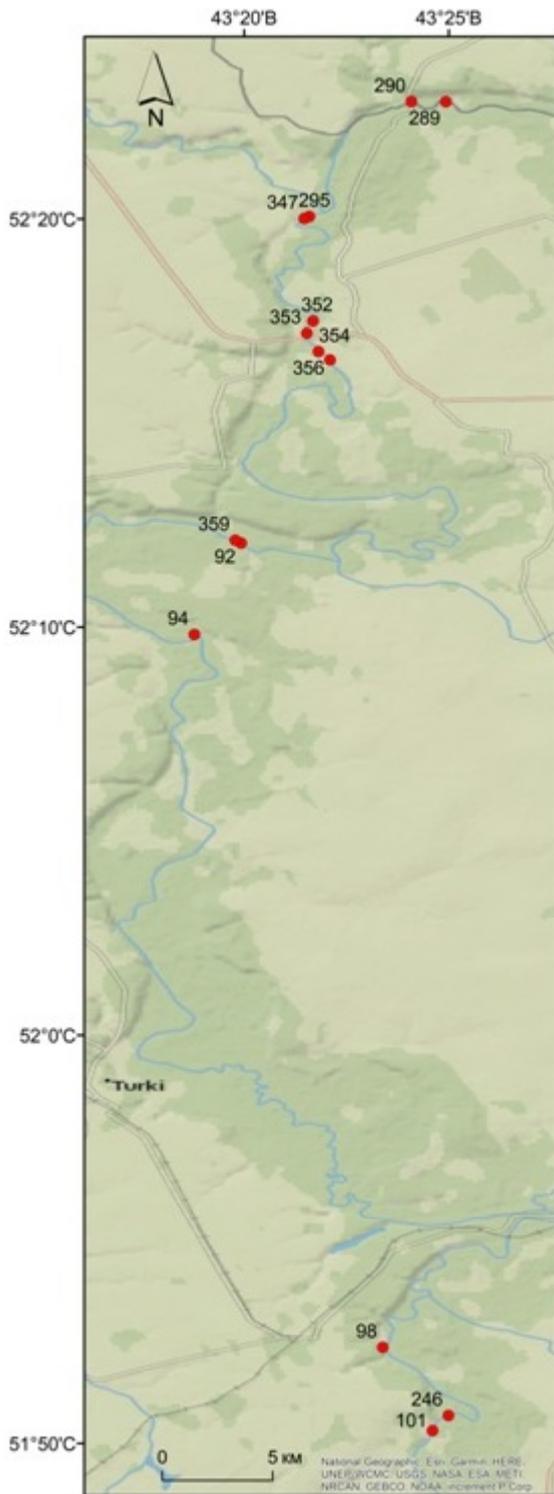


Рис. 1. Местоположение исследованных искусственных популяций *Trapa natans* в реке Хопер на территории Саратовской области

Fig. 1. Location of the studied artificial populations of *Trapa natans* in the Koper River in the Saratov Region

С целью реинтродукции нами были собраны плоды *T. natans* на территории Волгоградской обл. (в старичных озерах р. Дон) и на территории Астраханской обл. (в дельте р. Волги) и в период с 2013 по 2018 гг. высеяны в наиболее подходящие места по руслу реки Хопер на территории Саратовской обл. (Kashin et al., 2019).

Целью данного исследования было определение жизненного состояния искусственных популяций *T. natans*. Приводятся результаты анализа 14 популяций, изученных в 2015–2019 гг. (рис. 1).

В качестве учетной единицы принималась генеративная розетка с цветками и плодами. В каждой популяции у 30 случайно выбранных розеток измерялись следующие количественные признаки: диаметр розетки (Rd), количество листьев (Nlv), количество плодов и их следов (Nft), количество невыполненных плодов (Nunf), количество цветков (Nfl), длина и ширина листовая пластинки (Llb и Wlb), длина черешка (Llp). Измерения проводились в период первой декады сентября – начала октября.

Одна из главных задач при оценке жизнеспособности – это отбор признаков, являющихся показательными и удобными для измерения. По мнению Ю.А. Злобина (2013), при выборе ключевых параметров следует отдавать предпочтение экологически и биологически важным, вносящим наибольший вклад в главные компоненты, признакам, принимая во внимание при этом их взаимосвязь друг с другом.

Выбор признаков для виталитетного анализа проводили с учетом корреляционных связей между ними. Корреляционный анализ выполнен с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмена в программе Past 3.0. Коэффициенты корреляции по силе связи были разделены на четыре группы: 1) $r > 0.81$ – очень сильная связь; $r = 0.71–0.80$ – сильная связь; $r = 0.61–0.70$ – умеренная связь; $r = 0.50–0.60$ – слабая связь (Parkhomenko, Kashin, 2011).

Оценку среднего уровня связей между признаками проводили, используя квадрат коэффициента корреляции (r^2), усредненный по отдельным признакам (R^2_{ch}). По коэффициенту вариации (C_v) и R^2_{ch} проведен сравнительный анализ общей и сопряжен-

ной изменчивости признаков *T. natans*. Согласно методике, выделяют четыре группы системных индикаторов: 1) экологические, 2) эколого-биологические, 3) биологические, 4) генотипические (Rostova, 2002).

Факторный анализ, с целью выявления признаков, дающих наибольшие нагрузки на первые две главные компоненты, выполнен по количественным показателям методом главных компонент (РСА) с использованием матрицы корреляций (Sneath, Sokal, 1973; Podani, 2000). Для оценки соответствия данных требованиям нормальности морфометрические переменные были проверены с помощью теста Шапиро-Уилкса ($p \geq 0.05$) (Rebrova, 2006). Количественные признаки, которые не соответствовали предположению о нормальности, были подвергнуты \log_{10} -трансформации и преобразованию квадратным корнем, после чего были стандартизированы (Finot et al., 2018; Torrecilla et al., 2013).

Для оценки виталитета использовали индекс виталитета особи IVI. Ранжированный по индексу виталитета ряд особей разбивали на три класса виталитета – высший (а), средний (b) и низший (с). Установление границ класса b проводили в пределах границ доверительного интервала среднего значения ($x_{cp} \pm \sigma$). Для характеристики виталитетной структуры использовали индекс виталитета популяции (IVC) (Ishbirdin et al., 2005; Zlobin et al., 2013). По отношению максимального значения IVC к его минимальному значению был вычислен индекс размерной пластичности (ISP) (Ishbirdin et al., 2005).

При рассмотрении полученной корреляционной матрицы (табл. 1), обращает на себя внимание малая степень связанности признаков между собой. Очень сильная корреляционная связь ($r \geq 0.80$) была отмечена только между параметрами: диаметром розетки и количеством листьев, а также длиной и шириной листовой пластинки. При этом максимальное число (5) связей разной силы имел показатель диаметра розетки. В целом, по результатам корреляционного анализа отобраны следующие признаки: диаметр розетки, количество листьев, длина и ширина листовой пластинки, а также длина черешка.

Таблица 1. Корреляционная матрица морфологических показателей *Trapa natans*
Table 1. Correlation matrix of morphological parameters of *Trapa natans*

	Rd	Nlv	Nft	Llb	Wlb	Llp	Nunf	Nfl
Rd		0.84	-0.01	0.53	0.50	0.56	0.37	0.53
Nlv			-0.10	0.36	0.35	0.56	0.43	0.48
Nft				0.18	0.25	0.03	0.09	-0.23
Llb					0.93	0.47	0.27	0.24
Wlb						0.45	0.28	0.17
Llp							0.40	0.21
Nunf								0.14
Nfl								

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения корреляционных связей ≥ 0.50 .
Note. The values of correlations ≥ 0.50 are highlighted in bold.

Как отмечалось ранее, при выборе ключевых параметров следует учитывать биолого-экологические свойства видов. Поэтому предпочтение следует отдавать экологическим, эколого-биологическим и биологическим системным индикаторам.

По результатам исследования структуры морфологической изменчивости, проведенного в популяциях *T. natans* по восьми количественным морфологическим признакам, в группу экологических системных индикаторов, в большей степени зависящих от условий внешней среды и слабо связанных с изменениями других признаков, попали: коли-

чество плодов и их следов, количество невыполненных плодов, количество цветков (рис. 2 а).

К эколого-биологическим системным индикаторам, т. е. признакам, отражающим согласованную изменчивость особей в неоднородной среде, не отнесен ни один из представленных морфометрических показателей (рис. 2 б).

К группе генотипических (таксономических) системных индикаторов также не отнесен ни один признак (рис. 2 с).

К группе биологических системных индикаторов, в меньшей степени зависящих от условий среды, но обладающих общей согласованной изменчивостью, являющихся при этом ключевыми для всей морфологической структуры особи, отнесено оставшееся большинство признаков: диаметр розетки, количество листьев, длина и ширина листовой пластины и длина черешка (рис. 2 d).

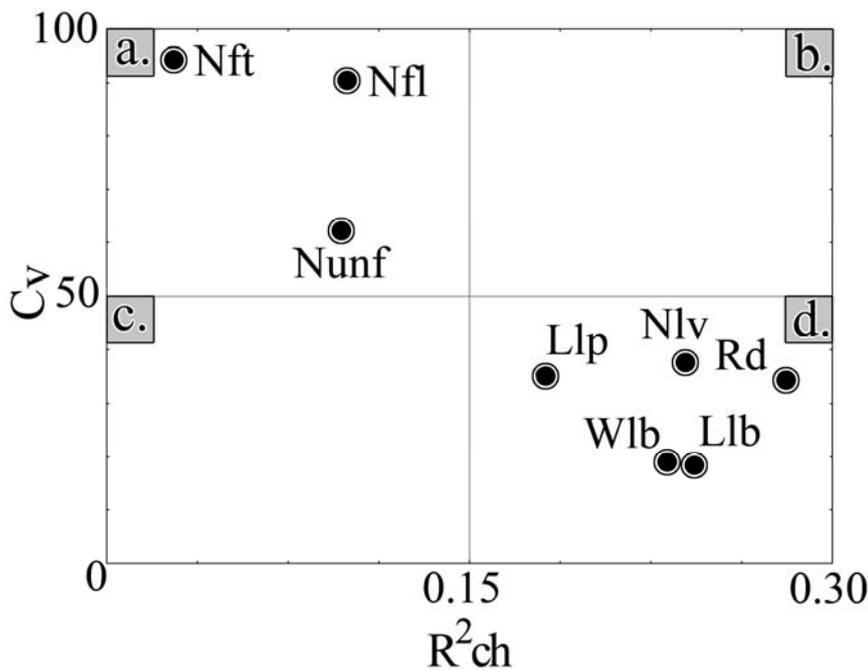


Рис. 2. Ординация морфологических параметров *Trapa natans* по структуре морфологической изменчивости. Группы системных индикаторов: а – экологические; б – эколого-биологические; с – генотипические; д – биологические. По оси абсцисс: R^2_{ch} – квадрат коэффициента корреляции, усредненный по отдельным признакам; по оси ординат: C_v – коэффициент вариации. Условные обозначения: диаметр розетки – Rd, количество листьев – Nlv, количество плодов и их следов – Nft, количество невыполненных плодов – Nunf, количество цветков и бутонов – Nfl, длина листовой пластины – Llb, ширина листовой пластины – Wlb, длина черешка листа – Llp.

Fig. 2. Ordination of *Trapa natans* morphological parameters according to the structure of morphological variability. Groups of system indicators: a – ecological; b – ecological-biological; c – genotypic; d – biological. On the abscissa: R^2_{ch} is the square of the correlation coefficient, averaged over individual features; on the ordinate: C_v – coefficient of variation. Legend: rosette diameter – Rd, number of leaves – Nlv, number of fruits and their traces - Nft, number of unfulfilled fruits – Nunf, number of flowers and buds – Nfl, length of leaf plate – Llb, width of leaf plate – Wlb, length of leaf petiole – Llp.

Поскольку между показателями длины и ширины листа существовала корреляционная связь значительной силы (≥ 0.90) (Nobis et al., 2016), в факторном анализе нами был использован лишь один признак из этой пары – длина листовой пластины. Таким образом, на основании факторного анализа выявлено, что наибольшую положительную нагрузку (0.70–0.80) на первые две компоненты, в сумме объясняющих больше половины

общей дисперсии, имели: по первой компоненте – диаметр розетки, количество листьев, длина листовая пластины, длина черешка; по второй – количество плодов и следов (табл. 2).

Таблица 2. Факторный анализ морфологических показателей *Trapa natans*
Table 2. Factor analysis of morphological parameters of *Trapa natans*

Признак	PC 1	PC 2
Rd	0.90	–0.06
Nlv	0.85	–0.18
Nft	–0.04	0.83
Llb	0.73	0.27
Llp	0.78	0.13
Nunf	0.55	0.44
Nfl	0.53	–0.57
Дисперсия, %	46.46	19.16

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения факторных нагрузок ≥ 0.70 . PC – главная компонента.

Note. The values of factor loadings ≥ 0.70 are highlighted in bold. PC is the principal component.

Для окончательного анализа нами было выбрано пять морфологических характеристик: диаметр розетки, количество листьев, длина листовая пластины и черешка, а также количество плодов и следов. Данный детерминирующий комплекс признаков, по нашему мнению, в полной мере характеризует развитие растений *T. natans* и достаточен для описания виталитетной структуры изученных популяций.

В большинстве популяций *T. natans* вне зависимости от года исследования доминирующей была группа особей среднего класса виталитета. Преобладала группа высшего класса лишь в популяции 101 в 2019 г. В популяции 92 в 2017 г. доли особей среднего и низшего классов были равны. Треть и более от общего процентного сложения популяции играли особи высшего класса виталитета в местообитаниях 92, 246, 289 и 290 в 2019 г., 98 в 2015 г. и 2018–2019 гг. Особи низшего класса виталитета преобладали лишь единожды в популяции 246 в 2017 г. (табл. 3).

В популяции 98 в 2016 г. отсутствовали особи высшего класса виталитета. Этот же класс отсутствовал в 2017 г. в популяциях 92 и 246, а в 2019 г. в популяциях 94, 295, 352 и 356. Особи низшего класса виталитета в 2019 г. отсутствовали в большей части изученных популяций (92, 101, 246, 289, 290, 352, 354 и 356), а в популяции 98 они не были обнаружены в течение двух последних сезонов (2018–2019 гг.) (табл. 3).

По критерию IVC наибольшей жизненностью отличалась популяция 101 в 2019 г. (IVC = 1.33), наименьшей – популяция 246 в 2017 г. (IVC = 0.71). В целом заметен флуктуирующий характер изменения значения IVC с течением времени в некоторых популяциях, исследуемых на протяжении длительного периода. Так в популяциях 101 и 246, изучавшихся на протяжении нескольких сезонов в 2015–2019 гг., значение индекса виталитета неоднократно менялось, то превышая единицу, то опускаясь ниже этого значения. Для популяции 94 отмечено снижение индекса жизненности: если в первый, 2015 г., исследования IVC был относительно высок – 1.05, то уже в 2019 г. он был заметно снижен – 0.83. Обратная ситуация характерна для популяции 92, у которой по большинству лет отмечены относительно низкие значения IVC, лишь в последнем 2019

г. у этой популяции индекс оказался высоким – 1.21. Однако и для этих популяций заметно варьирование индекса жизненности с течением времени (табл. 3).

Подобная ситуация указывает на высокую степень неустойчивости созданных искусственных популяций, на их заметное реагирование на изменение условий окружающей среды. На протяжении всего периода развития растения пытаются приспособиться к меняющимся условиям произрастания, к влиянию различных биотических и абиотических факторов, путем изменения размеров и количества признаков в рамках, определяемых генетическими особенностями данного вида.

Относительно стабильными индексами виталитета по годам исследования отличалась популяция 98 – IVC по большинству лет был достаточно высок и превышал единицу, однако, и в этой популяции, – хотя лишь только в 2016 г., – показатель жизненности не достигал единицы.

В популяции 289, наблюдаемой на протяжении двух сезонов 2018–2019 гг., возрос индекс жизненности, т.к. возросло число розеток класса а и снизилось до нулевого значения число розеток класса с.

В популяции 295, также исследуемой в течение 2018–2019 гг. индекс жизненности был примерно одинаков по обоим годам исследований. При этом стоит отметить, что количество розеток в указанной популяции в 2019 г. сократилось с 18 до 8 шт., а доля особей низшего и высшего классов виталитета была снижена, но в тоже время возросла доля особей среднего класса.

Более чем в половине популяций (92, 98, 101, 246, 289, 290, 347, 354, 356, 359) индекс жизненности был больше или равен единице на момент их исследования в 2019 г. Остальные популяции в указанный выше год имели коэффициенты виталитета ниже единицы. Данные популяции, без дополнительных мер по их охране и восстановлению, с большой вероятностью могут исчезнуть.

Таблица 3. Виталитетная структура популяций *Trapa natans*
Table 3. Vitality structure of *Trapa natans* populations

№	Популяция	Год	Класс			IVC
			а	б	с	
1	92	2015	7.55	69.81	22.64	0.94
		2016	10.00	72.50	17.50	0.96
		2017	0.00	50.00	50.00	0.73
		2018	15.00	65.00	20.00	0.94
		2019	36.67	63.33	0.00	1.21
2	94	2015	23.33	70.00	6.67	1.05
		2016	7.41	62.96	29.63	0.90
		2017	6.67	73.33	20.00	0.92
		2019	0.00	71.43	28.57	0.83
3	98	2015	30.00	63.33	6.67	1.17
		2016	0.00	82.61	17.39	0.89
		2018	40.00	60.00	0.00	1.21
		2019	36.67	63.33	0.00	1.23
4	101	2015	6.67	63.33	30.00	0.82
		2016	23.33	56.67	20.00	0.98
		2017	16.67	63.33	20.00	1.00
		2018	16.67	63.33	20.00	0.94
		2019	73.33	26.67	0.00	1.33

Продолжение таблицы 3

№	Популяция	Год	Класс			IVC
5	246	2015	16.67	66.67	16.67	1.03
		2016	13.33	66.67	20.00	0.95
		2017	0.00	46.67	53.33	0.71
		2018	20.00	53.33	26.67	0.97
		2019	40.00	60.00	0.00	1.23
6	289	2018	14.29	57.14	28.57	0.95
		2019	40.00	60.00	0.00	1.20
7	290	2019	35.71	64.29	0.00	1.10
8	295	2018	10.53	47.37	42.11	0.81
		2019	0.00	62.50	37.50	0.87
9	347	2019	3.33	93.33	3.33	1.03
10	352	2019	0.00	100.00	0.00	0.92
11	353	2019	8.33	75.00	16.67	0.97
12	354	2019	3.33	96.67	0.00	1.04
13	356	2019	0.00	100.00	0.00	1.01
14	359	2019	6.67	73.33	20.00	1.00

Примечание. Жирным шрифтом выделены показатели $IVC \geq 1$.
 Note. IVC indicators ≥ 1 are highlighted in bold.

Индекс размерной пластичности *T. natans* – 1.87. Данное значение ниже пластичности рудеральных травянистых растений: для цикламены дурнишниковидной ISP – 4.95, для лебеды татарской – 6.28 (Ishbirdin et al., 2005). Однако данная величина согласуется с таковыми же для редких травянистых растений, так ISP для *Tulipa gesneriana* L. – 1.9 (Kashin et al., 2016б), для *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. – 1.31 (Ishbirdin et al., 2005), для *Delphinium litwinowii* Sambuk – 1.42 (Bogoslov et al., 2019) и для *D. pubiflorum* (DC.) Turcz. ex Huth – 1.93 (Shilova et al., 2019).

Исходя из анализа теоретически необходимых условий для произрастания растений вида, рассчитанного индекса его размерной пластичности, а также варьирования индексов виталитета искусственных популяций, можно сказать, что *T. natans* обладает относительно узкой экологической амплитудой в конкретных, сложившихся на данный временной период условиях реинтродукции, что говорит о его неустойчивости относительно абиотических экологических факторов. Гидрология и гидрохимия водоема очень важны для развития *T. natans*: в подходящих условиях, для него характерен быстрый и обильный рост – нередко данный вид превосходит по численности соседствующую водную растительность в местах произрастания (в особенности на относительно небольшой глубине), локально распространяясь – либо оторвавшимися розетками, либо плодами, разносимыми течением (Leskov, 2010; Lim, 2012). Например, для водоемов бассейна р. Десна наиболее благоприятными условиями произрастания указываются: толщина воды около 145 см и ее прозрачность почти в 80 см, отсутствие течения, илистые донные отложения (Skliar, Skliar, 2017). При этом, стоит указать, что в зависимости от площади скопления на поверхности воды розеток, *T. natans* может влиять на сложившуюся локальную экосистему как отрицательно (в случае особо больших скоплений) – за счет затруднения проникновения солнечного света в толщу воды и снижения показателей растворенного кислорода, так и положительно (в случае умеренных скоплений) – в качестве среды обитания для различных беспозвоночных и позвоночных животных, и за счет снижения процессов эвтрофикации водной среды и накопления тяжелых металлов в своих морфологических структурах (Zhigacheva, 2013; Baldisserotto et al, 2009; Hummel, Findlay, 2006; Rai, Sinha, 2001; Pflugsten et al., 2020).

Стоит отметить, что отрицательное воздействие *T. natans* отмечено для ряда районов США, где зачастую вид воспринимается, как активный агрессор, препятствующий развитию местной флоры и фауны и снижающий навигационно-рекреационную значимость водоемов (Hummel, Findlay, 2006; Pflingsten et al., 2020). В нашем же случае, ввиду указанной редкой встречаемости *T. natans* на территории Европы и России, связанной с сокращением его ареала по ряду причин, как, например, предполагаемый высокоспециализированный способ распространения (Tzvelev, 1964), не видится возможным повсеместное распространение и засорение им водоемов. Следовательно, стоит ожидать лишь положительное влияние данного вида на водную экосистему – прежде всего с позиции увеличения биоразнообразия.

T. natans в хороших для него условиях выказывает сильные конкурентные качества, проявляя себя по системе Грайма – Раменского, как виолент (Markov, 2012). Виоленты являются доминантами, они могут процветать только при наличии значительного количества ресурсов – питания, света и тепла. При наличии нарушений виоленты погибают, не имея приспособлений к переживанию действия этих факторов. Так в ряде источников, в частности, в подтверждение чувствительности вида к нарушениям естественной среды обитания, указывается сокращение численности популяций *T. natans* в связи с загрязнением водоемов (Kurihara, Ikusima, 1991; Rai, Sinha, 2001). Нами также отмечалось снижение жизнеспособности и уменьшение численности данного вида вплоть до исчезновения из местообитаний в водоемах на территории Волгоградской области в связи с ухудшением условий обитания (Kashin et al., 2016a).

В менее благоприятных условиях *T. natans* или совсем исчезает, или проявляет патентные свойства, согласно той же системе Грайма-Раменского. В частности, в Хоперском заповеднике (Воронежская обл.), в водоемах с существенным течением, наблюдались растения естественных популяций *T. natans*, отличающиеся небольшими розетками с малым количеством листьев и мелкими плодами, в то время как на территории того же заповедника в местах с более подходящими условиями розетки были гораздо значительнее по площади и количеству листьев, а плоды были более массивными.

Что касается биотических факторов, снижающих жизнеспособность популяций *T. natans*, рядом исследователей указываются следующие: соседство с представителями видов семейства Nymphaeaceae, а также деятельность различных насекомых, таких как долгоносики и жуки листоеды, повреждающих и уничтожающих листья (Zhigacheva, 2013; Guskova, Kuftina, 2016; Kadono, Schneider, 1986; Skliar, Skliar, 2017). Указанные растительные и животные организмы нередки в пойме р. Хопер – они также могут выступать в роли сильных ограничивающих факторов развития и произрастания растений *T. natans*.

Таким образом, согласно полученным результатам, характеризующим *T. natans*, как уязвимый вид в наших широтах, очевидным и целесообразным решением в ближайшем будущем будет присвоение статуса ООПТ отдельным участкам р. Хопер (с находящимися на них искусственными популяциями *T. natans*) в пределах Саратовской обл. с целью мониторинга, сохранения и дальнейшего восстановления численности этого вида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Baldisserotto C., Ferroni L., Zanzi C., Marchesini R., Pagnoni A., Pancaldi S. 2009. Morpho-physiological and biochemical responses in the floating lamina of *Trapa natans* exposed to molybdenum. — *Protoplasma*. 240(1–4): 83–97. DOI:10.1007/s00709-009-0094-z

[Bogoslov et al.] Богослов А.В., Кашин А.С., Шилова И.В., Крицкая Т.А., Пархоменко А.С., Гребенюк Л.В. 2019. Виталитетная структура и онтогенетическая стратегия *Delphinium litwinowii* (Ranunculaceae). — Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 19(3): 295–304. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-3-295-304

- Dementeva S.M., Petushkova T.P. 2010. On the ecology and distribution of *Trapa natans* L. in lakes of the Tver Region. — Russian Journal of Ecology. 41(5): 440–444. DOI: 10.1134/S1067413610050139
- Finot V.L., Soreng R.J., Giussani L.M., Muñoz R.G. 2018. A multivariate morphometric delimitation of species boundaries in the South American genus *Nicoraepoa* (Poaceae: Pooideae: Poaceae). — Pl. Syst. Evol. 304(5): 679–697. DOI: 10.1007/s00606-018-1499-y
- Guskova E.V., Kuftina, G.N. 2016. New information on the trophic specialization of *Galerucella nymphaeae* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera, Chrysomelidae) of Altai Krai. — Biological Bulletin of Bogdan Chmelinskiy Melitopol State Pedagogical University. 6(1): 177–182. DOI: 10.15421/20160
- Hummel M., Findlay S. 2006. Effects of water chestnut (*Trapa natans*) beds on water chemistry in the tidal freshwater Hudson River. — Hydrobiologia. 559(1): 169–181. DOI: 10.1007/s10750-005-9201-0
- [Ishbirdin et al.] Ишбирдин А.Р., Ишмуратова М.М., Жирнова Т.В. 2005. Стратегии жизни ценопопуляции *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. на территории Башкирского государственного заповедника. — Вестн. Нижегородского ун-та им. Н.И. Лобачевского. Сер. Биология. 1: 85–98.
- Kadono Y., Schneider E.L. 1986. Floral biology of *Trapa natans* var. *japonica*. — The Botanical Magazine Tokyo. 99(4): 435–439. DOI: 10.1007/bf02488722
- [Kashin et al.] Кашин А.С., Пархоменко А.С., Богослов А.В., Шилова И.В., Куликова Л.В., Гребенюк Л.В., Петрова Н.А. 2019. Результаты реинтродукции *Trapa natans* L. в р. Хопер на территории Саратовской области. — В кн.: Научные труды национального парка «Хвалынский». Вып. 11. С. 67–72.
- [Kashin et al.] Кашин А.С., Петрова Н.А., Шилова И.В. 2016 б. Особенности экологической стратегии *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida). — Поволж. экол. журн. 2: 209–221. DOI: 10.18500/1684-7318-2016-2-209-22
- [Kashin et al.] Кашин А.С., Петрова Н.А., Шилова И.В., Куликова Л.В. 2016 а. Перспективы реинтродукции *Trapa natans* (Trapaaceae) в Саратовской области. — Растительные ресурсы. 4: 47–62.
- Kurihara M., Ikusima I. 1991. The ecology of the seed in *Trapa natans* var. *japonica* in a eutrophic lake. — Vegetatio. Vol. 97. P. 117–124.
- [Leskov] Лесков А.П. 2010. Экология и биология *Trapa natans* L. (Восточное Забайкалье). — Ученые записки ЗабГГПУ. 1(30): 140–146.
- Lim T.K. 2013. *Trapa natans* L. — In book: Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants. 5: 195–201.
- [Markov] Марков М.В. 2012. Популяционная биология растений. М. 387 с.
- Nobis M., Klichowska E., Nowak A., Gudkova P.D., Rola K. 2016. Multivariate morphometric analysis of the *Stipa turkestanica* group (Poaceae: Stipa sect. Stipa). — Pl. Syst. Evol. 302(2): 137–153. DOI: 10.1007/s00606-015-1243-9
- [Parkhomenko, Kashin] Пархоменко В.М., Кашин А.С. 2011. Состояние ценопопуляций *Hypericum perforatum* L. в Саратовской области: изменчивость морфометрических признаков и стратегия выживания. — Растительные ресурсы. 47(4): 1–18.
- Pfingsten, I.A., Cao L., Berent. L. 2020. *Trapa natans* L.: U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL. <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?SpeciesID=263> (Дата обращения: 27.05.2020).
- Podani J. 2000. Introduction to the exploration of multivariate biological data. Leiden. 407 p.
- Rai U.N., Sinha S. 2001. Distribution of metals in aquatic edible plants: *Trapa natans* (Roxb.) Makino and *Ipomoea aquatica* Forsk. — Environmental Monitoring and Assessment. 70(3): 241–252. DOI: 10.1023/a:1010727325662

[Rebrova] Реброва О.Ю. 2006. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М. 312 с.

[Rostova] Ростова Н.С. 2002. Корреляции: структура и изменчивость. СПб. 308 с.

[Shilova et al.] Шилова И.В., Богослов А.В., Кашин А.С., Крицкая Т.А., Пархоменко А.С., Петрова Н.А. 2019. Морфометрическая характеристика и виталитетная структура ценопопуляций *Delphinium pubiflorum*. — В кн.: Материалы Всероссийской с международным участием конференции, посвященной памяти Р.Е. Левиной «Современные проблемы морфологии и репродуктивной биологии семенных растений» (Ульяновск, 17–19 апреля 2019 г.). Ульяновск. С. 121–128.

Skliar Iu. L., Skliar V.H. 2017. *Trapa natans* L. s.l. growth features in Desna River basin. — Ukrainian Journal of Ecology. 7(3): 239–245. DOI: 10.15421/2017_74

Sneath P.H.A., Sokal R.R. 1973. Numerical taxonomy. San Francisco. 573 p.

[Tikhonova, Belovodova] Тихонова В.Л., Беловодова Н.Н. 2002. Реинтродукция дико-растущих травянистых растений; состояние проблемы и перспективы. — Бюлл. Главн. Бот. сада РАН. 183: 90–106.

Torrecilla P., Acedo C., Marques I., Diaz-Perez A. J., Lopez-Rodriguez J. A., Mirones V., Sus A., Llamas F., Alonso A., Perez-Collazos E., Viruel J., Sahuquillo Sancho M. D., Komac B., Manso J. A., Segarra-Moragues J. G., Draper D., Villar L., Catalan P. 2013. Morphometric and molecular variation in concert: taxonomy and genetics of the reticulate Pyrenean and Iberian alpine spiny fescues (*Festuca eskia* complex Poaceae) — Bot. J. Linn. Soc. 173(4): 676–706. DOI: 10.1111/boj.12103

[Tzvelev] Цвелев Н.Н. 1964. О способе распространения водяного ореха *Trapa* L. в прошлом и вымирании его в историческое время. — Бот. журн. 49(9): 1338–1340.

[Zhigacheva] Жигачева О.И. 2013. Консортивные связи водяного ореха (*Trapa natans* L. s. l., Trapaceae) в Волжском бассейне. — Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 13(2): 74–77.

[Zlobin et al.] Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А. 2013. Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения. Сумы. 439 с.

VITALITY STRUCTURE OF *TRAPA NATANS* (TRAPACEAE) POPULATIONS

© 2021 A.S. Parkhomenko*, A.V. Bogoslov, A.S. Kashin,
L.V. Grebenyuk, I.V. Shilova, V.M. Parkhomenko

Saratov State University
83, Astrakhanskaya str., Saratov, 410012, Russia
*e-mail: parkhomenko_as@mail.ru

Abstract. The vitality structure of 14 artificial *Trapa natans* L. populations in the Kхоper River in the Saratov Region was studied. In the higher population, the group of the middle class of vitality was dominant. More than half of the populations at the time of their study in 2019 had a high vitality. Other populations with low vitality, without additional measures to protect and restore them, are likely to disappear.

Key words: *Trapa natans*, morphometry, correlation, vitality.

Received: 09.07.2021. **Accepted for publication:** 10.09.2021.

For citation: Parkhomenko A.S., Bogoslov A.V., Kashin A.S., Grebenyuk L.V., Shilova I.V., Parkhomenko V.M. 2021. Vitality structure of *Trapa natans* (Trapaceae) populations. — Phytodiversity of Eastern Europe. 15(3): 67–78. DOI: 10.24412/2072-8816-2021-15-3-67-78

REFERENCES

- Baldisserotto C., Ferroni L., Zanzi C., Marchesini R., Pagnoni A., Pancaldi S. 2009. Morpho-physiological and biochemical responses in the floating lamina of *Trapa natans* exposed to molybdenum. — *Protoplasma*. 240 (1–4): 83–97. DOI: 10.1007/s00709-009-0094-z
- Bogoslov A.V., Kashin A.S., Shilova I.V., Kritskaya T.A., Parkhomenko A.S., Grebenyuk L.V. 2019. Vitality structure and ontogenetic strategy of *Delphinium litwinowii* (Ranunculaceae). — *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*. 19(3): 295–304. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-3-295-304 (In Russ.).
- Dementeva S.M., Petushkova T.P. 2010. On the ecology and distribution of *Trapa natans* L. in lakes of the Tver Region. — *Russian Journal of Ecology*. 41(5): 440–444. DOI: 10.1134/S1067413610050139
- Finot V.L., Soreng R.J., Giussani L.M., Muñoz R.G. 2018. A multivariate morphometric delimitation of species boundaries in the South American genus *Nicoraepoa* (Poaceae: Pooideae: Poaeae). — *Pl. Syst. Evol.* 304(5): 679–697. DOI: 10.1007/s00606-018-1499-y
- Guskova E.V., Kufina, G.N. 2016. New information on the trophic specialization of *Galerucella nymphaeae* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera, Chrysomelidae) of Altai Krai. — *Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytsky Melitopol State Pedagogical University*. 6(1): 177–182. DOI: 10.15421/20160
- Hummel M., Findlay S. 2006. Effects of water chestnut (*Trapa natans*) beds on water chemistry in the tidal freshwater Hudson River. — *Hydrobiologia*. 559(1): 169–181. DOI: 10.1007/s10750-005-9201-0
- Ishbirdin A.R., Ishmuratova M.M., Zhirnova T.V. 2005. Life strategies of the coenopopulation *Cephalanthera rubra* (L.) Rich. on the territory of the Bashkir State Reserve. — *Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod. Biology Ser.* 1: 85–98. (In Russ.).
- Kadono Y., Schneider E.L. 1986. Floral biology of *Trapa natans* var. *japonica*. — *The Botanical Magazine Tokyo*. 99(4): 435–439. DOI: 10.1007/bf02488722
- Kashin A.S., Parkhomenko A.S., Bogoslov A.V., Shilova I.V., Kulikova L.V., Grebenyuk L.V., Petrova N.A. 2019. The results of the reintroduction of *Trapa natans* L. in the river. Kholer in the Saratov region. — In: *Scientific works of the Khvalynsky National Park*. 11: 67–72. (In Russ.).
- Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V. 2016 b. Features of the ecological strategy of *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida). — *Povolzhskiy J. of Ecology*. 2: 209–221. DOI: 10.18500/1684-7318-2016-2-209-22 (In Russ.).
- Kashin A.S., Petrova N.A., Shilova I.V., Kulikova L.V. 2016 a. Prospects for the reintroduction of *Trapa natans* (Trapaceae) in the Saratov region. — *Rastitelnye Resursy*. 4: 47–62. (In Russ.).
- Kurihara M., Ikusima I. 1991. The ecology of the seed in *Trapa natans* var. *japonica* in a eutrophic lake. — *Vegetatio*. Vol. 97. P. 117–124.
- Leskov A.P. 2010. Ecology and biology *Trapa natans* L. (Eastern Transbaikalia). — *Uchenye Zapiski Zabaikalskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 1 (30): 140–146. (In Russ.).
- Lim T.K. 2013. *Trapa natans* L. — In: *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants*. Vol. 5. Springer. P. 195–201.
- Markov M.V. 2012. Population biology of plants. Moscow. 387 p. (In Russ.).
- Nobis M., Klichowska E., Nowak A., Gudkova P.D., Rola K. 2016. Multivariate morphometric analysis of the *Stipa turkestanica* group (Poaceae: Stipa sect. Stipa). — *Pl. Syst. Evol.* 302(2): 137–153. DOI: 10.1007/s00606-015-1243-9
- Parkhomenko V.M., Kashin A.S. 2011. State of *Hypericum perforatum* L. cenopopulations in Saratov region: variability of morphometric characters and survival strategy. — *Rastitelnye Resursy*. 47(4): 1–18. (In Russ.).

Pfingsten, I.A., Cao L., Berent. L. 2020. *Trapa natans* L.: U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, FL. <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?SpeciesID=263> (Accessed 27.05.2020).

Podani J. 2000. Introduction to the exploration of multivariate biological data. Leiden. 407 p.

Rai U.N., Sinha S. 2001. Distribution of metals in aquatic edible plants: *Trapa natans* (Roxb.) Makino and *Ipomoea aquatica* Forsk. — Environmental Monitoring and Assessment. 70(3): 241–252. DOI: 10.1023/a:1010727325662

Rebrova O.Yu. 2006. Statistical Analysis of Medical Data. Application of the STATISTICA application package. Moscow. 312 p. (In Russ.)

Rostova N.S. 2002. Correlations: structure and variability. Saint-Petersburg. 308 p. (In Russ.).

Shilova I.V., Bogoslov A.V., Kashin A.S., Kritskaya T.A., Parkhomenko A.S., Petrova N.A. 2019. Morphometric characteristics and vitality structure of *Delphinium pubiflorum* cenopopulations. — In: Materials of the All-Russian conference with international participation dedicated to the memory of R.E. Levina «Modern problems of morphology and reproductive biology of seed plants» (Ulyanovsk, April 17–19, 2019). Collection of scientific articles. Ulyanovsk: UISPU. P. 121–128. (In Russ.)

Skliar Iu. L., Skliar V.H. 2017. *Trapa natans* L. s.l. growth features in Desna River basin. — Ukrainian Journal of Ecology. 7(3): 239–245. DOI: 10.15421/2017_74

Sneath P.H.A., Sokal R.R. 1973. Numerical taxonomy. San Francisco. 573 p.

Tikhonova V.L., Belovodova N.N. 2002. Reintroduction of wild-growing herbaceous plants; state of the problem and prospects. — Bulletin of the Central Botanical Garden. 183: 90–106. (In Russ.).

Torrecilla P., Acedo C., Marques I., Diaz-Perez A. J., Lopez-Rodriguez J. A., Mirones V., Sus A., Llamas F., Alonso A., Perez-Collazos E., Viruel J., Sahuquillo Sancho M. D., Komac B., Manso J. A., Segarra-Moragues J. G., Draper D., Villar L., Catalan P. 2013. Morphometric and molecular variation in concert: taxonomy and genetics of the reticulate Pyrenean and Iberian alpine spiny fescues (*Festuca eskia* complex Poaceae). — Bot. J. Linn. Soc. 173(4): 676–706. DOI: 10.1111/boj.12103

Tzvelev N.N. 1964. About the way of distribution of the water nut *Trapa* L. in the past and its extinction in the historical time. — Bot. Zhurn. 49(9): 1338–1340. (In Russ.).

Zhigacheva O.I. 2013. Consortium ties of water chestnut (*Trapa natans* L. s. l., Trapaceae) in the Volga basin. — Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology. 13(2): 74–77. (In Russ.)

Zlobin Yu.A., Sklyar V.G., Klimentko A.A. 2013. Populations of rare plant species: theoretical foundations and research methods. Sumy. 439 p. (In Russ.).