

ВОДНАЯ ФЛОРА И ФАУНА

УДК 581.95

РЕДОК ЛИ В РОССИИ ВОДНЫЙ ПАПОРОТНИК *Salvinia natans* (Salviniaceae)?

© 2023 г. Н. К. Конотоп^{a, b}, Ю. С. Виноградова^{a, b}, Е. В. Чемерис^{a, *}, А. А. Бобров^{a, c}

^aИнститут биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

^bЯрославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Ярославль, Россия

^cТюменский государственный университет, AquaBioSafe, Тюмень, Россия

*e-mail: lechem@ibiw.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

После доработки 07.09.2022 г.

Принята к публикации 20.09.2022 г.

По литературным и гербарным данным, материалам интернет-ресурсов прослежено изменение распространения водного папоротника *Salvinia natans* (Salviniaceae) на территории России с начала XX в. до 2021 г. и определены современные границы его ареала. Среди климатических показателей, определяющих распространение *S. natans*, наибольшую статистическую значимость показали минимальные и максимальные температуры октября и января, максимальные температуры апреля и июля, что связано с важными стадиями жизненного цикла *S. natans*. Сопоставление местонахождений вида с климатическими и температурными показателями для временных периодов 1960–1969 гг., 2010–2018 гг., 2011–2021 гг. показало, что к 2021 г. в европейской части, Западной Сибири и на Дальнем Востоке произошло заметное продвижение (>200 км) *S. natans* на север. С 2000-х гг. отмечен заметный рост числа находок вида в разных регионах. Так, в Ивановской обл. их число с 2018 до 2021 г. выросло более чем в три раза. Экспансия вида происходит на фоне заметного повышения среднегодовых температур и изменения других биоклиматических показателей. При сохранении современных температурных тенденций *S. natans* расширит ареал еще больше к северу, востоку и западу в европейской России, к северу и западу в Западной Сибири и на Дальнем Востоке. В связи с происходящей экспансией *S. natans* обсуждены предпосылки к исключению вида из ряда региональных Красных книг.

Ключевые слова: водные растения, изменение климата, Красная книга, охраняемый вид, новые находки, распространение, Ивановская обл.

DOI: 10.31857/S0320965223020146, **EDN:** BTMQWU

ВВЕДЕНИЕ

Salvinia natans (L.) All. — однолетний, плавающий на поверхности воды и крайне редко развивающийся на влажной почве (Степанов, 2003) разноспоровый водный папоротник из сем. Salviniaceae Martinov, единственный представитель рода *Salvinia* Séquier, произрастающий на территории России. В России встречается преимущественно на юге европейской части, в Западной Сибири и на юге Дальнего Востока (Губанов и др., 2002). Современный ареал охватывает значительную часть Европы (от Испании на западе до России на востоке; от Литвы на севере до Греции на юге), почти всю Азию (от восточного Средиземноморья и Кавказа до Китая и Японии; от Казахстана и Монголии до Индии, Вьетнама и Таиланда); как интродуцированный встречается на Кубе и Ямайке (Allen, 2011).

Вид предпочитает неглубокие водные объекты со стоячей или медленно текущей водой с илистыми отложениями. Для экотопов *S. natans* характерны следующие параметры: pH 7.0–8.7, общая минерализация 150–900 мг/л, глубина 0.1–2 м (Ефремов и др., 2018; Kłosowski et al., 2020). Особенно благоприятны условия в старицах и дельтовых водоемах крупных и средних рек, на хорошо прогреваемых и слабо затененных участках (Губанов и др., 2002; Gałka, Szmeja, 2012; Pietryka et al., 2018; Агафонов и др., 2019; Bezsmertna et al., 2020; Kłosowski et al., 2020). Вместе с представителями сем. Lemnaceae S.F. Gray формирует сообщества свободноплавающих плейстофитов (Кособокова, Барабанщикова, 2015; Mucina et al., 2016; Ефремов и др., 2018; Bezsmertna et al., 2020; Kłosowski et al., 2020).

Спорадическое распространение *S. natans* на большей части ареала и небольшая численность

популяций во многих регионах России и Европы позволяет рассматривать этот вид как редкий и подлежащий охране (Bezsmertna et al., 2020). Вид включен в Красный список МСОП, с категорией “находящийся под угрозой исчезновения” (Near Threatened) в Европе (Christenhusz et al., 2017), и “вызывающий наименьшие опасения” (Least Concern) в глобальном масштабе (Allen, 2011). Также *S. natans* входит в перечень видов, подлежащих обязательной охране Приложения I Бернской конвенции.¹ Охраняется он и на территории России, где представлен в основных списках Красных книг 22 регионов (<http://oopt.aari.ru/bio/47942>). При этом в юго-восточной части ареала *S. natans* — широко распространенный и даже агрессивный вид, известный в числе злостных сорняков рисовых плантаций (Wang et al., 2013, 2021).

После 2000 г. в ряде европейских стран отмечено расширение ареала и увеличение численности популяций *S. natans*, что связывают, в частности, с изменением климата и повышением среднегодовых температур (Gałka, Szmeja, 2012, 2013; Pietryka et al., 2018; Bezsmertna et al., 2020). Так, современное потепление в Польше началось с сильного и резкого повышения температуры на рубеже 1988 и 1989 гг., которое сохранялось в последующие годы и привело к увеличению численности популяций сальвинии (Szmeja et al., 2016). Из-за многочисленных находок вида высказываются предложения об исключении вида из охранных списков Украины (Bezsmertna et al., 2020). В России происходят параллельные процессы. Наблюдается тенденция исключения вида из охранных списков в новых изданиях Красных книг ряда регионов, что может свидетельствовать о значимом росте числа местонахождений и численности популяций *S. natans*. Так, вид был исключен из Красных книг Ростовской обл.,² Алтайского края (Красная книга, 2016), Самарской обл. (Красная книга, 2017), Новосибирской обл. (Красная книга, 2018), Воронежской обл.³ (Агафонов и др., 2019). Наши наблюдения в течение последних двух лет за популяциями вида в Ивановской обл. также показали заметное увеличение и числа местонахождений, и занимаемой площади его сообществ. Все это косвенно свидетельствует о сходной динамике распространения *S. natans* в нашей стране и также может отражать процессы потепления климата, которые, согласно оценкам Росгидромета, в России происходят в ~2.5 раза интенсивнее, чем в

среднем по Земному шару.⁴ Так, в период 1976–2016 гг. рост среднегодовых температур воздуха был в среднем 0.45°C за каждые 10 лет,⁵ а например для Польши за 1959–2008 гг. — 0.35°C (Pietryka et al., 2018).

Данные о современном распространении *S. natans* в России ограничены сведениями региональных исследований (Кулуев и др., 2017; Ефремов и др., 2018; Агафонов и др., 2019; Сорокин, Голубева, 2020), как правило, в формате новых находок и мониторинга по ведению Красных книг. В последние годы активно пополняются данными о находках вида электронные ресурсы iNaturalist (<https://www.inaturalist.org/taxa/168405-Salvinia-natans>) и Плантариум (<https://www.plantarium.ru/page/view/item/33564>).

Цель работы — обобщить все известные указания вида в литературных источниках разных лет, в интернет-ресурсах, материалах гербарных фондов (с момента первых указаний до наших дней) и сопоставить их с климатическими переменными для понимания направленности процесса распространения *S. natans* на территории нашей страны в последние десятилетия в связи с климатическими изменениями.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для определения границ распространения *S. natans* на территории России в разные годы обобщены сведения о географических координатах местонахождений и датах сбора материалов из следующих источников: базы данных Глобального информационного фонда по биоразнообразию (GBIF (the Global Biodiversity Information Facility) Occurrence Download URL: <https://doi.org/10.15468/dl.sdrv4u>) — 768 записей, региональных Красных книг разных лет изданий — 322, научных публикаций — 36, гербарных коллекций (IBIW 61, MW 20, PLES 4) — всего 85 образцов, собственных данных за 2020, 2021 гг. — 9. Всего в обработку включено 1222 записи (Доп. мат., табл. S1exc).

Изучение распространения *S. natans* на территории Ивановской обл. проводили путем сопоставления имеющихся литературных данных с момента первых находок вида в 2018, 2019 гг., результатов сборов (гербарные образцы хранятся в IBIW) и наблюдений авторов в 2020, 2021 гг.

На основании этих данных (Доп. мат., табл. S1exc) составлены карты-схемы распространения вида на территории России и Ивановской обл. в программе MapInfo 17.0.2.

¹ Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats. Bern, 19.09.1979. Appendix I. Strictly protected flora species / European Treaty Series. № 104. P. 2.

² Приказ комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов администрации Ростовской области от 26.07.2010 г. № 33.

³ Постановление правительства Воронежской области от 31.01.2018 г. № 85.

⁴ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. 2021. Москва: НИУ Росгидромет.

⁵ Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ФГБУ “ГГО”). 2017.

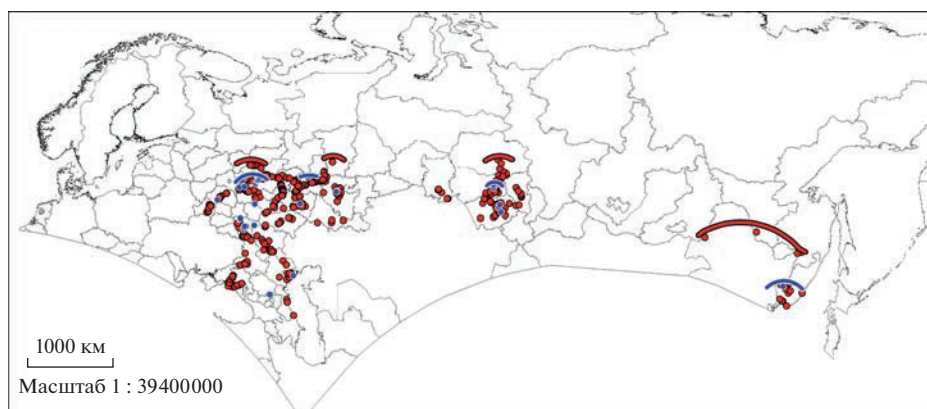


Рис. 1. Известные местонахождения *Salvinia natans* в России до 2021 г. Синие точки — до 1950 г., красные — с 1951 до 2021 г. Дуги соответствующих цветов очерчивают крайние точки.

Данные биоклиматических переменных взяты из базы глобальных данных о погоде WorldClim с пространственным разрешением 2.5 угловые минуты (Fick, Hijmans, 2017). Рассматривали предлагаемые 19 биоклиматических показателей (стандартные переменные температур и осадков), а также значения среднего количества осадков, максимальные и минимальные температуры по среднему месяцу (январь, апрель, июль и октябрь) из каждого сезона (12 переменных). Все биоклиматические и температурные данные связывали с пространственными координатами распространения *S. natans*. Полученные биоклиматические значения анализированы с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в среде R, где их сравнивали для двух временных периодов: 1960–1969 гг. и 2010–2018 гг., что определено выборкой лет, представленных в базе данных (Fick, Hijmans, 2017).

Сведения о среднемесячных и среднегодовых температурах Ивановской обл., а также среднее количество выпавших осадков до 2021 г. получены из архивов справочно-информационного портала “Погода и климат” (<http://www.pogodaiklimat.ru>). Все температурные показатели относятся к воздушной среде. Визуализацию статистических данных проводили в среде R 4.0.5 (www.R-project.org) с использованием пакета по обработке пространственных данных ggplot2. Данные загружены из растровых изображений с сайта WorldClim (Fick, Hijmans, 2017) с помощью пакета raster.

На основании полученных данных проанализированы охранные статусы *S. natans* в региональных изданиях Красных книг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распространение *Salvinia natans* на территории России по данным разных лет. На основе собранных данных (Доп. мат., табл. S1exc) в программе

MapInfo построены карты распространения *S. natans* по известным указаниям до 2021 г. (рис. 1).

Климатические показатели и распространение *Salvinia natans* на территории России. Для оценки вклада биоклиматических и температурных переменных, определяющих распространение *S. natans* проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), в результате которого отобран 21 показатель, характеризующий параметры температуры и количества осадков. Наиболее значимые показатели, влияющие на распространение *S. natans* — это температурные максимумы и минимумы в отдельные месяцы (табл. 1).

На основе растровых данных с сайта WorldClim (Fick, Hijmans, 2017) построены климатические карты для самого значимого показателя $t_{\min 10}$ (минимальные температуры октября) с нанесением имеющихся координат распространения *S. natans* за анализируемые периоды (1960–1969 гг. и 2010–2018 гг.).

Растры факторов среднегодовых температур и среднегодового количества осадков за период 1970–2000 гг., показавших достаточно высокую корреляцию с данными о распространении вида (табл. 1), а также широко используемыми в сводках мониторинга климата РФ, выполняемого НИУ Росгидромета на регулярной основе, взяты в качестве основы для карт распространения *S. natans* (рис. 2, рис. 3). Одновременно эти карты наглядно показывают диапазоны основных экологических предпочтений вида.

Среди температурных показателей наиболее статистически дифференцированный — минимальные температуры октября. На растровых картах WorldClim (Fick, Hijmans, 2017) при сравнении периодов 1960–1969 гг. и 2010–2018 гг. отмечено значительное изменение расположения температурных градиентов нулевых температур к северу и востоку. Составлены карты минимальных температур октября на основании растров

Таблица 1. Статистически значимые биоклиматические и температурные показатели, влияющие на географическое (широта, долгота) распределение *Salvinia natans*

Обозначение	Показатели среды	<i>F</i>	<i>p</i>
$t_{\min}$ 10	Минимальные температуры октября	107.2	<0.00001
$t_{\max}$ 10	Максимальные температуры октября	95.95	<0.00001
$t_{\max}$ 04	Максимальные температуры апреля	93.39	<0.00001
$t_{\max}$ 01	Максимальные температуры января	83.46	<0.00001
$t_{\min}$ 01	Минимальные температуры января	68.39	<0.00001
$t_{\max}$ 07	Максимальные температуры июля	58.86	<0.00001
bio_10	Средняя температура самого жаркого квартала	38	<0.00001
bio_01	Среднегодовые температуры	37.6	<0.0001
bio_05	Максимальные температуры самого жаркого месяца	32.6	<0.0001
bio_11	Средняя температура самого холодного квартала	23	<0.0001
bio_16	Количество садков самого влажного квартала	18.68	<0.0001
$t_{\min}$ 04	Минимальные температуры апреля	18.4	<0.0001
bio_18	Количество садков самого жаркого квартала	18.15	<0.0001
bio_13	Количество осадков самого влажного месяца	18	<0.0001
bio_06	Минимальные температуры самого холодного месяца	17.7	<0.0001
bio_09	Средние температуры самого засушливого квартала	16.9	<0.0001
bio_12	Среднегодовое количество осадков	15.33	<0.0001
prec 10	Среднемесячное количество осадков октября	15.32	<0.001
prec 07	Среднемесячное количество осадков июля	13.87	<0.001
bio_15	Сезонное количество осадков	12	<0.001
bio_08	Средние температуры самого влажного квартала	11.34	<0.001

Примечание. *F* – критерий Фишера, *p* – уровень значимости. $t_{\min}$ и $t_{\max}$ – минимальная и максимальная температура соответственно.

этого показателя в 1961 г. (рис. 4а) и 2018 г. (рис. 4б) с наложением известных местонахождений *S. natans* для этих лет.

Новые данные о распространении *Salvinia natans* в Ивановской обл. Впервые в области *S. natans* обнаружен А.И. Сорокиным, М.А. Голубевой и Д. Ивано-

вым 17.09.2018 (PLES) в Приволжском р-не, в черте г. Плес, в устье р. Шохонка, где вид формировал незначительные по площади заросли. В этом же году *S. natans* найден еще в трех местообитаниях в заливах Горьковского вдхр. в Приволжском и Заволжском районах. В 2019 г. в устье р. Шохонка

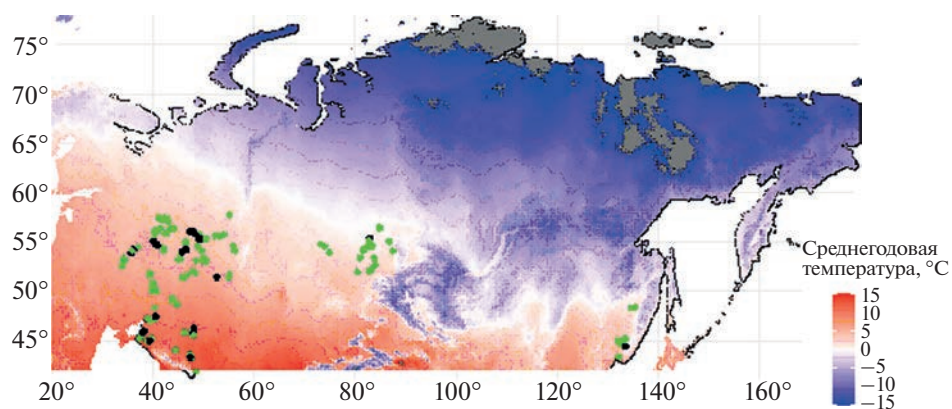


Рис. 2. Среднегодовые температуры и известные местонахождения *Salvinia natans* в России. Черные точки – данные с 1960 г. до 1969 г., зеленые – с 2010 г. до 2018 г.

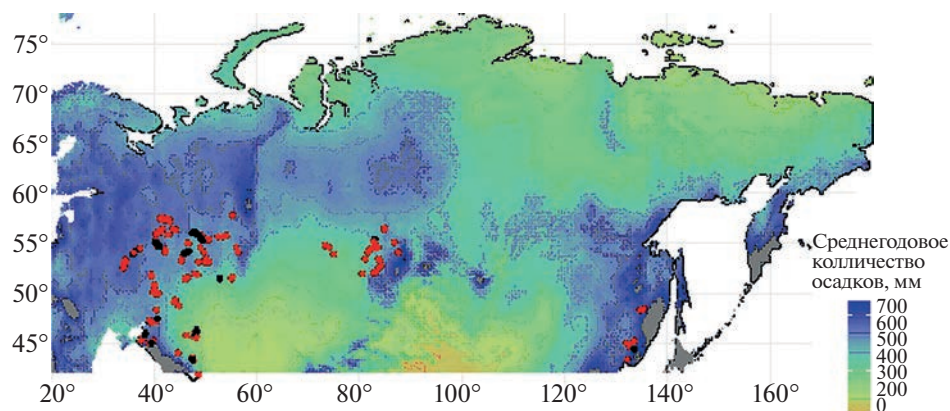


Рис. 3. Среднегодовое количество осадков и известные местонахождения *Salvinia natans* в России. Черные точки — данные с 1960 до 1969 г., красные — с 2010 до 2018 г.

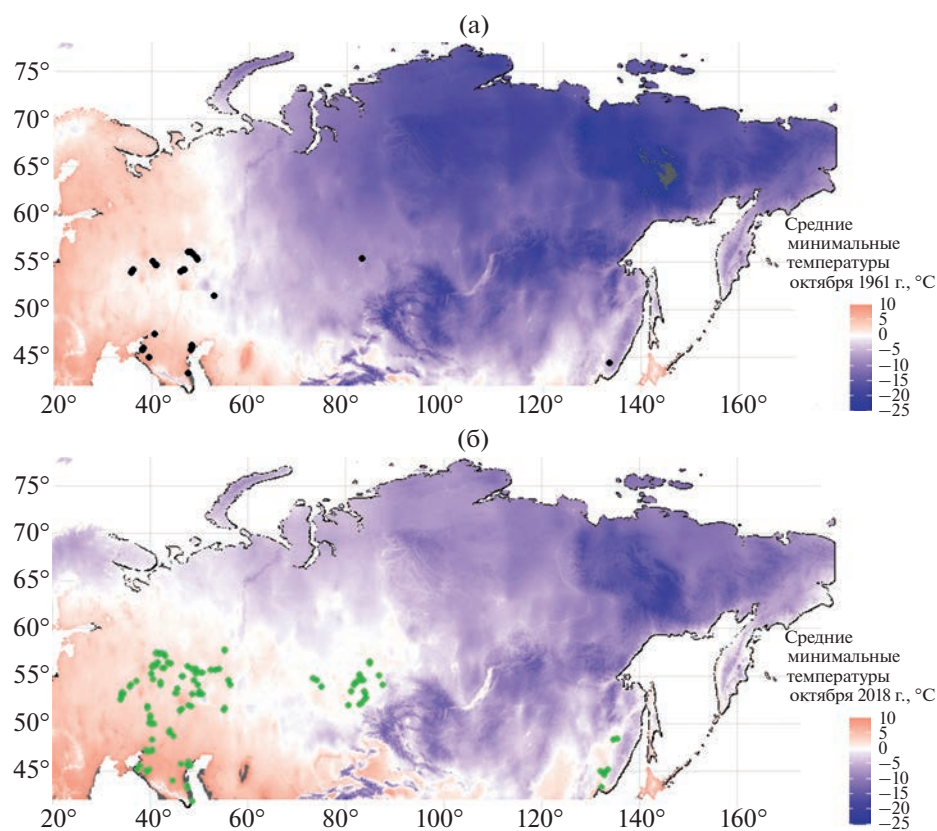


Рис. 4. Средние минимальные температуры октября и известные местонахождения *Salvinia natans* в России: а — до 1961 г., б — до 2018 г.

отмечены незначительная численность популяции и активное спороношение (Сорокин, Голубева, 2020). Имеются указания о находках вида в 2019 г. чуть севернее — в соседней Костромской обл. (Леострин, Ефимова, 2020).

В заливе р. Шохонка площадь зарослей сальвинии в 2018 и 2019 гг. была <10% акватории (Сорокин, Голубева, 2020), по нашим наблюдениям

12.09.2020 г. — <20% и 10.08.2021 г. — >30% при сохранении их общего проективного покрытия в пределах 60–90% (рис. 5, Доп. мат., рис. S1). Это свидетельствует о росте численности популяции. Кроме того, в 2020 и 2021 гг. зарегистрировано развитие пятен сальвинии за пределами залива, в русловой части водохранилища, которые к 2021 г. стали более многочисленными и заметными, рас-

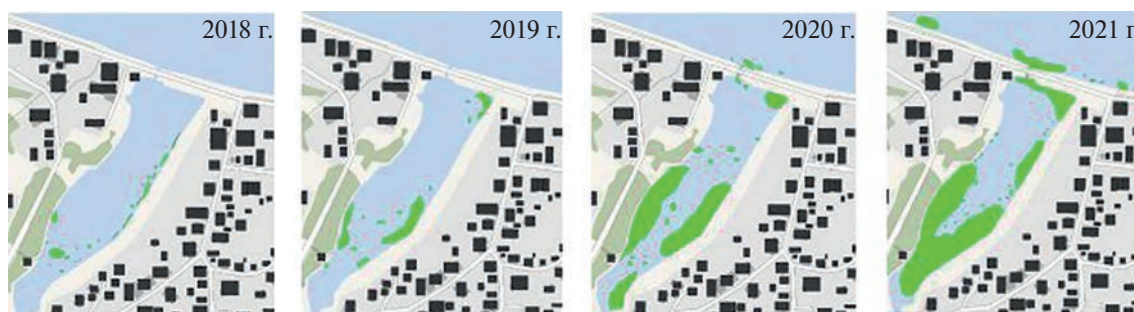


Рис. 5. Изменение площадей, занимаемых *Salvinia natans* в устье р. Шохонка (зеленый цвет).

полагались узкой полосой вдоль берега на протяжении ~150 м.

Также в 2021 г. *S. natans* обнаружен в новых местах в самом Горьковском вдхр. и в его притоках (табл. 2). При обследовании этих же точек ранее в 2019 и 2020 гг. вид не был найден.

На основании литературных данных (Сорокин, Голубева, 2020; Леострин, Ефимова, 2020), гербарных образцов (PLES, IBIW) и собственных сборов составлена карта-схема известных местонахождений вида в Ивановской обл. и на прилегающих территориях (рис. 6).

В результате анализа среднегодовых температур в Ивановской обл. за последние 70 лет (<http://www.pogodaiklimat.ru>), показано, что за этот период они выросли на ~2.5°C (рис. 7). Вычисленный для линии тренда коэффициент корреляции был 0.64 ($p < 0.05$), что подтверждает увеличение температуры со временем.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Распространение *Salvinia natans* на территории России. С начала XX в. до 1950 г. *S. natans* был известен по отдельным указаниям для небольшого числа регионов России: в европейской части во Владимирской, Калужской, Рязанской, Воронежской, Тамбовской, Самарской и Астраханской областях, Республике Башкортостан и Ставропольском крае, в Западной Сибири в Новосибирской обл. и Алтайском крае, на Дальнем Востоке в Приморском крае (рис. 1). Сведения эти явно недостаточны для полного понимания распространения вида и свидетельствуют о слабой изученности водной флоры. Малое число сборов в этот период объясняется историческими факторами. Основные ботанические работы по изучению разнообразия водных растений и их ресурсной значимости начались с конца 50-х–70-е годы, в период массового строительства водохранилищ (Папченко, 2000). К 1963 г. ареал *S. natans* в пределах России оставался примерно таким же (Орлов, 1963) (рис. 8), как до 1950 г. (рис. 1).

Таблица 2. Местонахождения *Salvinia natans* в Ивановской обл.

Район	Местонахождение	Дата	Координаты
Кинешемский	150 м на зап. от с. Решма, залив Горьковского вдхр. и устье р. Решма	15.09.2021	57.413324 N 41.493847 E
Кинешемский	50 м на сев. от дер. Крючиха, Горьковское вдхр.	20.08.2021	57.445136 N 42.244731 E
Юрьеvecкий	700 м на сев.-сев.-вост. от дер. Быстрица, возле пристани Быстрица, Горьковское вдхр.	15.09.2021	57.382026 N 41.841201 E
Юрьеvecкий	Около дер. Люхино, устье р. Тепляшка	16.09.2021	57.152511 N 42.533706 E
Приволжский	300 м на сев. от дер. Спасское, дамба р. Шохонка	10.08.2021	57.442845 N 42.844878 E
Вичугский	дер. Шалдово, общественный пляж, около причала Семигорье, Горьковское вдхр.	21.08.2021	57.40687 N 43.014607 E
Заволжский	На юге от с. Воздвиженье, Горьковское вдхр.	09.10.2021	57.493015 N 42.002758 E

Примечание. зап. — запад, сев. — север, сев.-сев.-вост. — север-северо-восток.

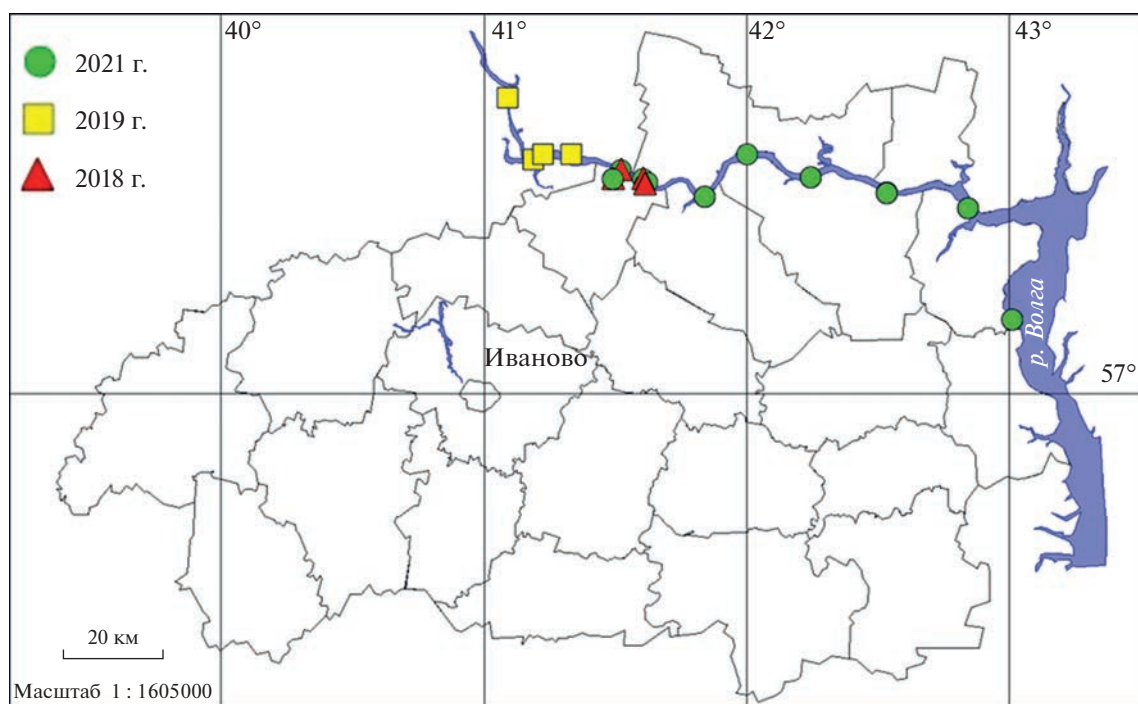


Рис. 6. Местонахождения *Salvinia natans* в Ивановской обл. и на прилегающих территориях.

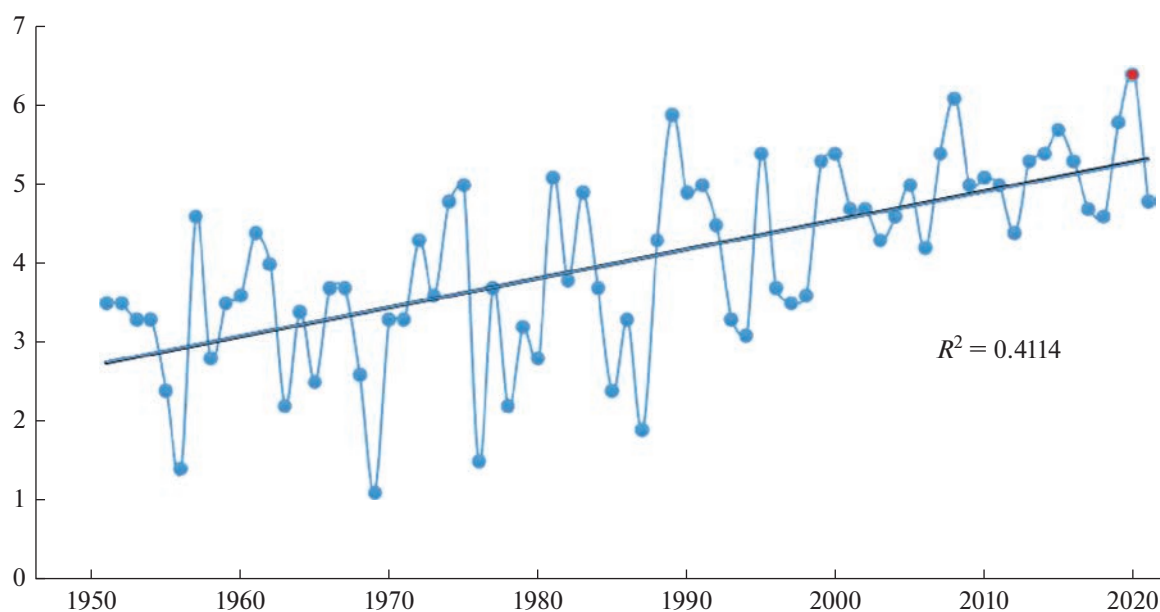


Рис. 7. Среднегодовые температуры в Ивановской обл. с 1951 г. по 2021 г. Красной точкой обозначено максимальное значение среднегодовой температуры в 2020 г.

К 2000 г. число известных находок вида значительно возросло, он был найден в Московской, Тульской, Нижегородской, Кировской, Ульяновской, Саратовской, Волгоградской, Ростовской и Оренбургской областях, в республиках Мордовия, Марий Эл, Удмуртской, Чувашской, Татарстан. Ряд находок зарегистрирован на Кавказе, в

Краснодарском крае, республиках Адыгея, Чеченская, Дагестан, а также в Западной Сибири в Томской, Омской, Кемеровской и Свердловской областях.

В последующие годы вид активно распространялся по регионам, где был ранее известен, занимая новые территории, судя по указаниям в Ин-

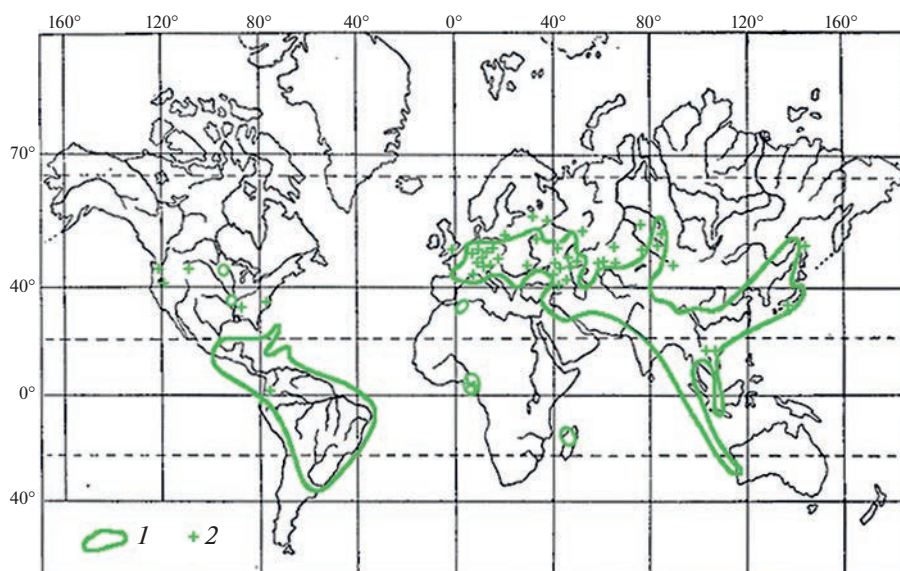


Рис. 8. Распространение рода *Salvinia* (по: Орлов, 1963). 1 – ареал до 1963 г., 2 – ископаемые находки.

тернет-ресурсах (<https://www.inaturalist.org/taxa/168405-Salvinia-natans>; <https://www.plantarium.ru/page/view/item/33564>). Также после 2000 г. *S. natans* отмечен и в новых регионах европейской части России в Ивановской, Костромской, Брянской, Орловской, Пензенской областях, в Пермском крае, Республике Калмыкия, а также на Дальнем Востоке в Забайкальском, Хабаровском краях и в Амурской обл.

До 2000 г. в европейской части России северная граница ареала проходила по 55.5417° с.ш. (Владимирская обл.) и по 55.259722° с.ш. (Пермский край), в Западной Сибири – по 54.58° с.ш. (Омская обл.), на Дальнем Востоке – по 43.567055° с.ш. (Приморский край). На текущий момент она проходит севернее: в европейской части России по 57.468318° с.ш. (Костромская обл.), по 57.801219° с.ш. (Пермский край), в Западной Сибири по 57.65° с.ш. (Томская обл.) и на Дальнем Востоке по 51.95327° с.ш. (Амурская обл.). Судя по этим данным, даже за два последних десятилетия *S. natans* заметно продвинулся на север, что хорошо соотносится с данными из других стран (Bezsmertna et al., 2020; Kłosowski et al., 2020; и др.).

Наблюдения за динамикой вида в Омской обл. также показали продвижение *S. natans* на 200–220 км за последние 25 лет (Ефремов и др., 2018). Таким образом, северная граница распространения вида в России за последние десятилетия сместилась к северу на >200 км во всех трех частях его ареала.

Судя по имеющимся данным, основные коридоры продвижения *S. natans* в России связаны с крупными водными артериями (рис. 1). Вид предположительно распространялся в централь-

ных и восточных регионах европейской части России по р. Волга и ее притокам (реки Ока, Сура, Кама, Клязьма, Самара и др.), в юго-западных и южных регионах – по рекам Дон и Десна с их притоками, на Кавказе – по рекам Кубань, Терек, Кума и др., в Западной Сибири – по р. Обь с притоками (реки Иртыш, Томь и др.), на Дальнем Востоке – по р. Амур и ее притокам. Примечательно, что в Западной Европе продвижение вида на север также связано с крупными реками: Днепр, Висла, Одер (Gałka, Szmeja, 2012; Bezsmertna et al., 2020; Kłosowski et al., 2020).

Изменения в характере распространения вида и рост численности его популяций хорошо прослеживаются на уровне конкретных регионов в достаточно короткий временной отрезок. Так, за 2000–2010 гг. число местонахождений *S. natans* в дельте р. Висла выросло в 3 раза: с 7 до 21 (Gałka, Szmeja, 2012), с 2000-х гг. наблюдается увеличение численности и формирование плотных зарослей во многих водоемах Украины (Bezsmertna et al., 2020; Kotsun et al., 2021). Сходная тенденция наблюдается и в России. Так, в Бирском р-не Башкирии в 2015 г. отмечено массовое развитие сообществ *S. natans* в старицах р. Белая, а в 2016 г. вид зарегистрирован в новых местообитаниях (Шевченко, Артюхин, 2016); в Нуримановском р-не с 2011 по 2016 гг. число находок вида выросло с двух до 11 (Кулуев и др., 2017). Для Омской обл. с 2005 по 2015 гг. обнаружено четыре новых местонахождения вида (Ефремов и др., 2018). Наши наблюдения за популяциями вида в 2019–2021 гг. в Ивановской обл. так же подтверждают быстрое распространение вида (табл. 2, рис. 6). С момента первых указаний *S. natans* в 2018 г. в трех местонахождениях (Сорокин, Голубева, 2020), к 2021 г. их число достигло 11 в пределах области и 15 с учетом

территории соседней Костромской обл. Таким образом, вид заметно продвинулся и на север, и на восток.

Климатические показатели и распространение *S. natans* на территории России. Известно, что температура — один из главных факторов, влияющих на распределение видов водных растений на северных территориях (Gillard et al., 2020). Особенно это важно в случае теплолюбивых видов, к которым относится *S. natans*. На карте среднегодовых температур 1970–2000 гг. (рис. 2) видно, что современный ареал *S. natans* находится в зоне положительных температур и большая его часть приходится на диапазон от 0 до +10°C. Для России известны факты увеличения среднегодовых температур в среднем на 0,45°C, рост которых особенно активно происходил после 1976 г. и в последнее 10-летие.^{4, 5} При этом зоны положительных среднегодовых температур смещаются к северу, где потепление, по многим наблюдаемым показателям, особенно заметно.⁵ Это приводит к значимым изменениям в водных экосистемах. Так, в крупных озерах на севере европейской части России за последние 60 лет наблюдается уменьшение периода ледового покрова, повышение температуры воды и увеличение продолжительности “биологического лета” на 10–24 суток в разных частях региона (Филатов и др., 2014, Filatov et al., 2019), что неизбежно влияет на биоту. По-видимому, в случае с *S. natans* мы видим частный пример результата накопления подобных изменений в водных экосистемах.

Влияние температурных показателей на распространение *S. natans* прослеживается и для конкретного региона. Так, среднегодовые температуры в Ивановской обл. за последние 70 лет выросли на ~2,5°C (рис. 8). Примечательно, что 2020 г., предшествующий массовым новым находкам вида по Горьковскому водохранилищу был аномально теплым за весь период наблюдений⁴ (рис. 7), а 2021 г. характеризовался теплой весной и жарким летом (<http://www.pogodaiklimat.ru>), что способствовало успешному размножению сальвинии (во всех местонахождениях наблюдали массовое спороношение). Можно предполагать увеличение в ближайшие годы числа новых находок *S. natans* в регионе.

При сохранении современных температурных тенденций в европейской части России вид может продвинуться еще больше к северу, западу и востоку уже в ближайшее время, и таким образом занять прежние границы своего исторического ареала (рис. 8). Высока вероятность продвижения *S. natans* к северу и западу в Западной Сибири и на Дальнем Востоке.

Наиболее высокая статистическая значимость связана с показателями минимальных и максимальных температур октября и января, а также максимальных температур апреля и июля (табл. 1). Распределение температур в разные годы периода

1960–2018 гг. заметно изменялось. Составленные для примера карты минимальных температур октября 1961 и 2018 гг. демонстрируют смещение средних минимальных положительных температур незначительно к югу, существенно — к востоку в европейской части России и Западной Сибири, и одновременно к северу и западу на Дальнем Востоке (рис. 4). Влияние октябрьских минимальных температур на географическое распределение вида, вероятно, связано с тем, что внезапное похолодание отрицательно влияет на выживание или препятствует вызреванию спор, поскольку осенью происходит созревание спорангиев и оседание спор на дно (Бобров и др., 1974; Кособокова, Барабанщикова, 2015). Как показали польские исследователи (Szmeja et al., 2016), для микро- и макроспор непродолжительное понижение температуры до –1°C губительно. Эти данные и высокая статистическая значимость показателя минимальных и максимальных температур января (табл. 1) несколько противоречат результатам опытов по влиянию условий хранения спор *S. natans*, проведенных в условиях г. Москва, где один из вариантов экспозиции спор был при естественных температурах (Кособокова, Барабанщикова, 2015), которые в год эксперимента опускались ниже –23°C и были довольно продолжительны (<http://www.pogodaiklimat.ru>), что, судя по данным авторов, не повлияло на прорастание. В дальнейшем установлено, что температура –18°C губительна для спор, а также факт развития нового поколения *S. natans* из спор без периода покоя при комнатном содержании. В природных условиях вынужденный покой представляет собой адаптивный биоритм вида в сезонном климате России и определяется осенне-зимним похолоданием (Барабанщикова, Орлюк, 2021).

Распределение местонахождений *S. natans* на карте среднегодового количества осадков за этот же период 1970–2000 гг. (рис. 5) так же демонстрирует значительный разброс показателей, хотя большее число находок сосредоточено в зонах умеренно-влажного климата с количеством осадков 500–700 мм. При этом незначительное число популяций обитает в условиях более сухого климата в степных регионах юга европейской части России и Западной Сибири. Однако показатели количества осадков в целом заметно менее значимы по сравнению с температурными (табл. 1).

Влияние биоклиматических параметров (табл. 1) хорошо согласуется с особенностями биологии вида (Gałka, Szmeja, 2013; Szmeja et al., 2016; Кособокова, Барабанщикова, 2015; Барабанщикова, Орлюк, 2021). Так, значимость количества осадков летом и осенью можно связать с возможностью более эффективного распространения вегетативных зачатков *S. natans* при повышении уровня воды в водоемах. Избыточная влажность и движение воды способствуют раннему отмиранию старых и фрагментации молодых побегов,

что обеспечивает активизацию вегетативного размножения и расселения вида (Кособокова, Барабанщикова, 2015). При теплом и влажном лете макроспоры активизируются раньше, их прорастание и выживание молодых особей более эффективно, вегетационный период длиннее, количество вегетативных поколений за год больше (Szmeja et al., 2016).

Значения максимальных и минимальных температур октября, января и апреля, лимитируют успешность вызревания спор, их выживание в условиях низких температур, формирование гаметофитов, прорастание спорофита. Так, для *S. natans* указывают следующие сроки прохождения важных жизненных стадий: спорангии в сорусах созревают к концу лета, в сентябре–октябре сорусы оседают на дно и зимуют (Бобров и др., 1974; Gałka, Szmeja, 2013; Кособокова, Барабанщикова, 2015), весной сорусы всплывают, споры высвобождаются и прорастают в гаметофиты в конце апреля–начале мая, точные даты зависят от географического положения, погодных условий конкретного года, сроков наступления половодья (Барабанщикова, Орлюк, 2021). Показано, что молодой спорофит, развивающийся весной (в условиях северной Польши март–апрель) при температуре выше +12°C, очень чувствителен к резкому понижению температуры и погибает при заморозках (Szmeja et al., 2016).

Проблемы охраны *Salvinia natans* на территории России. Ситуация с охраной *S. natans* в разных регионах России весьма неоднозначна. Дополнительная сложность определения статуса охраны связана с жизненной стратегией вида. *Salvinia natans* — типичный г-стратег, способный при благоприятных условиях стремительно разрастаться. Помимо размножения спорами, численность популяции летом и осенью активно увеличивается за счет вегетативного размножения. Для сальвинии характерно резкое колебание численности из года в год, отмеченное многими авторами (Губанов и др., 2002; Gałka, Szmeja, 2012; Кособокова, Барабанщикова, 2015; Pietryka et al., 2018; Агафонов и др., 2019).

При массовом развитии вид способен негативно влиять на водные экосистемы. Известны факты ухудшения качества воды: уменьшение растворенного кислорода, увеличение концентрации фосфора и азота (Gałka, Szmeja, 2012; Wang et al., 2013; 2021). Плотные маты сальвинии пропускают ~10% солнечного света (Gałka, Szmeja, 2012), что приводит к быстрой деградации погруженной водной растительности в водоемах (Gałka, Szmeja, 2012; Bezsmertna et al., 2020; Kotsun et al., 2021). По нашим наблюдениям, на р. Шохонка при увеличении площадей *S. natans* к 2021 г. почти исчезли из состава сообществ макрофиты *Potamogeton perfoliatus* L., *Myriophyllum spicatum* L. и др., а вода в заливе приобрела неприятный гнилостный запах.

В России вид включен в Красные книги 27 регионов (<http://oort.aari.ru/bio/47942>), в пяти из них в последних изданиях исключен. На данный момент он охраняется в 22 регионах, где статус охраны варьирует от одного до пяти (Доп. мат., табл. S2).

S. natans включен в списки бионадзора в тех регионах, где раньше не охранялся, например в Белгородской обл.⁶ Одновременно в новых изданиях некоторых региональных Красных книг наблюдается тенденция к исключению вида из основного списка: в Алтайском крае (Красная книга..., 2016), Воронежской обл. (Агафонов и др., 2019), Новосибирской обл. (Красная книга..., 2018) и др., или понижению его охранного статуса (Республика Марий Эл, Пензенская обл., Республика Татарстан, Чувашская Республика) (Доп. мат., табл. S2). Это свидетельствует в пользу того, что в настоящий момент происходит экспансия *S. natans*. Соответственно, необходимо пересмотреть как саму необходимость охраны, так охранные статусы вида во всех регионах. По нашему мнению, *S. natans* можно оставить в основных списках только там, где он имеет критически низкую численность и встречаемость. Уязвимы популяции, находящиеся близ северных границ ареала и в некоторых южных регионах, где есть риски, связанные с высокой антропогенной нагрузкой и активным преобразованием речных долин. Показано, что в результате изменений гидрохимических показателей воды и чрезмерном эвтрофировании происходит деградация сообществ *S. natans* (Kłosowski et al., 2020). Ограничивающие распространение *S. natans* факторы связаны с географическим положением (температурой в регионе), изменением pH воды, пересыханием водоемов или, наоборот, резким подъемом уровня воды и увеличением глубин >1.5 м, а также с загрязнением.

В связи с расширением ареала вида, его охранный статус стоит ограничить категорией редкости “3”, поскольку угрозы его исчезновения на территории России нет. Для понимания необходимости охраны *S. natans* в каждом конкретном регионе требуются регулярные наблюдения. При обнаружении вида в новых регионах, для начала разумным будет его включение в дополнительный список бионадзора. В текущих изданиях Красных книг охранный статус вида с категориями редкости “1” и “2” выглядит завышенным. Так же стоит исключить *S. natans* из основных охранных списков регионов, в которых зафиксировано восстановление численности (Республика Марий Эл, Татарстан, Чувашская Республика, Пензенская обл.).

Выводы. Водный папоротник *S. natans* за период 1950–2021 гг. заметно расширил свое распространение в европейской, западносибирской и дальневосточной частях ареала в России и про-

⁶ Постановление правительства Белгородской области от 09.09.2019 г. № 377

двинулся на север на >200 км. В 2000-х годах число местонахождений во многих регионах России выросло в разы. В значительной степени это связано с потеплением климата (повышением среднегодовой температуры, минимальных и максимальных температур октября и января, максимальных температур апреля и июля), что определено успешностью прохождения важных стадий жизненного цикла вида. Сохранение существующих климатических тенденций приведет к дальнейшему расширению ареала к северу, востоку и западу в европейской России, к северу и западу в Западной Сибири и на Дальнем Востоке.

В связи с происходящим расширением ареала *S. natans* в России необходимо пересмотреть охранные статусы в новых изданиях региональных Красных книг, а также исключить вид из охранных списков республик Марий Эл, Татарстан, Чувашской республики и Пензенской обл.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Д.Ю. Ефимову и О.Г. Гришуткину (Институт биологии внутренних вод РАН) за помощь при статистической обработке данных и создании климатических карт, М.А. Голубевой (Плещский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник) за предоставленные гербарные образцы *Salvinia natans*.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках госзадания Института биологии внутренних вод РАН (тема № 121051100099-5) и при финансовой поддержке Правительства Тюменской обл. по проекту Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра № 89-ДОН (2).

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Дополнительный материал (рис. S1, табл. S1exc, S2) публикуется только в электронном формате на сайтах <https://link.springer.com> и доступен по ссылке DOI: 10.31857/S0320965223020146

Рис. S1. Сообщество *Salvinia natans* в устье р. Шохонка, г. Плещ, 10.08.2021.

Табл. S1exc. Местонахождения *Salvinia natans* в России.

Табл. S2. Охранный статус *Salvinia natans* в Красных книгах регионов России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агафонов В.А., Стародубцева Е.А., Негроров В.В. и др. 2019. Кадастр сосудистых растений, охраняемых на территории Воронежской области. Воронеж: Цифровая полиграфия. С. 370.
- Барабанищкова Н.С., Орлюк Ф.А. 2021. Влияние экспериментальных условий хранения спор сальвинии плавающей (*Salvinia natans* (L.) All., Salviniaceae

- Martinov) на воспроизводство вида // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Т. 20. № 1. С. 49.
<https://doi.org/10.14258/pbssm.2021010>
- Бобров А.Е., Бобров Е.Г., Федоров А.А., Цвелев Н.Н. 1974. Флора Европейской части СССР. Т. 1. Ленинград: Изд-во "Наука". С. 1.
- Губанов И.А., Киселева К.В., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. 2002. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 1. Москва: Товарищество научн. изданий КМК. С. 100.
- Ефремов А.Н., Свириденко Б.Ф., Свириденко Т.В., Мурашко Ю.А. 2018. Сальвиния плавающая *Salvinia natans* (L.) All. в Омской области // Экология и география растений и растительных сообществ: Матер. IV междунар. науч. конф. (Екатеринбург, 16–19 апреля 2018 г.). Екатеринбург: Изд-во Уральск. ун-та; Гуманитарный ин-т. С. 270.
- Косообокова С.Р., Барабанищкова Н.С. 2015. Особенности размножения сальвинии плавающей *Salvinia natans* // Естественные науки. № 2(51). С. 36.
- Красная книга Алтайского края. Т. 1. 2016. Барнаул: Изд-во Алтайск. ун-та.
- Красная книга Новосибирской области: Животные, растения и грибы. 2018. Новосибирск: Типография А. Христолюбова.
- Кулуев Б.Р., Артюхин А.Е., Михайлова Е.В. 2017. Новые находки *Salvinia natans* (L.) All. в Нуримановском районе Республики Башкортостан // Биомика. Т. 9. № 2. С. 136.
- Леострин А.В., Ефимова А.А. 2020. Материалы для флоры Костромской обл. // Turczaninowia. Т. 23. № 2. С. 99.
- Орлов Ю.А. 1963. Основы палеонтологии. Т. 14. Водоросли, мохообразные, псилофитовые, плауновидные, членистостебельные, папоротники. Москва: Изд-во АН СССР.
- Папченков В.Г. 2000. Динамика гидробиотических исследований в России // Гидробиотика-2000. Тез. докл. V Всерос. конф. по водным растениям. Бюрок. С. 218.
- Сорокин А.И., Голубева М.А. 2020. О находке *Salvinia natans* (L.) All. в Ивановской и Костромской областях // Проблемы ботаники: история и современность: Матер. междунар. науч. конф. (Воронеж, 3–7 февраля 2020 г.). Воронеж: Воронеж. гос. ун-т. С. 346.
- Степанов Н.В. 2003. Высшие споровые растения: учебное пособие. Красноярск: Красноярск. гос. ун-т.
- Филатов Н.Н., Руховец Л.А., Назарова Л.Е. и др. 2014. Влияние изменений климата на экосистемы озер севера Европейской территории России // Уч. зап. Росс. гос. гидромет. ун-та. № 34. С. 48.
- Шевченко А.М., Артюхин А.Е. 2016. Распространению сальвинии плавающей *Salvinia natans* (L.) All. в Республике Башкортостан // Мат. по флоре и фауне Респ. Башкортостан. № 13. С. 121.
- Allen D.J. 2011. *Salvinia natans*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T163996A5688211. [Электронный ресурс] URL: <https://www.iucnredlist.org/species/163996/5688211> (Дата обращения: 15.03.2022).
- Bezsmertna O.O., Heluta V.P., Danylyk I.M. et al. 2020. Distribution of *Salvinia natans* (Salviniaceae, Polypodiopsida), a fern listed in the Red Data Book of Ukraine, within the country // Ukrainian Botanical Journal.

- V. 77. № 3. P. 173.
<https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.03.173>
- Christenhusz M., Lansdown R.V., Bento E.R. et al. 2017. *Salvinia natans*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T163996A85449648. [Электронный ресурс]. <https://www.iucnredlist.org/species/163996/85449648> (Accessed on 12.04.2022).
- Fick S.E., Hijmans R.J. 2017. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas // Int. J. Climatology. V. 37. № 12. P. 4302. [Электронный ресурс] URL: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html> (Accessed on 20.02.2022).
- Filatov N., Baklagin V., Efremova T. et al. 2019. Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in situ data // Inland Waters Biol. V. 9. № 2. P. 130.
<https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1533355>
- Gałka A., Szmaja J. 2012. Distribution, abundance and environmental conditions of the clonal aquatic fern *Salvinia natans* (L.) All. in the Vistula delta (Baltic Sea Region) // Biodiversity Research and Conservation. V. 28. P. 45.
<https://doi.org/10.2478/v10119-012-0020-7>
- Gałka A., Szmaja J. 2013. Phenology of the aquatic fern *Salvinia natans* (L.) All. in the Vistula Delta in the context of climate warming // Limnol. V. 43. P. 100.
<https://doi.org/10.1016/j.limno.2012.07.001>
- Gillard M.B., Aroviita J., Alahuhta J. 2020. Same species, same habitat preferences? The distribution of aquatic plants is not explained by the same predictors in lakes and streams // Freshwater Biol. V. 1. P. 11.
<https://doi.org/10.1111/fwb.1347>
- Kłosowski S., Pawlikowski P., Jabłońska E., Podgórska M. 2020. Habitat conditions of the *Salvinia natans* phytocenoses in the Vistula and Odra river valleys in Poland // Tuexenia. V. 40. P. 327.
<https://doi.org/10.14471/2020.40.002>
- Kotsun L., Radzii V., Kotsun B. 2021. Spread monitoring of *Salvinia natans* (L.) All. in the Turia river within the city Kovel // Notes Curr. Biol. V. 1. № 2. P. 8.
<https://doi.org/10.29038/NCBio.21.2.8-14>
- Mucina L., Bühlmann H., Dierßen K., Tichý L. 2016. Vegetation of Europe. Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen and algal communities // Appl. Veg. Sci. V. 19. P. 3.
<https://doi.org/10.1111/avsc.12257>
- Pietryka M., Richter D., Podlaska M. 2018. The distribution of *Salvinia natans* (L.) All. in the Odra and the Oława River valleys in Wrocław area (Poland) // Biodiv. Res. Conserv. V. 49. № 1. P. 7.
<https://doi.org/10.2478/biocr-2018-0002>
- Szmaja J., Gałka-Kozak A., Styszyńska A., Marsz A. 2016. Early spring warming as one of the factors responsible for expansion of aquatic fern *Salvinia natans* (L.) All. in the Vistula delta (south Baltic Sea coast) // Plant Biosystems. V. 150. № 3. P. 532.
<https://doi.org/10.1080/11263504.2014.987189>
- Wang J., Zheng Y., Wang G. 2013. Is *Salvinia natans* (L.) All. a Water Quality Improver? // Asian Journal of Chemistry. V. 25. № 11. P. 6159.
<https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14297>
- Wang T., Dou H., Liu C., Yu D. 2021. Decoupling between plant growth and functional traits of the free-floating fern *Salvinia natans* under shifted water nutrient stoichiometric regimes // Flora. V. 281.
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151876>

Is Aquatic Fern *Salvinia natans* (Salviniaceae) Rare in Russia?

N. K. Konotop^{1, 2}, Yu. S. Vinogradova^{1, 2}, E. V. Chemeris^{1, *}, and A. A. Bobrov^{1, 3}

¹Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences,
 Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia

²Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia

³Tyumen State University, AquaBioSafe, Tyumen, Russia

*e-mail: lechem@ibiw.ru

According to publication and literature, herbarium data, materials of Internet resources, the change in distribution of aquatic fern *Salvinia natans* (Salviniaceae) on Russian territory was traced since the beginning of XX century until 2021, and the current boundaries of its range were determined. Among the bioclimatic and temperature indicators that determine the distribution of *S. natans*, the minimum and maximum temperatures in October and January and the maximum temperatures in April and July showed the highest statistical significance, which is associated with important stages of the life cycle of *S. natans*. Comparison of species localities with climatic and temperature indicators for the time periods of 1960–1969, 2010–2018, 2011–2021 showed that up to 2021 in the European part, West Siberia, and the Far East there was significant spreading of *S. natans* to the north (more than 200 km). A notable increase in the number of records of the species has been found since the 2000s in different regions. For example, in the Ivanovo Region from 2018 to 2021 their number has increased more than three times. The expansion of the species occurs against the background of a noticeable increase in average annual temperatures and changes in other bioclimatic indicators. If present temperature trends continue, *S. natans* will expand its range even further north, east, and west in European Russia, north and west in West Siberia and the Far East. Due to the ongoing expansion of *S. natans*, the premises for the exclusion of the species from a number of regional Red Data Books were discussed.

Keywords: aquatic plants, climate change, Red Data Books, protected species, new records, distribution, Ivanovo Region