

В. Н. Рябова, В. А. Васильева

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПРУДОВ ЛУГОВОГО ПАРКА (ВОДОПОДВОДЯЩАЯ СИСТЕМА ФОНТАНОВ г. ПЕТЕРГОФА)

Изучены характер и масштабы естественного восстановления растительности в двух рекультивированных прудах Лугового парка (водоподводящая система фонтанов г. Петергофа). Приводится список видов высших водных растений исследованных водоемов. Установлено, что в обоих прудах эффективность рекультивации в отношении борьбы с зарастанием и улучшения качества воды низка. Наблюдается массовое развитие высших водных растений и нитчатых водорослей, связанное с продолжающимся поступлением в пруды загрязненных вод с водосбора. Реальный путь снижения антропогенной нагрузки на водоподводящую систему г. Петергофа — создание комплексного природного заказника регионального значения на территории ее водосбора. Библиогр. 31 назв. Ил. 1. Табл. 5.

Ключевые слова: рекультивированные пруды, восстановление растительности, макрофиты, антропогенное воздействие, трофический уровень, уровень сапробности, виды-индикаторы.

VEGETATION RESTORATION IN RECULTIVATED PONDS OF THE LUGOVOY PARK (PETERGOF'S FOUNTAINS WATER SUPPLY SYSTEM)

V. N. Ryabova, V. A. Vasilieva

St. Petersburg State University, 7/9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation; a-mar-41@mail.ru, was.spb@mail.ru

We studied the features and scale of vegetation self-restoration in two recultivated ponds of the Lugovoy park (Petershof's fountains water supply system). A list of macrophyte species found in the ponds is produced. We report that effectiveness of recultivation measures in relation to control of plant overgrowth and water quality improvement is low. Excessive growth of aquatic plants and filamentous algae, due to continuous influx of polluted drainage waters, is recorded. In order to decrease anthropogenic impact on the Petershof's water supply system, a complex Nature reserve of the regional significance should be created on the territory of its drainage basin. Refs 31. Figs 1. Tables 5.

Keywords: recultivated ponds, vegetation restoration, macrophyte, anthropogenic impact, trophic level, saprobe level, index-species.

Водные объекты Лугового парка — важнейшие элементы водоподводящей системы фонтанов (ВПСФ) г. Петергофа — уникальной самотечной гидросистемы, состоящей из 37 основных водных элементов: 12 рек и ручьев, 9 каналов, 16 прудов. Протяженность всех водотоков составляет 56 км; площадь зеркала прудов — 97 га; общий полный объем прудов — 1411 тыс. м³. Самый крупный водоток в составе системы — расположенная в Ленобласти и принимающая родниковый сток многочисленных ручьев р. Шинкарка (рыбохозяйственный водоем первой категории). На территории ее водосборного бассейна находится Луговой парк с достаточно протяженным участком Петергофского водовода, а также каскад связанных между собой соединительными каналами многочисленных прудов-водохранилищ. В состав каскада входят два исследованных авторами пруда — Церковный и Бабигонский, а также Руинный, Саперный, Орлиный, Запасный и др. (рисунок).

В. Н. Рябова (a-mar-41@mail.ru), В. А. Васильева (was.spb@mail.ru): Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

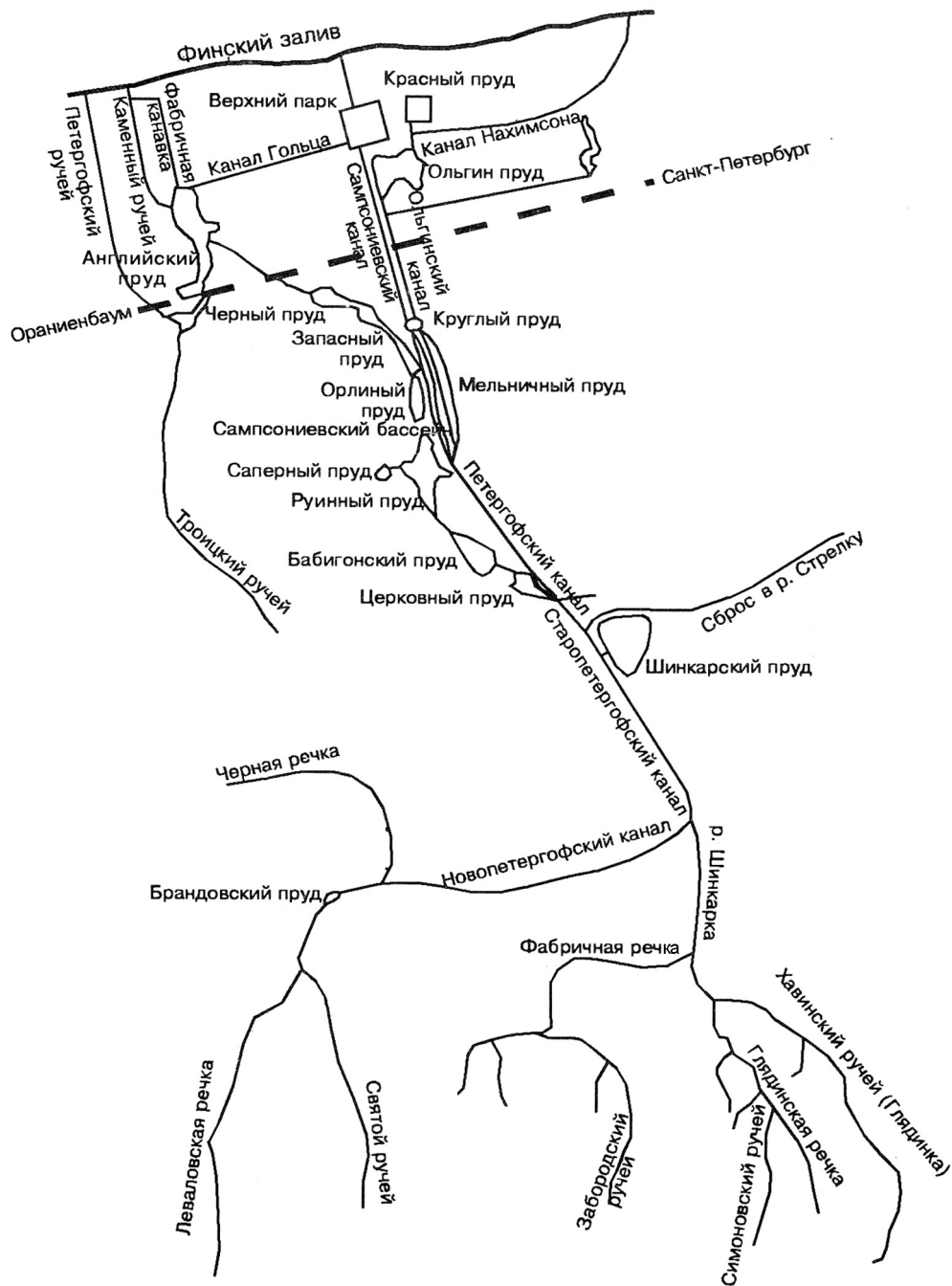


Схема водоподводящей системы фонтанов г. Петергофа

Основное назначение системы — обеспечение гарантированной подачи воды, пригодной для питьевого водоснабжения, всем расположенным на ее водосборе и за его пределами потребителям, важнейший из которых ГМЗ «Петергоф» с каскадами и фонтанами его дворцового комплекса.

Помимо водоснабжения большинство прудов ВПСФ г. Петергофа, расположенных в садово-парковой зоне или внутри жилых кварталов города, представляют ценность как ландшафтные водоемы и (или) относятся к категории рекреационных.

Более полувека, с 60-х годов XX столетия, практически все водные объекты ВПСФ г. Петергофа постоянно испытывают антропогенное воздействие различной природы и интенсивности, что негативно отражается на качестве воды, используемой для водоснабжения фонтанов и питьевого водоснабжения, а также на экологическом и техническом состоянии самой гидросистемы.

Широкомасштабные природовосстановительные работы, развернутые на прудах Лугового парка: Церковном — в 2009 г. и Бабигонском — в 2009–2010 гг. [1], явились продолжением комплекса мероприятий по восстановлению и оздоровлению прудов западной ветви ВПСФ г. Петергофа в 2004–2005 гг., что и определило основные направления предлагаемого исследования.

Главные цели данной работы:

1) изучение особенностей естественного зарастания аккумуляционно-транзитных прудов-водохранилищ Лугового парка при широкомасштабных природовосстановительных работах;

2) оценка эффективности осуществленных водоохранных мероприятий.

Материал и методика

Зарастание прудов ВПСФ г. Петергофа изучалось авторами в разные этапы их существования: до рекультивации и на начальном ее этапе — в Церковном и Бабигонском прудах (2005–2006, 2009, условно «фоновое» состояние); после природовосстановительных работ с первых лет заполнения водоемов (т. е. на начальной стадии восстановительной сукцессии) — в Церковном (2010–2011, первый и второй вегетационный сезоны) и Бабигонском (2011, первый вегетационный сезон).

При полевых исследованиях учитывали: видовой состав и обилие прибрежно-водных растений (гелофиты и сопутствующие), растений с плавающими ассимиляционными органами (плейстофиты) и погруженных растений (гидатофиты); характер распределения в зависимости от неоднородности экологических условий в разных частях водоемов; степень зарастания водоемов.

Латинские названия видов указаны в соответствии со сводкой С. К. Черепанова [2]. Приведены также наиболее распространенные русские названия [3].

Основные эколого-биологические группы высших водных растений указаны в соответствии с классификацией И. М. Распопова [4].

Для экспресс-учета обилия видов применяли визуальную шкалу [5].

Для гидроботанической индикации пользовались списками видов-индикаторов трофических условий в водоемах [6–10] и списками индикаторов сапробности [9–15].

Для количественной оценки близости флористического состава акваторий Церковного и Бабигонского прудов до и после рекультивации использовали индекс сходства Сёренсена [16]

$$K_s = 2c/(a+b),$$

где a и b — число видов в описаниях a и b ; c — число общих видов.

Для предварительной экспертной оценки характера и скорости восстановления растительного покрова в ходе рекультивации на обоих прудах выполнена фотофиксация зарастания наиболее репрезентативных участков водного зеркала и прибрежных мелководий (более 500 фотографий).

Краткая характеристика исследованных водоемов

Краткая характеристика исследованных водоемов, включающая главные морфометрические, эксплуатационные и другие характеристики [1, 17, 18], представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика прудов водоподводящей системы фонтанов (ВПСФ) г. Петергофа в Луговом парке

Параметры	Церковный пруд	Бабигонский пруд
Площадь зеркала, тыс. м ²	37,5	102
Объем, тыс. м ³	6,43	5,89
Ширина прибрежной полосы, м (лев/прав)	100/15	15/50
Происхождение	Искусственное	Естественное
Тип проточности	Проточный	Проточный
Тип водопользования	Рекреация	Ландшафтный водоем, рекреация
Уровень загрязнения (сапробность), S (до рекультивации)	Бета-мезосапробные, умеренно-загрязненные воды 2,40	Бета-мезосапробные, умеренно-загрязненные воды 1,97
Мощность ила, м (до рекультивации)	0,33	0,06
Объем очистных работ, тыс.м ³	19,0	
Плановые и фактические сроки очистки и восстановления водных объектов, годы	2009/2009	2009–2010/2009–2010

П р и м е ч а н и е. S – индекс сапробности по шкале Сладечека [9, 18].

На территории Лугового (Озеркового) парка верхними в каскаде прудов ВПСФ г. Петергофа являются расположенные у основания Бабигонской возвышенности пруды Церковный и Бабигонский. Оба пруда вытянуты с юго-востока на северо-запад, берега слабо изрезанные, имеются затишные места, нарастание глубины от берега постепенное.

Естественный Бабигонский пруд используется для водоснабжения фонтана «Самсон» и фонтанов Верхнего парка с 1735 г. В 1853 г. с той же целью выкопали

Церковный пруд [19]. Путь воды к фонтанам начинается от карстовых родников северной краевой части Ижорского плато. Воды источников имеют слабощелочную реакцию, тип воды гидрокарбонатно-кальциево-магниевый, минерализация составляет 0,3–0,4 г/л, общая жесткость 5,3–5,5 мг-экв/л. В водах родников содержание нитратов достигает 20 мг/л, а в прудах снижается до 3 мг/л [20, 21].

Благодаря системе шлюзов на Петергофском канале-водоводе и всех прудах ВПСФ осенью и зимой воду из прудов спускают до самого низкого уровня, а летом в многоводные и средние по водности годы они могут наполняться почти вровень с берегами. Однако до рекультивации глубины почти всех прудов не превышали двух метров.

Поступающая на фонтаны вода периодически терялась из-за ветхости водосдерживающих конструкций. ВПСФ ремонтировали в 1831–1833, 1850-х, 1934–1935, 1960-х годах.

С 60-х годов прошлого столетия, кроме необходимости регулирования стока, возникла проблема обеспечения качества воды, связанная с нарастанием антропогенного воздействия, источниками которого являлись: сельскохозяйственное производство и сельские населенные пункты Ломоносовского района Ленинградской области, коммунальное хозяйство Петродворца. Из-за низкого уровня эксплуатации пруды подвергались сильному заилению продуктами распада интенсивно развивающейся водной растительности [17].

В последнее десятилетие прошлого века на отдельных участках ВПСФ, включая пруды-накопители, прослежена возросшая нагрузка вод биогенными элементами (азотом и фосфором), которая привела к повышению трофического уровня большей части водных объектов [20, 22–25].

В целях восстановления водоподводящей системы фонтанов г. Петродворца в соответствии с «Постановлением... О плане мероприятий ...» [1], первоочередные широкомасштабные природовосстановительные работы на ВПСФ были развернуты летом 2009 г. на Церковном пруду, а зимой 2009–2010 гг. на Бабигонском. Восстановительные методы включали: отвод стока, спуск воды, углубление дна. Объем очистных работ по Церковному и Бабигонскому прудам составил 19 тыс. м³. В ходе рекультивации прудов как объектов рекреационного назначения производилось частичное восстановление береговых полос, формирование и укрепление береговых склонов, выравнивание и укрепление дна водоемов с помощью геотекстиля, георешетки и отсыпки щебнем.

Результаты и обсуждение

По материалам пятилетних исследований установлено, что в зарастании Церковного и Бабигонского прудов принимали участие более 50 видов макрофитов, относящихся к 41 роду из 33 семейств. Ведущей эколого-биологической группой являются прибрежно-водные растения (гелофиты и сопутствующие) — 36 видов. Наибольшее количество видов представлено в Церковном пруду — 51, в Бабигонском — 40.

Разнообразие условий обитания в водоемах, определяемое как особенностями гидрологических условий (морфологические особенности водоемов, динамические и химические факторы, степень проточности, донные отложения и т. п.), так

и характером и масштабами проводимых природоохранных мероприятий, находит свое отражение в видовом богатстве основных эколого-биологических групп макрофитов. Следует отметить, что деление растений на различные эколого-биологические группировки относительно условно, так как некоторые водные растения в зависимости от глубины произрастания образуют различные экологические формы.

Список наиболее характерных водных растений с указанием мест произрастания в прудах приведен в табл. 2. Поскольку в период наблюдений облик прибрежно-водной растительности нерекультивированных и рекультивированных прудов периодически был искажен таким механическим фактором, как скашивание, общий список видов растений, указанных в табл. 2, может быть неполным.

Таблица 2. Список видов макрофитов Церковного и Бабигонского прудов до и после рекультивации

I. Прибрежно-водные растения (гелофиты и сопутствующие)

№ п/п	Виды	Церковный пруд			Бабигонский пруд	
		Ф	1-й ВС	2-й ВС	Ф	1-й ВС
1	2	3	4	5	6	7
	Сем. Alismataceae					
1	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	+	+	+	+	+
2	<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.	+	-	+	+	-
	Сем. Apiaceae					
3	<i>Archangelica officinalis</i> Hoffm.	+	-	-	+	-
4	<i>Cicuta virosa</i> L.	+	-	+	+	+
	Сем. Asteraceae					
5	<i>Bidens cernua</i> L.	-	-	+	-	-
6	<i>B. tripartita</i> L.	+	-	+	-	-
7	<i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.	+	-	+	+	+
	Сем. Boraginaceae					
8	<i>Myosotis palustris</i> (L.) L.	-	-	+	-	-
	Сем. Cyperaceae					
9	<i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem et Schult.	-	-	+	-	-
10	<i>Carex acuta</i> L.	+	-	-	+	-
11	<i>C. rostrata</i> Stokes	+	-	-	+	-
12	<i>Scirpus lacustris</i> L.	+	+	+	+	+
13	<i>S. sylvaticus</i> L.	+	-	-	+	-
	Сем. Equisetaceae					
14	<i>Equisetum fluviatile</i> L.	+	+	+	+	+
	Сем. Hippuridaceae					
15	<i>Hippuris vulgaris</i> L.	+	-	-	+	-

1	2	3	4	5	6	7
	Сем. Juncaceae					
16	<i>Juncus articulatus</i> L.	-	-	+	-	-
17	<i>J. filiformis</i> L.	-	-	+	-	-
	Сем. Lamiaceae					
18	<i>Lycopus europaeus</i> L.	+	-	+	+	+
19	<i>Mentha arvensis</i> L.	+	+	+	+	+
20	<i>Scutellaria galericulata</i> L.	+	-	+	+	+
	Сем. Lythraceae					
21	<i>Lythrum salicaria</i> L.	+	-	+	+	+
	Сем. Onagraceae					
22	<i>Epilobium hirsutum</i> L.	+	-	+	+	+
23	<i>E. palustre</i> L.	+	-	+	+	+
	Сем. Primulaceae					
24	<i>Lysimachia vulgaris</i> L.	+	-	-	+	-
	Сем. Poaceae					
25	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	+	+	+	+	+
26	<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	+	-	+	+	+
	Сем. Polygonaceae					
27	<i>Polygonum amphibium</i> L.	+	-	+	-	-
28	<i>Rumex aquaticus</i> L.	+	-	+	-	-
	Сем. Ranunculaceae					
29	<i>Caltha palustris</i> L.	+	-	+	+	+
30	<i>Thalictrum lucidum</i> L.	+	-	-	+	-
	Сем. Rosaceae					
31	<i>Filipendula denudata</i> (J. et C. Presl) Fritsch	+	-	-	+	-
	Сем. Rubiaceae					
32	<i>Galium palustre</i> L.	+	-	+	-	-
	Сем. Scrophulariaceae					
33	<i>Veronica beccabunga</i> L.	+	+	+	-	-
	Сем. Sparganiaceae					
34	<i>Sparganium erectum</i> L.	+	+	+	+	-
	Сем. Typhaceae					
35	<i>Typha latifolia</i> L.	+	+	+	+	+
	Сем. Valerianaceae					
36	<i>Valeriana officinalis</i> L.	+	-	-	+	-

II. Растения с плавающими ассимиляционными органами (плейстофиты)

№ п/п	Виды	Церковный пруд			Бабигонский пруд	
		Ф	1-й ВС	2-й ВС	Ф	1-й ВС
	Сем. Lemnaceae					
1	<i>Lemna minor</i> L.	+	+	+	+	+
2	<i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleid.	+	-	-	+	-
	Сем. Nymphaeaceae					
3	<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith *	+	-	-	+	+
4	<i>Nymphaea candida</i> Presl *	-	-	-	+	-
	Сем. Potamogetonaceae					
5	<i>Potamogeton natans</i> L. *	+	+	+	+	-
	Сем. Sparganiaceae					
6	<i>Sparganium emersum</i> Rehm. *	+	+	+	+	-

III. Погруженные растения (гидатофиты)

№ п/п	Виды	Церковный пруд			Бабигонский пруд	
		Ф	1-й ВС	2-й ВС	Ф	1-й ВС
	Сем. Haloragaceae					
1	<i>Myriophyllum spicatum</i> L. *	+	+	+	+	-
	Сем. Hydrocharitaceae					
2	<i>Elodea canadensis</i> Michx. *	+	+	+	+	-
	Сем. Lemnaceae					
3	<i>Lemna trisulca</i> L.	+	-	-	-	-
	Сем. Lentibulariaceae					
4	<i>Utricularia vulgaris</i> L.	+	+	+	+	-
	Сем. Potamogetonaceae					
5	<i>Potamogeton crispus</i> L. *	+	+	+	+	-
6	<i>Potamogeton pectinatus</i> L. *	+	+	+	+	+
7	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L. *	+	+	+	+	+
	Сем. Ranunculaceae					
8	<i>Batrachium circinatum</i> (Sibth.) Spach *	+	+	+	+	+
	Сем. Zannichelliaceae					
9	<i>Zannichellia palustris</i> L. *	-	-	+	-	-
	Сем. Characeae					
10	<i>Chara vulgaris</i> L.	-	-	+	+	-

Примечание. * — укорененные плейстофиты и укорененные гидатофиты в разделах II и III соответственно. Ф — условно «фоновый» период (2005–2006, 2009 гг.), 1-й ВС — первый вегетационный сезон: Церковный пруд — 2010 г.; Бабигонский — 2011 г., 2-й ВС — второй вегетационный сезон: Церковный пруд — 2011 г. (то же для табл. 3–5).

Большинство из зарегистрированных водных растений было представлено широко распространенными, в основном длиннокорневищными многолетниками, отличающимися достаточно широкой экологической амплитудой и способными к активному вегетативному размножению.

Как известно, успешность зарастания техногенно нарушенных территорий (акваторий) зависит не столько от большого числа видов, заселяющих нарушенные территории, сколько от массовых видов, которые формируют основу растительного покрова. Кроме того, для формирования растительности водохранилищ (или рекультивированных водоемов) важное значение имеет наличие зачатков водной растительности на залитой водой территории или их поступление со стоком из вышележащих участков гидросистемы [9, 26, 27].

Количество видов основных эколого-биологических групп водных макрофитов до и после рекультивации в Церковном и Бабигонском прудах представлено в табл. 3.

Таблица 3. Количество видов макрофитов Церковного и Бабигонского прудов до и после рекультивации

Эколого-биологические группы	Церковный пруд			Бабигонский пруд	
	Ф	1-й ВС	2-й ВС	Ф	1-й ВС
Гелофиты и сопутствующие	31	8	27	26	15
Плейстофиты	5	3	3	6	2
Гидатофиты	8	7	9	8	3
Общее число видов	44	18	39	40	20

Для сравнения укажем, что в небольшом (площадь водного зеркала 12 тыс. м²), расположенном на заболоченном водосборе Троицкого ручья и принимающем его сток, рекультивированном Черном пруду (западная ветвь ВПСФ) в зарастании участвовали: в первый вегетационный сезон (2006) — 7 видов водных высших растений, во второй (2007) — 28, в третий (2008) — 34 [27]. Для Черного пруда уже к концу первого вегетационного периода зарегистрирован факт быстрого развития гидатофитов. Низкое видовое разнообразие было вызвано агрессивным развитием одного вида — бета-мезосапроба и эвтрафента элодеи канадской, чистые заросли которой опоясывали периметр пруда шириной от одного до трех метров.

Церковный пруд. Изучение зарастания Церковного пруда проводилось в течение 5 лет (2005–2006, 2009–2011). В условно «фоновый» (дорекультивационный) период видовой состав макрофитов был весьма богат — 44 вида: 31 вид — прибрежно-водные растения, 5 — растения с плавающими ассимиляционными органами, 8 — погруженные растения (см. табл. 2, 3).

По периметру пруда на прибрежном мелководье из прибрежно-водных растений доминировали: ежеголовник прямой (*Sparganium erectum*), хвощ речной (*Equisetum fluviatile*), осока острая (*Carex acuta*); встречались многочисленные экземпляры тростника обыкновенного (*Phragmites australis*), двуклосточника тростникового (*Phalaroides arundinacea*), частухи подорожниковой (*Alisma plantago-aquatica*), дягиля аптечного (*Archangelica officinalis*) и др.

Наиболее характерная черта Церковного пруда — сплошное, практически 100%-ное, зарастание водного зеркала и дна массовыми видами плейстофитов и гидатофитов: произрастающими в воде на течении — рдестом плавающим (*Potamogeton natans*), ежеголовником всплывающим (*Sparganium emersum*), образующей подводные луга элодеей канадской (*Eloдея canadensis*), а также зелеными нитчатыми водорослями (*Spirogira*, *Cladophora*, *Ulothrix* и др.), как правило, свидетельствующими о высокой обеспеченности водоема биогенами и в первую очередь азотом.

Сплошное зарастание поверхности и дна водоема способствовало формированию застойных зон, замедлению водообмена, усилению вторичного (биологического) загрязнения, ускорению накопления донных отложений, нарушению эстетического восприятия водоема. Для стимуляции механизмов самоочищения водоема требовался соответствующий комплекс водоохраных мероприятий (дноочистка, дноуглубление, ландшафтная рекультивация).

По материалам исследований, проведенных в 2010 и 2011 гг., установлено, что в зарастании рекультивированного пруда приняли участие 18 и 39 видов макрофитов соответственно, из них прибрежно-водных 8 и 27, растений с плавающими ассимиляционными органами — 3 и 3, погруженных — 7 и 9.

В 2010 г., в первый вегетационный сезон после рекультивации водоема, «пионерными видами» оказались: из типично водных растений (гелофитов) — крупные и высокие: *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Scirpus lacustris*, а также довольно крупные — *Alisma plantago-aquatica*, *Sparganium erectum*, *Equisetum fluviatile*, куртинки которых начали занимать прибрежные отмели юго-восточной части пруда и западного побережья; из плейстофитов — неукорененная *Lemna minor* (в затишных местах небольшими пятнами среди гелофитов), а также немногочисленные экземпляры *Potamogeton natans* и *Sparganium emersum*; из гидатофитов — все виды, встречавшиеся в нереккультивированном пруду, за исключением предпочитающей стоячие водоемы и легко выносящейся течением *Lemna trisulca*.

В 2011 г., во второй вегетационный период после рекультивации, список макрофитов Церковного пруда увеличился еще на 21 вид, в основном за счет мозаично рассеянных на увлажненных берегах и в воде у берегов растений гигрофитов: *Cicuta virosa*, *Lythrum salicaria*, *Lycopus europaeus*, *Bidens tripartite*, *Scutellaria galericulata*, *Caltha palustris*, *Epilobium palustre* и др.

Отдельную группу составили растения, не встречавшиеся до рекультивации в составе растительных группировок: невысокие (10–60 см) корневищные многолетники: *Eleocharis palustris*, *Juncus articulatus*, *Myosotis palustris*, а также имеющий мочковатую корневую систему однолетник *Bidens cernua*.

Растения с плавающими ассимиляционными органами и погруженные растения были представлены тремя и девятью видами соответственно. По сравнению с дорекультивационным периодом, с первого вегетационного сезона видовой состав плейстофитов сократился за счет активного деструктора поллютантов многокоренника (*Spirodela polyrhiza*), а также индикатора зон со слабой гидродинамической активностью кубышки желтой (*Nuphar lutea*). Со второго вегетационного сезона в составе гидрофитов появились заннижеллия болотная (*Zannichellia palustris*) и харовые водоросли (*Chara vulgaris*), растущие в водоемах, обогащенных бикарбонатами.

Бабигонский пруд. Как показало исследование, проведенное в условно «фоновый» период (2005–2006, 2009), в зарастании нереккультивированного пруда прини-

мали участие 40 видов макрофитов: 26 — прибрежно-водные растения, 6 — растения с плавающими ассимиляционными органами, 8 — погруженные растения. Наряду с водными высшими растениями в прибрежной зоне пруда встречались харовые и нитчатые водоросли (см. табл. 2, 3).

В Бабигонском пруду по типу зарастания выделялась северная его часть. В до-рекультивационный период зарастания водной поверхности в этой части пруда не наблюдалось.

Из прибрежно-водных растений почти по всему периметру пруда, и особенно в его южной части, принимающей сток из Церковного, сформировались густые заросли *Phragmites australis*, в центре и мозаично по акватории сильно разросся *Scirpus lacustris* (островками), на левобережном мелководье — *Equisetum fluviatile*, *Sparganium erectum*, *Carex acuta*.

Из растений с плавающими ассимиляционными органами на большей части акватории доминировал *Potamogeton natans*, довольно часто и в массе встречались *Nuphar lutea* и *Sparganium emersum*.

В толще воды наибольшего развития достигали гидрофиты: *Myriophyllum spicatum*, *Elodea canadensis*, а также крупнолистный и широколистный рдесты (*Potamogeton crispus* и *P. perfoliatus*).

В пользу реконструкции Бабигонского пруда свидетельствовали те же факты, что и для Церковного: зарастание дна, ухудшение водообмена, вторичное (биологическое) загрязнение, снижение эстетической ценности водоема.

В 2011 г., в первый вегетационный сезон после рекультивации, первыми поселенцами оказались 20 видов макрофитов, из них: прибрежно-водных — 15, плейстофитов — 2, гидатофитов — 3 (см. табл. 2, 3).

Сравнение списков видов прибрежно-водных растений в нерекультивированном Бабигонском пруду и после завершения широкомасштабных природовосстановительных работ показало, что общими видами являются начавшие активно занимать прежние местообитания земноводные растения — *Phragmites australis*, *Equisetum fluviatile*, *Scirpus lacustris*, *Typha latifolia*, *Alisma plantago-aquatica* и растения гигрофиты — *Cicuta virosa*, *Lythrum salicaria*, *Lycopus europaeus*, *Scutellaria galericulata*, *Epilobium palustre* и др. (см. табл. 2).

Зарегистрирован факт снижения видового разнообразия для плейстофитов с шести видов до двух (*Lemna minor*, *Nuphar lutea*); для гидатофитов — с семи видов до трех (*Batrachium circinatum*, *Potamogeton perfoliatus*, *P. pectinatus*).

Для более объективной оценки сходства видовых списков гелофитов, плейстофитов и наиболее тесно связанных с водной средой гидатофитов Церковного пруда в условно «фоновый» (дорекультивационный) период и по завершении природовосстановительных работ (в первый и второй вегетационные сезоны), применен коэффициент сходства Сёренсена (табл. 4).

Анализ вторичных матриц позволил установить, что для прибрежно-водных растений наиболее высокие коэффициенты сходства получены между «фоновыми» данными и вторым вегетационным сезоном ($K_s = 0,76$) (табл. 4, А); для растений с плавающими ассимиляционными органами — между первым и вторым вегетационными сезонами ($K_s = 1,00$) (табл. 4, Б); для погруженных растений — между фоновыми данными и первым вегетационным сезоном ($K_s = 0,93$) (табл. 4, В).

Таблица 4. Вторичные матрицы для гелофитов (А), плейстофитов (Б), гидатофитов (В) по индексу сходства Сёрнсена

А

	Ф	1-й ВС	2-й ВС
Ф	–		
1-й ВС	0,41	–	
2-й ВС	0,76	0,46	–

Б

	Ф	1-й ВС	2-й ВС
Ф	–		
1-й ВС	0,75	–	
2-й ВС	0,75	1,00	–

В

	Ф	1-й ВС	2-й ВС
Ф	–		
1-й ВС	0,93	–	
2-й ВС	0,82	0,88	–

Для коэффициентов сходства видовых списков основных эколого-биологических групп макрофитов между «фоновыми» данными и вторым вегетационным сезоном можно составить ряд по убыванию: $K_s = 0,82$ — для гидатофитов; $K_s = 0,76$ — для гелофитов; $K_s = 0,75$ — для плейстофитов (см. табл. 4).

Таким образом, анализ вторичных матриц свидетельствует о том, что рекультивационные мероприятия меньше всего отразились на видовом разнообразии погруженных растений, и несколько более значительно на прибрежно-водных растениях и растениях с плавающими ассимиляционными органами.

Для Бабигонского пруда попарное сравнение видовых списков основных эколого-биологических групп макрофитов, выполненное также с помощью коэффициентов сходства Сёрнсена, позволило установить, что в первый вегетационный сезон рекультивационные мероприятия меньше всего отразились на видовом разнообразии гелофитов и сопутствующих — $K_s=0,73$; для плейстофитов и гидатофитов — $K_s=0,50$ и $0,55$ соответственно.

Основываясь на исследованиях авторов по зарастанию естественных и техногенно трансформированных водоемов можно утверждать, что и Церковный, и Бабигонский пруды-накопители относятся к водоемам с весьма благоприятными условиями для восстановления и развития макрофитов. Средняя глубина прудов около 2 м, в то время как нижней границей расселения высших водных растений на многих водохранилищах бывшего СССР является глубина 2–2,5 м и более [9, 28, 29].

Развитию и размещению растительности в прудах способствует неоднородность экологических условий различных их частей, наличие затишных участков и проточности, тип донных отложений, химические факторы, включая повышенное содержание биогенных элементов, поступающих в ВПСФ с ключевой водой в зоне выклинивания ордовикского водоносного горизонта и вымываемых в пределах зоны поверхностного водосбора из окультуренных земель, и т. п. [20, 27].

В Церковном пруду тип зарастания в конце второго вегетационного сезона после рекультивации больше соответствовал переходному от фрагментарного к бордюроному, так как водные растения размещались практически вдоль всей линии берега. В центральной части водного зеркала Церковного пруда были видны пятна растений с плавающими листьями — в основном *Potamogeton natans*.

Тип зарастания, отражающий картину размещения растительности в Бабигонском пруду в конце первого вегетационного сезона после рекультивации, оценивается как рассеянно-пятнистый или фрагментарный.

Степень зарастания обоих прудов по пятиразрядной шкале [9] соответствует второй группе (зарастание небольшое, 3–10%).

Новые биотопы успешно освоили растения с быстрым ростом и высокой скоростью вегетативного размножения. Анализ размещения ранних сукцессионных видов показал, что наиболее активно заселяют оба рекультивированных пруда следующие виды: из гелофитов — *Phragmites australis*, *Equisetum fluviatile*, *Alisma plantago-aquatica*, *Typha latifolia*, *Scirpus lacustris*; из плейстофитов — *Lemna minor*; из гидатофитов — *Potamogeton perfoliatus*, *P. pectinatus*, *Batrachium circinatum*; Церковный пруд — *Sparganium erectum*, *Potamogeton natans*, *Sparganium emersum*, *Elodea canadensis*, *Myriophyllum spicatum*, *P. crispus*, *Utricularia vulgaris*; Бабигонский пруд — *Nuphar lutea* (табл. 5).

Таблица 5. Визуальная оценка обилия ранних сукцессионных видов рекультивированных прудов Лугового парка (выборка)

Виды	Церковный пруд		Бабигонский пруд
	1-й ВС (2010)	2-й ВС (2011)	1-й ВС (2011)
<i>Гелофиты</i>			
<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	++	++	+
<i>Equisetum fluviatile</i> L.	++	++	++
<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex Steud.	++	++	++
<i>Typha latifolia</i> L.	++	++	+
<i>Scirpus lacustris</i> L.	+	++	+
<i>Sparganium erectum</i> L.	++	++	-
<i>Плейстофиты</i>			
<i>Lemna minor</i> L.	++	++	+
<i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith	-	-	++
<i>Potamogeton natans</i> L.	++	+++	-
<i>Sparganium emersum</i> Rehm.	++	++	-
<i>Гидатофиты</i>			
<i>Batrachium circinatum</i> (Sibth.) Spach	+	++	+
<i>Elodea canadensis</i> Michx.	++	+++	-
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	+	++	-
<i>Potamogeton crispus</i> L.	++	+++	-
<i>P. pectinatus</i> L.	++	++	++
<i>P. perfoliatus</i> L.	++	+++	++
<i>Utricularia vulgaris</i> L.	+	++	-

Примечание. «+» — отдельные экземпляры; «++» — немного; «+++» — много.

Еще одна отличительная черта обоих рекультивированных прудов Лугового парка — наличие на погруженных макрофитах зеленых нитчатых водорослей (*Stigyclonium tenue*, *Vaucheria geminata*, *Cladophora glomerata*, *Spirogyra* sp.), появляющихся в результате повышенного поступления биогенов с водосбора.

Литературные источники свидетельствуют, что погруженная растительность наиболее отражает общее состояние водоема и изменения экологических условий в нем. Она особенно тесно связана с окружающей водной средой и меньше других подвергается мешающим механическим факторам (влиянию ветра и волнения, прямому воздействию животных и человека). Большую роль при биоиндикации вод играет наличие определенных видов-индикаторов, позволяющих в первом приближении при визуальном обследовании водоема определить его статус [6, 7].

Как видно из табл. 5, в погруженной растительности обоих рекультивированных прудов процветают элодеиды — высокорослые растения, в той или иной степени прикрепленные ко дну и поднимающие свои верхушки к поверхности воды. Элодеиды характеризуются интенсивным ростом и, соответственно, интенсивным обменом веществ и повышенными требованиями относительно содержания минеральных веществ в воде и грунтах.

Пруды Лугового парка, питающиеся жесткими (известковыми) водами многочисленных ключей в верховьях ВПСФ, как раз и соответствуют необходимым условиям.

При использовании погруженных растений как экспресс-индикаторов степени загрязнения вод органическими веществами установлено, что все обнаруженные ранние сукцессионные виды гидатофитов являются индикаторами сапробности.

Бета-мезосапробами являются: *Potamogeton perfoliatus* (индикаторная значимость вида $s = 1,7$; индикаторный вес $J = 4$), *Potamogeton crispus* ($s = 1,8$; $J = 4$), *Elodea canadensis* ($s = 1,85$; $J = 3$), обилие которых в Церковном пруду во второй вегетационный сезон может быть оценено как много (+++).

За исключением альфа-мезосапроба (альфа-бета-мезосапроба) *Potamogeton pectinatus* ($s = 2,6$; $J = 3$), представленного в обоих прудах немногочисленными экземплярами (++) , менее обильные виды — *Myriophyllum spicatum* ($s = 1,8$; $J = 4$), *Utricularia vulgaris* ($s = 1,8$; $J = 4$), *Batrachium circinatum* также относятся к группе видов, которые лучше развиваются в умеренно загрязненных водах третьего класса качества.

Оценивая трофический уровень Церковного и Бабигонского прудов следует подчеркнуть, что большинство элодеидов известно как «эвтрафенты» (термин Linkola, 1933; цит. по: А. А. Мязметс [6]). Некоторые из них, например, встречающиеся в обоих прудах *Elodea canadensis*, *Potamogeton crispus*, *Batrachium circinatum* и, в известной степени, *Potamogeton pectinatus* наиболее интенсивно развиваются в водоемах, испытывающих постоянный, но умеренный приток биогенных веществ. Именно в таких водоемах они встречаются в наибольшем количестве. Благоприятные условия для произрастания на отдельных участках Церковного пруда находят и индикатор накопления органических соединений в донных отложениях — *Utricularia vulgaris*. В то же время в рекультивированном Церковном пруду привлекает внимание появление харовых водорослей, развитие и распространение которых ограничивается содержанием фосфора в воде более 20 мкг/л [10]. Таким образом, перечисленные ранние сукцессионные виды (растения-индикаторы) в основном указывают на мезотрофию и эвтрофию изученных Церковного и Бабигонского прудов.

Среди «пионерных» видов плейстофитов общим для Церковного и Бабигонского прудов является лишь один общепризнанный индикатор изменения качества воды, представленный немногочисленными экземплярами (++) бета-мезосапроб и эвтрафент ряска малая (*Lemna minor*) ($s = 2,25$; $J = 3$) (см. табл. 5).

По мнению ряда авторов, именно лемниды, с одной стороны, наиболее тесно связаны с содержанием биогенов в воде и могли бы быть отличными показателями состояния водоема, но с другой — их редкость в эвтрофных водоемах может объясняться либо слабой минерализацией воды, либо чувствительностью к волнению [6, 9].

Обнаруженные в Церковном пруду *Potamogeton natans* ($s = 2$) и в Бабигонском — *Nuphar lutea* ($s = 2$) — бета-мезосапробы, тяготеют к эвтрофным водоемам, вода которых имеет повышенную минерализацию и обогащена биогенами. Существенными факторами для этих видов также являются защищенность от волнения и ветра и характер грунта.

Преимущественное развитие в обоих прудах ранних сукцессионных видов — бета-мезосапробов позволяет ориентировочно классифицировать воды рекультивированных Церковного и Бабигонского прудов как умеренно загрязненные 3-го класса качества.

Принимая во внимание, что еще в начале 1990-х годов с использованием организмов отдельных экологических группировок (фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос) как индикаторов степени загрязнения вод органическими веществами, было установлено, что ниже шлюза Шинкарского пруда большинство водотоков и водоемов имели индекс сапробности в диапазоне 1,6–2,5 — бета-мезосапробные умеренно загрязненные воды 3-го класса качества [18, 24].

Оценивая характер происходящих в рекультивированных прудах изменений, нельзя не учесть, что и через два десятилетия, по крайней мере, на начальном этапе восстановительной сукцессии, уровень загрязнения прудов органическими веществами остается прежним.

Говоря о гелофитах — пионерах зарастания обоих рекультивированных прудов, подчеркнем, что они представлены широко распространенными многолетними корневищными растениями, несмотря на дноочистку и дноуглубление активно занимающими свои бывшие местообитания в прибрежье и по всей акватории Церковного и Бабигонского прудов. Растут до глубины: 0,3–0,5 м — *Alisma plantago-aquatica*; 1 м — *Equisetum fluviatile*, *Sparganium erectum* (в Церковном пруду); 1,5–2 м — *Typha latifolia*, *Scirpus lacustris*; глубина, на которую распространяется *Phragmites australis* достигает 2–3 м.

Хорошо известно, что процесс развития сообщества в мелководных экосистемах (прудах и небольших озерах) обычно осложняется сильным притоком веществ и энергии, который может ускорить, остановить или повернуть вспять нормальное течение развития сообщества, т. е. такое развитие, какое наблюдалось бы без этого сильного аллогенного воздействия [30].

Поскольку после рекультивации биогены в Церковный пруд поступают извне со стоком Петергофского канала, а в Бабигонский — из вышележащего Церковного, процесс развития растительных сообществ в этих водоемах представляет собой сложное взаимодействие аутогенной (самопорождающейся) и аллогенной (порожденной извне) сукцессии.

Переходя к обсуждению эффективности осуществленных на прудах ВПСФ оздоровительных мероприятий, следует подчеркнуть, что на обоих прудах основной объем работы был выполнен на геотехнической стадии и включал наиболее распространенные на сегодняшний день дноочистку и частичное дноукрепление. Однако

из литературных источников известно [5], что во многих случаях перечисленные меры не приводят к ожидаемому улучшению экологического состояния водоема, так как часто величина поступления загрязняющих и биогенных веществ из донных отложений в водную массу водоема незначительна по сравнению с поступлением из других источников, таких как склоновый сток, атмосферные выпадения, а в случае ВПСФ — из вышележащих участков гидросистемы.

Выводы

1. Процессы активного зарастания Церковного и Бабигонского прудов-водохранилищ зарегистрированы с первого вегетационного сезона после рекультивации. Оба пруда оказались водоемами с благоприятными условиями для восстановления и развития водных макрофитов.

2. Быстрое зарастание обоих прудов обусловлено комплексом факторов:

- особенностями гидролого-гидрохимического режима водоема, формирующегося под влиянием Ижорского месторождения подземных вод (высокое содержание минеральных и органических соединений, слабая защищенность от поверхностного загрязнения);
- составом и объемами работ на геотехнической стадии рекультивации (оздоровительные мероприятия, примененные городскими службами — дноочистка и частичное дно- и берегоукрепление);
- отсутствием изоляции от нерекультивированных вышерасположенных участков ВПСФ (через систему шлюзов пруды Лугового парка периодически принимают воды множества рек, ручьев, а также двух прудов: Шинкарского — на водосборе рек Шинкарки и Брандовского — на водосборе Леваловской речки и Святого ручья);
- наличием источников формирования водной растительности (практически постоянный приток воды из Петергофского канала в пруды Лугового парка, нерекультивированные участки береговой линии Церковного и Бабигонского прудов, участки рекультивированных прудов с произрастающими на них растениями).

3. Пионерами зарастания Церковного и Бабигонского прудов являются многолетние растения с быстрым ростом и высокой скоростью вегетативного размножения: ряска малая, элодея канадская, а также многолетние растения, способные образовывать густые заросли и обладающие длинными, ползучими корневищами: рдест плавающий, рдест курчавый, рдест стеблеобъемлющий, хвощ речной, тростник обыкновенный.

4. Учитывая тип водопользования прудов (ландшафтный и (или) рекреационный) можно отметить, что эффективность рекультивации в отношении борьбы с зарастанием, а также удовлетворения эстетических потребностей человека низка. Наряду с нитчатками, это касается пионерных видов высокорослых гидатофитов, во время цветения которых (июнь—август) их генеративные органы поднимаются из воды над зеркалом обоих рекультивированных прудов как в прибрежье, так и в центральной части.

5. При разработке стратегии водоохраных мероприятий необходимо иметь в виду, что первоочередной мерой должна быть не ликвидация негативных для во-

доема последствий антропогенного воздействия, а устранение причин приведших к ним. Рассматриваемая проблема может быть решена лишь в результате реализации комплекса мер как на водосборном бассейне (внешние меры), так и в самом водоеме (внутренняя мера). По нашему мнению, реальный путь снижения антропогенной нагрузки на ВПСФ г. Петергофа был намечен еще в конце 1990-х годов [31] — создание комплексного (ландшафтного) государственного природного заказника.

Литература

1. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 09.10.2008 №1255. О Плате мероприятий по восстановлению водоподводящей системы фонтанов г. Петродворца на 2009–2011 годы. URL: <http://www.bestprav.ru/leningradskaya/dg-instrkcii/f3g.htm> (дата обращения: 15.05.2014).
2. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб., 1995. 900 с.
3. Определитель высших растений Северо-Запада европейской части РСФСР / под ред. С. А. Мияева, Н. И. Орловой, В. М. Шмидта. Л., 1981. 376 с.
4. Распов И. М. Высшая водная растительность больших озер Северо-Запада СССР. Л., 1985. 200 с.
5. Румянцев В. А., Игнатова Н. В. Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на водоемах. СПб.: ВВМ, 2006. 152 с.
6. Мязметс А. А. Изменения высшей водной растительности // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 77–85.
7. Семин В. А., Фрейндлинг А. В. Макрофиты и их место в системе экологического мониторинга // Научные основы биомониторинга пресноводных экосистем. Тр. сов.-франц. симпозиума. Астрахань, 9–12 сентября 1988 г. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 95–104.
8. Фрейндлинг А. В. К вопросу использования макрофитов как индикаторов качества вод (на примере озер южной Карелии) // Научные основы контроля качества вод по гидробиологическим показателям. Тр. Всесоюз. конф. Москва, 1–3 ноября 1978 г. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 154–159.
9. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
10. Распов И. М. Виды макрофитов как индикаторы природной среды // Тез. докл. Междунар. конф.: Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. СПб., 2006. С. 126–127.
11. Макрушин А. В. Библиографический указатель по теме «Биологический анализ качества вод» с приложением списка организмов-индикаторов загрязнения. Л.: ЗИН АН СССР: Всесоюз. гидробиол. об-во, 1974. 53 с.
12. Кокин К. А. Экология высших водных растений. М.: Изд-во МГУ, 1982. 160 с.
13. Белавская А. П. Характеристика растительности прибрежий // Невская губа: гидробиологические исследования / под ред. Г. Г. Винберга, Б. Л. Гутельмахера. Л.: Наука, 1987. С. 66–69.
14. Катанская В. М. Высшая водная растительность // Методические аспекты лимнологического мониторинга. Л.: Наука, 1988. С. 102–113.
15. Kurimo I. Effect of pollution on the aquatic macroflora of the Varkaus area, Finish Lake District // Ann. Bot. Fennica. 1970. Vol. 7, N 3. P. 213–254.
16. Максимов В. Н. Метробиологические свойства индексов сходства (в приложении к биологическому анализу качества воды) // Разработка и внедрение на комплексных фоновых станциях методов биологического мониторинга. Рига, 1983. Т. 1. С. 77–84.
17. Схема реконструкции и улучшения состояния водоподводящей системы г. Петродворца / НПО Ленмелиорация; Ленгипроводхоз. Л., 1990. 28 с.
18. Жаковицкова Т. К., Козыренко Т. Ф. Альгологические исследования водоподводящей системы Петродворцового паркового комплекса // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3: Биология. 1994. Вып. 4, № 24. С. 62–68.
19. Архипов Н. И., Раскин А. Г. Петродворец. М.; Л.: Искусство, 1961. 332 с.
20. Воронов А. Н. Родники Ижорского плато — основа питания петергофских фонтанов // Матер. Междунар. науч.-метод. конф. «Экология г. Петергофа — наукограда РФ и сопредельных территорий». СПб.: ВВМ, 2006. С. 14–21.
21. Кравченко Н. С., Воронов А. Н. Новые данные о составе вод водоподводящей системы Петергофских фонтанов // Матер. регион. молод. науч. конф. «Экологическая школа в г. Петергофе — наукограда РФ: проблемы национального сектора Балтийского региона и пути их решения». СПб.: Золотое Сечение, 2007. С. 166.

22. Методология формирования программы комплексных биоэкологических исследований экосистем южного побережья Финского залива / Осипов Д. В., Рябова В. Н., Готов Н. В., Матинян Н. Н., Герасименко Г. Г., Ильинский И. В., Федоров В. А. // Журн. экол. химии. 1993. № 3. С. 219–230.
23. Complex ecology investigation program of the Southern coast of the Gulf of Finland / Ossipov D. V., Ryabova V. N., Glotov N. V., Matinyan N. N., Gerasimenko G. G., Pjinsky I. V., Fedorov V. A. // J. Ecol. Chem. 1994. N 3(1). P. 39–48.
24. Рябова В. Н. Особенности формирования качества воды в водоподводящей системе г. Петродворца // Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы. СПб.: Научный Центр РАН, 1996. С. 53–67.
25. Шевченко В. Д. Гигиеническая оценка состояния загрязнения воды открытых водоемов и источников водоснабжения в Петродворцовом районе Санкт-Петербурга. СПб., 2002. 4 с.
26. Сумина О. И. Восстановление растительности нарушенных территорий: фундаментальный и практический аспекты исследования первичных сукцессий // Матер. регион. молод. науч. конф. «Экологическая школа в г. Петергофе — наукограде РФ: Проблемы национального сектора Балтийского региона и пути их решения». СПб.: Золотое Сечение, 2007. С. 79–93.
27. Рябова В. Н., Васильева В. А. Восстановление растительности рекультивированных прудов западной ветви водоподводящей системы г. Петергофа // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3: Биология. 2009. Вып. 3. С. 146–157.
28. Зеров К. К. Мелководья Днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. 1972. Т. 8, № 2. С. 15–21.
29. Катанская В. М. Растительность водохранилищ — охладителей тепловых электростанций Советского Союза. Л., 1979. 279 с.
30. Одум Ю. Экология. М., 1986. Т. 2. 376 с.
31. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2000 г. / под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. СПб., 2001. 452 с.

Статья поступила в редакцию 25 марта 2014 г., принята в печать 28 апреля 2014 г.

Сведения об авторах

Рябова Валентина Николаевна — кандидат биологических наук
Васильева Валентина Алексеевна — кандидат биологических наук, доцент

Ryabova Valentina N. — Ph.D.
Vasilieva Valentina A. — Ph.D., Associate Professor