

В.В. Дмитриев

**СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ КАРЕЛЬСКОГО ПРИЛАДОЖЬЯ И ЕГО СРАВНЕНИЕ
С РЕТРОСПЕКТИВНЫМИ ДАННЫМИ**

V. V. Dmitriev

**MODERN ECOLOGICAL STATE OF WATER OBJECTS OF LADOGA KARELIA
AND ITS COMPARISON WITH RETROSPECTIVE DATA**

Рассматриваются результаты летних полевых исследований состояния экосистем водоемов карельского Приладожья (оз. Суури, залив Лехмалаhti Ладожского озера) в 2007–2012 гг. Выполнялись наблюдения за химическим и биологическим составом и физическими свойствами воды в 18 точках озера; на суточной станции, на разных глубинах. Оценивалось влияние факторов среды на формирование первичной продукции в озере. Выполнена оценка трофического состояния, качества воды, самоочищения озера. Оценена устойчивость озера к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Формулируется представление об экологическом благополучии водоема. Рассматриваются результаты интегральной оценки экологического благополучия оз. Суури по материалам натуральных исследований 2010–2012 гг.

Ключевые слова: водная экосистема; химический, биологический состав, физические свойства воды; первичная продукция; влияние факторов на продуцирование ОВ; деструкция; зоопланктон; бентос; самоочищение; трофность; качество воды; устойчивость, экологическое благополучие, интегральная оценка.

Discusses the results of field studies of ecosystem ponds Ladoga in Karelia (lake Suuri, Lehmalahiti Bay, Lake Ladoga) in July 2007–2012. Observations were made for the chemical (biogens, gas, pH, etc.) and biological (zooplankton, benthos, primary production, destruction) structure and physical properties (temperature, transparency, electroconductivity, etc.) of water on the 18 points of the lake; on a daily station at different depths. Effect of the environmental factors was evaluated (light, the content of mineral nitrogen, phosphorus) on the formation of primary production in the lake. The evaluation of trophic status, water quality, self-purification of the lake. Assess the sustainability of the lake to changes in the parameters of the natural and anthropogenic (anthropogenic eutrophication, changes in water quality) mode. Are formulated idea of ecological wellbeing of a reservoir. The first results of an integrated assessment of ecological wellbeing of the lake of Suuri of materials of natural researches of 2010–2012 years are considered.

Key words: aquatic/water ecosystem; chemical; biological composition; physical properties of water; primary products; the influence of factors on the production of organic matter; destruction; zooplankton; benthos; self-cleaning; trophicity/eutrophication, the water quality; the sustainability of the lake, ecological wellbeing, integrated assessment.

Введение

Целостное представление о закономерностях взаимодействия населения, хозяйства и водных объектов, их биоценозов формируется в междисциплинарной области исследований, называемой в последние годы геоэкологией. В настоящее время в литературе для этой цели в основном используются такие названия, как: гидробиология, водная экология, гидроэкология. Биологические аспекты существования населения водных экосистем традиционно изучает гидробиология. Мониторинговые наблюдения за компонентами экосистемы позволяют получить информацию о массах или концентрациях компонентов в определенные моменты времени. Эти показатели отражают результат жизнедеятельности экосистемы и лишь частично характеризуют протекающие в ней процессы, поскольку изменение биомасс и концентраций является видимым проявлением сложных процессов обмена веществом и энергией между компонентами системы. В связи с этим *водная экология* (термин чаще упоминается биологами) выделилась из гидробиологии и как формализованный целостный подход и стала самостоятельным разделом общей экологии в результате развития гидробиологии, современных математических методов, информатики, обработки данных на ПК и т.д., а также формального упрощения и моделирования водных экосистем. Ей чаще всего отводится изучение отношений в системе «водный объект — организмы гидробионты». *Гидроэкология* (термин чаще упоминается географами и гидрометеорологами) разрабатывает методологию, изучает возможность и практические пути минимизации негативного влияния гидрологического режима и состояния водных объектов на общество, а также на безопасность жизнедеятельности населения, социальных и производственных объектов в зонах существующей или потенциальной угрозы затопления, подтопления территорий, разрушения сооружений, ухудшения качества воды. Ей же отводится исследование экологической безопасности водных бассейнов и минимизация в них экологических рисков. Современная реальность свидетельствует о широком толковании предмета исследований перечисленных научных направлений. В нашем понимании водноэкологическое и гидроэкологическое направления должны оставаться экологическими по существу и в определённом смысле являются синонимами. Речь может идти лишь о присутствии в них биоцентристской, эоцентристской, геоцентристской или антропоцентристской позиций на изучение водных объектов, или всех одновременно [3, 9, 15, 16, 21].

Материалы и методы

Под оценкой экологического состояния водоема понималась параметрическая оценка его биологического, химического состава и физических свойств, а также факторов на них влияющих, обуславливающих пригодность водоема для жизни организмов-гидробионтов (биоцентризм) или его использование человеком (обществом) для различных целей (антропоцентризм) [10, 14].

Исследования состояния малых озер карельского Приладожья традиционно выполняются с конца 1980-х гг. ежегодно в рамках производственных практик студентов геоэкологов, гидрологов и научных исследований по грантам [5, 6, 11, 12, 23]. В 2012 г.

исследования проводились в период с 22 по 31 июля 2012 г. на территории базы СПбГУ Кузнечное. Перечень полевых работ включал в себя: отбор и подготовку к лабораторным исследованиям гидробиологических проб бентоса: 2 пробы в оз. Суури, 4 пробы в зал. Лехмалаhti Ладожского озера; отбор и подготовку к лабораторным исследованиям пробы зоопланктона на ст. 7 в оз. Суури; отбор гидрохимических проб на 18 станциях в оз. Суури в поверхностном, придонном горизонтах и горизонте прозрачности; установку и отбор проб на продукционные исследования в оз. Суури на ст. 7; выполнение съемки озера (18 станций, поверхностный горизонт, горизонт прозрачности и придонный) для получения информации о пространственном распределении абиотических компонентов в водной экосистеме; выполнение исследования внутрисуточной изменчивости гидрохимических компонентов водной экосистемы в центре озера (ст. 7); выполнение физико-географического описания озера и исследование степени и динамики его зарастания. На ст. 7 (суточная станция) пробы отбирались 25–26 июля на горизонтах: 0, 1, 2, 3, 4, 4,5 м через каждые 6 ч. Съемка озера в 18 точках была проведена 24 июля (0 м, горизонт прозрачности и дно). Со всех горизонтов в каждой точке были взяты пробы воды. Для наблюдения суточной динамики различных гидрофизических и гидрохимических характеристик выполнялись наблюдения на суточной станции в т. 7. Всего в этой точке выполнено 5 сроков наблюдений различных характеристик с интервалом 6 ч.

Перечень лабораторных работ включал в себя: обработку проб зообентоса; обработку проб зоопланктона; обработку гидрохимических проб, наблюдений за гидрофизическими характеристиками воды (температура, освещенность, электропроводность, прозрачность).

Перечень исследовательских задач включал в себя оценку трофности, качества воды, самоочищения озера по отношению «деструкция»/«продукция» и времени осветления воды зоопланктоном; оценку степени лимитации биогенами первичной продукции в озере; оценку устойчивости озера к изменению элементов естественного и антропогенного режимов. [1, 3, 4, 7, 8, 10, 15, 16, 20, 22]. При оценке экологического благополучия (ЭБ) озера использовался аксиологический подход и методические возможности интегрального оценивания состояния геосистем [10, 13, 17].

Результаты и их обсуждение

1. Оценка изменчивости параметров гидробиологического режима оз. Суури и залива Лехмалаhti Ладожского озера. По данным о видовом составе зообентоса и частоте встречаемости гидробионтов рассчитывались: индекс видового разнообразия Шеннона, индекс качества воды BMWP. В 2012 г. в оз. Суури индекс Шеннона по зообентосу изменялся в пределах 1,77–2,38. В Ладожском озере — 1,77–3,63.

В 2011 г. в оз. Суури индекс Шеннона по зообентосу изменялся в пределах 1,71–2,89. В Ладожском озере — 1,17–3,14. Результаты анализа данных указывают на выраженное увеличение индекса от 2007 до 2010 г., небольшое снижение его величины в 2011 г., увеличение величины в 2012 г. Отмечается небольшое увеличение видового разнообразия зообентоса в 2012 г. на трех точках отбора проб, для которых имеются данные за прошлые годы. Анализ данных показал, что относительно низкие значения

индекса Шеннона в Ладожском и других озерах могут отражать преобладание в воде *Amphipoda* — *Gmelinoidea fasciatus*, внесённого человеком в озера Карельского перешейка в начале 1970-х гг. Биологическое загрязнение воды в озерах коснулось и Ладожского озера, в некоторых прибрежных районах которого рачок доминирует и сегодня. В меньшей степени это относится к оз. Суури, озеру и ручью Мянтю-Лампи, соединяющему оз. Суури с Ладожским озером.

По наблюдениям 2012 г. в воде оз. Суури преобладали *Calanoida* и *Cladocera*. На долю первых приходилось 39,6 % численности и 88,5 % биомассы зоопланктона. На долю вторых 32,9 % по численности и 9,5 % биомассы организмов. Численность и биомасса каланоид составила — 1040910 экз/м³ и 0,000131061 мг/м³; кладоцер — 866640 экз/м³ и 0,000014 мг/м³ соответственно. Общая численность зоопланктона в оз. Суури 2012 г. составила 2628180 экз/м³, общая биомасса равна 0,000148093 мг/м³. Биомасса зоопланктеров-фильтраторов была оценена величиной 7 мг сырого веса/л.

2. Оценка пространственной изменчивости гидрофизических и гидрохимических характеристик по результатам съёмки озера Суури 24.07.2012 и суточной станции 25–26.07.2012.

2.1. Анализ пространственной изменчивости гидрофизических и гидрохимических характеристик по результатам съёмки озера Суури.

Прозрачность воды. Невысокие значения скорости ветра (0,7–2,3 м/с) обусловили достаточно высокую прозрачность воды в озере в 2012 г. Прозрачность в 2012 г. изменялась от 1,3 до 2,0 м. Значения прозрачности в 2011 г. изменялись от 1,6 до 2,1 м. Прозрачность воды в 2010 г. изменялась от 1,2 до 1,6 м, в июле 2009 г. она изменялась от 0,9 до 1,5 м; в июне 2008 г. — от 1,8 до 2,1 м. В июле 1993 г. прозрачность воды изменялась от 1,7 до 2,9 м. В целом, прозрачность увеличивается от берегов к центру озера. Это обусловлено влиянием водной растительности, большим количеством взвеси у берегов, локальным антропогенным влиянием.

Температура воды. На поверхности озеро прогрето практически равномерно, значения температуры находятся в интервале 18,8–19,9 °С. Более прогрета восточная часть озера, самое высокое значение отмечено на ст. 15 — 19,9 °С, наименьшее значение температуры наблюдаются на ст. 4 в южной части озера. В целом, наиболее высокие температуры наблюдаются ближе к берегу, где глубина меньше. Температура горизонта прозрачности отличается от температуры на поверхности озера незначительно, в среднем на 1 °С. Эта температура изменяется от 17,5 до 19,4 °С. Температура, измеренная в придонном слое, изменяется от 10,8 до 19,4 °С.

pH воды. Значения pH в озере изменялись в интервале 5,93–6,79, вода относится к слабокислой — нейтральной. Значения pH в поверхностном слое изменялись от 6,45 до 6,79 (нейтральные воды). Значения pH для горизонта прозрачности изменяются от 6,52 до 6,79; в придонном горизонте — от 5,93 до 6,56. В общем случае наблюдается снижение pH с глубиной. Анализ пространственного распределения pH указывает на увеличение значений pH от берега к центру озера.

Электропроводность воды. Значения электропроводности на поверхности озера составили 59,5–65,6 мкСм/см, что меньше, чем в 2011 г. На горизонте прозрачности — 60,8–64,6 мкСм/см. В придонном горизонте — от 62,8 до 71,9 мкСм/см. Значения электропроводности увеличиваются с глубиной и понижаются к берегам на всех горизонтах.

Содержание фосфатов. Содержание фосфатов на поверхности оз. Суури не превышает 0,01 мг P-PO₄/л. (в 2011 г. — 0,008 мг P-PO₄/л). Среднее значение по поверхности 0,004 мг P-PO₄/л. Максимальное значение для горизонта прозрачности — 0,009 мг P-PO₄/л, среднее — 0,004 мг P-PO₄/л. Содержание фосфатов в придонном слое не превышает 0,009 мг P-PO₄/л, среднее значение — 0,004 мг P-PO₄/л. Таким образом, сделан вывод о незначительном увеличении содержания фосфатов с глубиной. В пространственном распределении фосфатов отмечено увеличение их содержания от берегов к центру озера.

Содержание аммонийного азота. Исследования содержания аммонийного азота (мг N-NH₄/л) в воде проводились только в поверхностном и придонном горизонтах. Содержание аммонийного азота в воде на поверхности озера изменялось в интервале от 0,62 до 1,14 мг N-NH₄/л, среднее значение — 0,8 мг N-NH₄/л. Меньшая концентрация аммонийного азота отмечена в восточной части озера, как на поверхности, так и в придонном горизонте. Значение ПДК по аммонийному азоту — 0,39 мг/л, таким образом, в оз. Суури наблюдается превышение ПДК в 2–2,5 раза. По классификации А.А. Былинкиной и соавторов вода по аммонийному азоту относится к классу загрязненных вод (IV кл. 0,4–1 мг/л). Однако все загрязнение является естественным и возникает в результате деятельности бактерий-аммонификаторов. Источников антропогенного загрязнения оз. Суури не выявлено. На дне озера значения концентраций аммонийного азота изменяются от 0,18 до 1,01 мг N-NH₄/л. В общем случае содержание аммонийного азота уменьшается с глубиной. В пространственном распределении аммонийного азота отмечено увеличение содержания от берегов к центру.

Содержание кислорода. Содержание кислорода в поверхностном слое озера изменялось от 9,2 до 9,82 мг/л; на горизонте прозрачности — от 6,74 до 9,44 мг/л; на дне — от 0,69 до 6,35 мг/л. Насыщение воды кислородом на поверхности изменялось от 91,3 до 105,6 %; на горизонте прозрачности — от 69,4 до 100,7 %; в придонном горизонте — от 5,6 до 66,3 %. Наблюдается увеличение содержания кислорода к центру водоема на всех горизонтах, а также его увеличение в месте впадения ручья Мянтю-Лампи в Ладожское оз. Содержание и насыщение воды кислородом сильно уменьшаются с глубиной.

2.2. Анализ изоплет компонентов химического состава и физических свойств воды. Максимальные значения температуры воды на поверхности озера +20,8°C, на дне — +12,9°C. Анализ изоплет температуры на суточной станции показывает, что на глубинах 1 и более метров внутрисуточное изменение температуры практически отсутствует. Около 6 ч утра примерно до 4 м наблюдается незначительное понижение температуры, глубже — более резкое понижение температуры. Градиент снижения температуры в поверхностном слое — 1,5°C на 1 м, а от 2 м до дна — примерно 6°C на 1 м.

Анализ внутрисуточного распределения электропроводности воды показывает, что на поверхности озера ее значения изменялись незначительно: от 63,0 до 65,2 мкСм/см (в 2011 г. — от 77,6 до 88,0 мкСм/см). То же — до глубины 3 м. На глубине 4,5 м значения увеличиваются. Ночью наблюдается увеличение электропроводности.

Концентрация ионов водорода рН на станции по глубине изменялась от 5,8 до 6,78. Ядро максимального значения рН приходится на дневное время суток в слое 0–2 м. Глубже 2–2,5 м наблюдается снижение значений рН.

Среднее значение концентрации в воде фосфатов составляет 0,003 мг/л. Максимум (0,008 мг/л) был зафиксирован на глубине 4,5 м 25 июля в 18:00. Минимальное значение — 0,000 мг/л отмечено на глубине 3 м в 12 ч. 25 июля. 26 июля в 0 ч были зафиксированы 2 ядра максимальных значений PO_4 на глубинах 1 и 4,5 м. 25 июля в 12 ч на глубине 2,5–3 м выделено ядро минимальных значений.

Содержание кислорода в воде изменялись от 0,06 до 8,47 мг/л. Ядро максимума зафиксировано в 18 ч 25 июля (8,5 мг/л). До глубины 2,5–3 м внутрисуточные колебания незначительны. Глубже отмечено снижение содержания кислорода в ночное время суток.

Насыщение кислородом изменяется от 0,5 до 96,3 %. Ядро максимума наблюдалось примерно с 19 ч до 1 ч ночи. Внутрисуточные колебания незначительны до 2,5–3 м. Глубже увеличение значений наблюдалось в 18 ч 25 июля и 06 ч 26 июля.

3. Оценка трофического статуса оз. Суури. Трофический статус водоемов устанавливается, как правило, по 3–5 летним рядам наблюдений. Сравнение результатов определения трофности озера для последних лет дало следующие результаты:

- 2007 г. По результатам определения первичной продукции трофический статус озера был определен как мезотрофный с признаками эвтрофикации (по шкале Гутельмахера, 1986 [10, 17]). Измерение прозрачности воды в 2007 г. дало результат, по которому озеро относится к мезотрофному с признаками эвтрофикации (по шкалам Ganerbland, 1931, Китаев, 1970) [10, 17].
- 2008 г. По результатам определения первичной продукции по той же шкале трофический статус озера был определен как мезотрофный. По прозрачности воды озеро относится к мезотрофному типу по тем же шкалам. По относительной прозрачности озеро относится к мезотрофному типу (шкалы Китаев, 1973, Хрисанов, Осипов, 1993) [10, 17].
- 2009 г. По тем же шкалам трофический статус озера был определен как мезотрофный. Полученная оценка биомассы зоопланктона 0,83–2,5 г/м³ свидетельствует о том, что данный водоем относится к средnekормному. Измерение прозрачности воды дало результат, по которому озеро относится к мезотрофному типу. Измерение отношения прозрачности H_{sd} к глубине H водоема дало результат, по которому озеро относится к эвтрофному типу по шкале Китаева, 1973 [10, 17].
- 2010 г. Трофический статус озера оценивался на покомпонентной основе по 7 характеристикам: 1 — прозрачности воды, 2 — отношению прозрачности к глубине; 3 — первичная продукция; 4 — pH воды в летнее время; 5 — БПК₅; 6 — индекс видового разнообразия Шеннона; 7 — фильтрационная активность зоопланктона. В итоге по данным критериям получено: 1 — переходное состояние от мезотрофии к эвтрофии; 2 — левая граница эвтрофии; 3 — правая граница олиготрофии; 4 — олиготрофия; 5 — мезотрофия; 6 — олиготрофия; 7 — олиготрофия.
- В 2011 г. для оценки трофности по прозрачности воды использовались 7 оценочных шкал разных авторов [10, 17, 22]. Средняя величина прозрачности воды составила 2,01 м. По 2 шкалам прозрачности воды статус оценен как мезотрофный, по 2, как переходный от мезо- к эвтрофии, по 2, как эвтрофный. Для оценки трофности по критерию «отношение прозрачности к глубине» (P_i/H_i) сначала для 18 станций по результатам съемки озера были рассчитаны значения P_i/H_i . Затем было

получено среднее значение от ношения. Оно равнялось 0,7. По шкале Китаева (1973) [10,11] данное значение соответствует классу мезотрофных вод. По критерию «рН воды в летнее время» трофический статус оценен как олиготрофный, а по критерию «продукция фитопланктона» как эвтрофный. По величине индекса Шеннона и фильтрационной активности зоопланктона (ФА) озеро можно отнести как к олиготрофным, так и к мезо- и эвтрофным водоемам. Сделан вывод о том, что эти критерии не являются репрезентативными для оценки трофического состояния озера. По уровню кормовой базы озеро относилось к мало — среднекормным водоемам.

- В 2012 г. для оценки трофности использовались те же шкалы, что и в 2011 г. Средняя величина прозрачности воды составила 1,61 м. По 1-й шкале — прозрачности воды трофический статус оценен как мезотрофный. Для оценки трофности по критерию «отношение прозрачности статус к глубине» сначала для 18 станций по результатам съемки озера были рассчитаны значения P_t/H_t . Затем было получено среднее значение отношения. Оно равнялось 0,48. По шкале Китаева (1973) [10, 17] данное значение соответствует классу мезотрофно-эвтрофных вод. По критерию «рН воды в летнее время» трофический статус оценен как олиготрофный, а по критерию «продукция фитопланктона» как мезотрофный (ближе к границе с олиготрофией), по БПК₅ (3,5 мг/О/л) также как мезотрофный. По уровню кормовой базы озеро относилось к малокормным водоемам.

В 2012 г. впервые была выполнена интегральная оценка трофности по 4 критериям для 2010–2012 гг. По величине интегрального показателя трофности озеро в 2010 г. отнесено к правой границе класса мезотрофных вод, а в 2011–2012 гг. — к середине класса мезотрофных вод.

4. Оценка качества воды и загрязнения водоема на основе гидрохимического и гидробиологического подходов. В 2009 г. качество воды оценивалось по 7 характеристикам: минеральному фосфору (I), прозрачности воды (II), по валовой суточной продукции фитопланктона (I), индексу Шеннона (I), содержанию кислорода (I–II), концентрации аммонийного азота (III–IV), рН воды (II).

В 2010 г. качество воды оценивалось по 8 критериям. Воду поверхностных слоев можно отнести классам «очень чистая» — «чистая» по 7 критериям, по 3–4 критериям (кислород, рН, фосфаты, аммонийный азот) придонные воды следует считать грязными.

В 2011 г по прозрачности воды, удельной электропроводности и валовой суточной продукции фитопланктона относятся к «очень чистым» и «чистым» (по классификации Института охраны природы и заповедного дела Минэкологии России (1992) [16, 21]); по содержанию аммонийного азота и среднему проценту насыщения кислородом принадлежит к классу «загрязненных» вод (IV класс в соответствии с классификацией А.А. Былинкиной, С.М. Драчеву, А.И. Ицковой [18, 19, 24]; по прозрачности воды к «очень чистым», по содержанию фосфора — к «предельно чистым» на поверхности (0,003 мгР/л) и «чистым» на глубине (0,005 мгР/л), по валовой продукции фитопланктона — к «предельно чистым» (I и II классы в соответствии с классификацией Романенко, 1990 г. [22, 24]).

На основе покомпонентной оценки в 2012 г., качество воды в оз. Суури было оценено по трем классификациям (8 критериям) для поверхностного и придонного

слоев по 6 признакам: содержанию кислорода, прозрачности, удельной электропроводности, валовой суточной продукции фитопланктона, содержанию минерального фосфора и рН воды поверхностного слоя озера относятся к «очень чистым» и «чистым» (I и II классы).

Воды придонного слоя по содержанию кислорода относятся к «грязным» (V класс), по удельной электропроводности в непроточных водоемах и содержанию минерального фосфора к «очень чистым» (I класс), а по величине рН — к «чистым» (II класс).

По 2 критериям — содержанию аммонийного азота и БПК-5 вода поверхностного (и придонного) слоя принадлежит к классу «загрязненных» вод (IV класс).

4.1. Оценка качества воды по гидробиологическим индексам. В 2012 г. получены результаты оценки качества воды по индексам BMWP и Вудивисса. Использовались: индекс Вудивисса в оригинальной трактовке TBI (Woodiwiss, 1978) и в модифицированном виде EBI (Extended Biotic Index) и индекс BMWP [26, 27]. Индекс BMWP был разработан Департаментом Окружающей среды Великобритании в 1976 г. в рамках системы RIVACS, которая является основой для оценки состояния текучих вод в Великобритании и Австралии [26, 27]. Данный индекс активно используется в странах ЕС и Восточной Европы. Индекс BMWP основан на наборе различных семейств макрозообентоса. В середине 1990-х гг. была осуществлена ревизия индекса на основании компьютерной обработки баз данных по речным местообитаниям Англии и Уэльса [26, 27].

Таким образом, в настоящее время используется 2 вида BMWP: 1 — оригинальный BMWP (1976); 2 — обновленный BMWP с учетом специфики местообитаний (1996–1997).

При характеристике местообитаний были выделены 3 вида биотопов: перекаты, заводь и промежуточный тип перекаты/заводь. Основанием для выделения отдельных местообитаний явилось преобладание гальки и камней ($\geq 70\%$) — «перекаты» или песка и ила ($\geq 70\%$) — «заводь».

Для Ладожского озера из оценочных таблиц нами было выбрано название местообитания «перекаты-заводь», а для оз. Суури — «заводь». На основе индекса EBI (Вудивисса) нами была предложена оценочная шкала с шестью классами качества воды.

В 2008 г. в оз. Суури BMWP составило 34–54 балла (IV класс), для Ладожского оз. 59–64 балла (III класс).

В 2009 г. значения индекса в различных водоемах изменялось от 10 до 56 баллов, что позволило отнести водоемы к III–V классам (хорошее–плохое).

В 2010 г. по значениям индекса BMWP вода оз. Суури была отнесена к классам «хорошая»–«средняя», а Ладожского озера — к классу «хорошая». При этом значения индекса BMWP в пробах Ладожского озера практически совпали, а в оз. Суури изменялись по величине в 2 раза. По сравнению с 2009 г. индекс BMWP на ст. 3 вырос в 1,3 раза. Для Ладожского оз. (восточнее впадения ручья Мянтю-Лампи) индекс незначительно увеличился, западнее ручья — практически не изменился. В 2011 г. по значениям индекса BMWP вода Ладожского озера была отнесена к классам «удовлетворительное (III) — невысокое (IV)» качество, вода оз. Суури к классам «удовлетворительное» (III). При этом значения индекса BMWP в пробах Ладожского озера практически совпали со значениями 2012 г., а в оз. Суури уменьшились по величине в 2 раза. Таким образом, вода, в озере в 2012 г. может быть признана в целом более

низкого качества, чем в 2011 г. Это подтверждается оценкой качества воды по гидрохимическим показателям.

В 2012 г. по обновленному индексу BMWP (18,2–40,9) вода в оз. Суури относится к IV классу качества; по оригинальному индексу BMWP (16–41) — также к IV классу; по индексу Вудивисса (6–3) — к III–IV классам. Последующий анализ результатов показал, что индекс BMWP, созданный для водотоков Европы, не вполне адекватно оценивает состояние среды оз. Суури и нуждается в локальной адаптации. Возможно, этот вывод был сделан на основе того, что поверхностные и придонные воды озера характеризуются разным качеством воды (на поверхности I–II класс, в придонных — IV–V класс).

Вода Ладожского оз. по обновленному (18–46) и оригинальному (40–47) индексам BMWP относится к IV классу качества; по индексу Вудивисса (7–4) — к III (по трем станциям) — IV (по одной станции) классам.

5. Оценка степени самоочищения водной экосистемы по отношению деструкции к первичной продукции и по фильтрационной активности зоопланктона. По первому способу оценивалось отношение $D/P_{\text{вал}}$ и делался вывод о способности водной экосистемы к самоочищению. Если это отношение больше 1, то система способна к самоочищению и справляется с нагрузками на нее; если меньше 1, то система в большей степени продуцирует ОВ, чем может разложить [1, 14].

В полевых условиях на озере для определения продукции и деструкции применялась кислородная модификация скляночного метода. Отношение $D/P_{\text{вал}}$ изменяется в течение суток и по сезонам года [1, 10].

В 2012 г. было выполнено 2 серии наблюдений на двух горизонтах 0 и глубина прозрачности (SD). В центре озера (ст. 7) в подповерхностном горизонте деструкция превышала продукцию. Значение $D/P_{\text{вал}}$ во всех случаях больше единицы, что свидетельствует о том, что в период выполнения съемки озера в центральной его части процессы деструкции органического вещества превышали новообразование (продуцирование) органического вещества в толще воды «0 м — глубина прозрачности». Глубина прозрачности 23–24.07 составляла 1,3 м, а 25–26.07 — 1,5 м.

По результатам исследований 2011 г. также было установлено, что в центре озера в подповерхностном горизонте деструкция также превышает продукцию. Однако в прибрежной зоне продукционные процессы преобладали над деструкционными.

Второй способ оценки самоочищения водной экосистемы основан на расчете времени осветления воды зоопланктерами-фильтраторами [10, 22]. В расчетах принимались два допущения: зоопланктеры находятся в оптимальных условиях питания и равномерно распределены в озере. Предварительными наблюдениями было показано, что в составе зоопланктона преобладают организмы-фильтраторы.

В 2012 г. скорость фильтрации воды зоопланктоном оценивалась для оптимальных условий питания и средней температуры воды в озере 24.07.2012 (17,8°C), с учётом трофического состояния оз. Суури составляла 0,20 л/(мг сыр.веса·сут). Фильтрационная активность (ΦA) с учетом рассчитанной 24.07.2012 биомассы зоопланктона (0,7 мг/л) в озере составила $\Phi A = 0,20 \times 0,7 = 0,14 \text{ сут}^{-1}$. Время осветления воды зоопланктоном есть величина обратная фильтрационной активности: $T = 1/\Phi A = 1/0,14 = 7,14 \text{ сут}$. Таким образом, зоопланктеры-фильтраторы осветляли водоем в данное время за 7,14 сут.

В 2011 г. скорость фильтрации воды зоопланктоном в оптимальных условиях питания для средней температуры воды в озере 21.07.2010 (21,3°С), с учётом трофического состояния оз. Суури составляла 0,23 л/(мг сыр.веса·сут). Фильтрационная активность (ФА) с учетом рассчитанной 20.07.2011 биомассы зоопланктона (1 мг/л) в озере составила $ФА = 0,23 \times 1 = 0,23 \text{ сут}^{-1}$. Время осветления воды зоопланктоном $T = 1/0,23 = 4,39$ сут. Таким образом, зоопланктеры-фильтраторы осветляли водоем в 2011 г. в 1,6 раза быстрее, чем в 2012 г.

Похожие выводы были получены в 2009 г. и ранее. Скорость фильтрации воды зоопланктоном в оптимальных условиях питания для температуры воды в озере 13.07.2009 (20,6), с учётом трофического состояния оз. Суури, была оценена величиной 0,22 л/мг сыр.в·сут, а время осветления воды зоопланктоном $T = 5,6$ сут. В зависимости от изменений линейных размеров организмов (0,26–0,42 мм) суммарная биомасса оценивалась в пределах 0,83–2,5 г/м³. При этих условиях зоопланктон осветлял весь объем озера за период от 2 до 6 суток.

6. Оценка лимитации биогенами продуцирования органического вещества фитопланктоном. По модели Михаэлиса-Ментен-Моно выполнена оценка лимитации биогенами продуцирования органического вещества фитопланктоном в оз. Суури [10, 2]. Оценка лимитации биогенами первичной продукции в озере проводилась на основе гидрохимических наблюдений за содержанием аммонийного, азота и минерального фосфора. Оценка лимитации первичной продукции азотом и фосфором в оз. Суури выполнена для съемки озера 24 июля 2012 г. Среднее значение PO_4 принято равным 0,004 мг/л. Среднее значение аммонийного азота (NH_4) принято равным 0,798 мг N/л. Получено, что недостаток в воде фосфора уменьшает максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в верхнем слое воды в 4,75 раза. Недостаток в воде азота уменьшает максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 1,04 раза.

По материалам съемки озера в 2011 г. было получено, что недостаток в воде фосфора уменьшал максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в верхнем слое воды в 6 раз. Недостаток в воде азота уменьшает максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 1,04 раза. Сравнение с аналогичными исследованиями 2010 г. показало, что недостаток в воде фосфора уменьшал максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 2,15 раза, а недостаток в воде азота уменьшал максимально возможную удельную скорость роста фитопланктона в 1,24 раза. Эти модельные расчеты подтверждают вывод о том, что основным биогеном, лимитирующим первичную продукцию в озере, является фосфор.

7. В 2012 г. впервые выполнена оценка влияния освещенности на рост первичных продуцентов в водной экосистеме оз. Суури в период выполнения съемки озера 24.07.2012. Расчет среднеинтегральной освещенности выполнялся для толщи воды 0–2 м. Влияние освещенности на максимальную удельную скорость роста фитопланктона оценивалось по формуле Дж. Стила [15]. Коэффициент ослабления света взвесью рассчитывался двумя способами: через оптическую плотность проб воды при разных длинах волн и по эмпирической формуле Института озероведения РАН через прозрачность воды. В итоге, получено, что в зависимости от способа расчета коэффициента ослабления света взвесью эффект самозатенения в верхней 2-метровой толще воды

вызывал снижение удельной скорости продуцирования органического вещества фитопланктоном в 2–3,8 раза.

8. Выполнена оценка устойчивости озерной экосистемы к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. Расчет проводился по балльно-индексному методу [3, 8, 10, 12, 13] для двух типов устойчивости.

8.1. Устойчивость к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию. Последовательно подсчитывалась сумма баллов параметров естественного режима по физико-географическим и морфометрическим признакам, гидрологическому режиму (уровенный и температурный режим, условия водообмена) — всего 11 признаков. Сумма баллов устойчивости по этим признакам равна 18. Для оценки устойчивости озерной системы к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию необходимы сведения о трофности водоема.

По данным 2012 г. оз. Суури отнесено к классу мезотрофных. По балльно-индексной системе этой ситуации соответствует 5 баллов трофности. Суммируем баллы устойчивости (естественный режим — 18 и антропогенный режим 5): $18 + 5 = 23$ балла. В этом случае относим оз. Суури к границе III класса (ближе к границе с IV классом) устойчивости.

8.2. Устойчивость к изменению параметров естественного режима и качества воды. Устойчивость водной экосистемы оценивалась по тому же индексно-балльному методу. Сумма баллов устойчивости по признакам естественного режима равна 18. Для оценки устойчивости озерной системы к изменению параметров естественного режима и изменения качества воды оз. Суури, необходимы сведения о качестве воды в озере.

В 2011 г. вода в верхних слоях озера была отнесена к классу «чистая» (I–II классы). В этом случае оз. Суури было отнесено к IV классу устойчивости. Если учесть, что придонные слои воды в озере загрязнены сильнее, и их качество можно оценить IV классом, в этом случае оз. Суури отнесено к III классу устойчивости. Таким образом, было признано, что придонные слои воды более устойчивы к изменению параметров естественного режима и загрязнению, чем верхние. Это не должно восприниматься как создание благополучной экологической ситуации (обстановки) в придонных слоях озера или как повышение экологического благополучия в водоеме.

В 2012 г. качество воды оз. Суури оценивалось на условиях покомпонентного оценивания по трем классификациям по 8 критериям для поверхностного и придонного слоев. В поверхностном слое воду озера можно отнести к I–II классам, в придонных слоях, в зависимости от глубины, — к I–II (мелководье), либо к IV–V (глубоководные станции) классам качества.

На втором этапе по результатам оценки качества были заданы баллы устойчивости по качеству воды. Сумма баллов по этим признакам изменялась от 15 (очень чистая) до 8 (чистая) баллов на мелководье; и от 3 (грязная) до 1 (очень грязная) для глубоких станций.

По сумме баллов для поверхностных горизонтов оз. Суури было отнесено к IV–V (низкоустойчивым) классам. Для глубоких точек, расположенных в центральной части озера получен III класс устойчивости.

9. Интегральная оценка экологического благополучия (ЭБ) озера. Нормальная (понимаемая как «хорошая») экосистема — это экосистема с оптимальной и

разнообразной продукцией (удовлетворяющей экономические и эстетические потребности человека), существующая неограниченно долго в изменяющейся среде [2]. В наших работах по обоснованию критериев ЭБ признаками благополучной водной экосистемы предлагалось считать: 1 — оптимальную продукцию ресурсного звена; 2 — оптимальную биомассу ресурсного звена; 3 — максимальное видовое разнообразие биоты; 4 — высокое качество воды; 5 — высокую устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; 6 — низкую скорость загрязнения, закисления, эвтрофирования; 7 — высокую скорость самоочищения; 8 — способность сохранять вышеназванные признаки реально неограниченное время [10, 11, 13]. В зарубежной литературе идея оценки экологического благополучия дискутируется под углом зрения «здоровья экосистемы» [21, 25].

Основу разработанной модели-классификации ЭБ составляют признаки «хорошей» (для человека и организмов-гидробионтов) водной экосистемы и их изменение по 5 классам благополучия. При создании модели использовано совмещение антропоцентрического и биоцентрического подходов. Признаки экологически благополучной водной экосистемы, учитываемые в модели: 1 — оптимальная первичная продукция, создаваемая олиготрофными экосистемами; 2 — высокое качество воды; 3 — максимальное видовое разнообразие биоты (по зообентосу); 4 — высокая устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; 5 — низкая скорость закисления; 6 — высокая скорость самоочищения. Интегральная оценка ЭБ выполнялась на основе метода сводных показателей (МСП). В соответствии с этим были реализованы следующие основные этапы (табл. 1).

Таблица 1

Этапы интегральной оценки ЭБ оз. Суури

№ этапа	Содержание этапа
1	Выбрать необходимые и достаточные параметры, описывающие исследуемое свойство или состояние изучаемой системы;
2	Определить набор классов, отражающих исследуемое свойство или состояние системы;
3	Найти для исходных параметров соответствующие классам градации или оценочные шкалы;
4	Выбрать правило нормирования и нормировать исходные параметры созданной модели-классификации;
5	Решить проблему выбора весов (приоритетов оценивания);
6	Выбрать синтезирующую функцию (вид обобщенного интегрального показателя);
7	Ввести уровни свертки показателей для исходной модели-классификации;
8	Выполнить первый уровень обобщения информации;
9	Выполнить последующие уровни обобщения информации;
10	Для мониторинговой информации, собранной в полевых условиях для тех же параметров оценивания, выполнить первый уровень обобщения информации по правилам построения исходной модели-классификации;
11	Выполнить последующие уровни обобщения информации для получения интегральных показателей.

В табл. 2 приведены сведения о критериях и способах их задания в модели. В табл. 3 приведена шкала интегрального показателя ЭБ, рассчитанная с учетом равновесности задания приоритетов оцениваемых параметров для первого и второго уровней свертки.

Таблица 2

Параметры модели интегральной оценки ЭБ

1. Трофический статус водной экосистемы	Оценивался по величине интегрального показателя трофности ИПТ для 5 классов трофности (О—олиготрофия, М—мезотрофия, Э—эвтрофия, П—политрофия, Г—гиперэвтрофия) по 4 критериям: валовая первичная продукция фитопланктона, мг С/л сут; прозрачность воды, м; отношение прозрачности к глубине (по шкале Китаева, 1973 и средней глубине озера 3 м); рН воды в летнее время [10, 14].
2. Качество воды (интегральный показатель качества)	Оценивалось по величине интегрального показателя качества воды ИПКВ для 5 классов качества по 7 критериям: прозрачность воды (шкала взята из модели-классификации оценки трофности); удельная электропроводность воды (мк См/см), азот NH ₄ (мг N/л), кислород в % насыщения, гидробиологический индекс BMWP, фосфор PO ₄ (мг P/л).
3. Максимум видового разнообразия по индексу Шеннона (H)	Оценивался по авторской шкале. В процессе построения шкалы было принято, что максимум индекса Шеннона (H) равен 5,0 наблюдается в олиготрофных условиях. По мере увеличения трофности и снижения качества воды значения H равномерно уменьшаются до 0. Принималось, что I классу ЭБ соответствует значение индекса в пределах 5–4; II классу 4–3; III классу 3–2; IV классу 2–1; V классу 1–0.
4. Устойчивость (баллы устойчивости по индексно-балльной шкале) к изменению естественного и антропогенного режимов	Оценивалась по балльно-индексной шкале, которая нормированием переводилась в интегральный показатель устойчивости ИПУ [10, 17, 22]. ИПУ рассчитывался для двух сценариев У1 и У2, в которых оценивалась устойчивость к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию (У1) или к изменению параметров естественного режима и изменению качества воды (У2).
5. Степень закисления воды	Оценивалась по авторской шкале рН. Принималось, что I классу ЭБ соответствует значение рН в пределах 8,5–6,5; II классу 6,5–6,0; III классу 6,0–5,5; IV классу 5,5–5,0; V классу <5,0.
6. Скорость самоочищения	Оценивалась по времени осветления воды зоопланктоном (T) в сутках по авторской шкале. Принималось, что I классу ЭБ соответствует значение T в пределах от 1 до 2 сут, II классу 2–5 сут.; III классу 5–10 сут.; IV классу 10–25 сут.; V классу 25–50 сут.
Интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ)	ИПЭБ представляет собой сумму нормированных значений параметров 1–6, взятых со своим весом. ИПЭБ оценивался на втором уровне свертки показателей в предположении равновесности исходных критериев 1–6 первого уровня.

Таблица 3

Оценочная шкала интегрального показателя ЭБ

Признак	Степень экологического благополучия, классы экологического благополучия				
	Высокое I	Выше среднего II	Среднее III	Ниже среднего IV	Низкое V
Интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ)	0–0,23	0,23–0,46	0,46–0,58	0,58–0,76	0,76–1,00

Результаты интегральной оценки ЭБ для оз. Суури с учетом равновесности задания приоритетов оцениваемых параметров для первого и второго уровней свертки приведены в табл. 4. Для 2010–2012 гг. экологическое благополучие озера оценено II классом (выше среднего). При этом значения ИПЭБ в 2010–2012 гг. незначительно изменялись внутри II класса: от 0,37 до 0,41 (IIc–IIп).

Таблица 4

Значения показателей первого и второго уровней свертки для оз. Суури в 2010–2012 гг.

Показатели / год	2010	2011	2012
Интегральный показатель экологического благополучия (ИПЭБ)	0,41 (IIп)	0,37 (IIc)	0,40 (IIп)

Примечание. Нижний индекс справа от номера класса означает: с — ближе к середине класса, п — ближе к правой границе класса.

Заключение

Сравнивая результаты наблюдений 2012 г. с ретроспективными данными можно отметить следующее. Характерной особенностью 2012 г. являлось то, что все наблюдения проводились после обильных, продолжительных дождей 18–19 июля 2012 г. Уровень воды в озере повысился на 0,5–0,6 м относительно уровня июля 2011 г. Температура воды в поверхностном слое озера была на 4° ниже температуры 2011 г. В то же время в период работ 2010–2011 гг. из-за устойчивой теплой погоды в озере в большей степени была выражена летняя вертикальная стратификация вод и формирование придонного слоя воды в гипolimнионе, ниже глубины 3–3,5 м, отличительными чертами которого являются: понижение температуры воды до 11–12°С (при температуре на поверхности 24,5°С), недостаточная аэрация придонного слоя и формирование условий, близких к анаэробным с минимальным насыщением воды кислородом 0,06 мг/л (0,5 % насыщения). Содержание аммонийного азота распределялось в толще воды равномерно и возросло по сравнению с 1993 г. в 2–3 раза. Еще одной особенностью является то, что до глубины 2 м в 2012 г. и 3–3,5 м в 2011 г. доходит лишь 1–2 % поступающей на поверхность воды освещенности. Ниже глубины 4 м развиваются слабо закисленные условия (рН от 5,93 до 6,56 в 2012 г.; рН = 5,9–6,0 в 2011 г.; в 1993 г. — 6,3–6,7)

с максимумом электропроводности 62,8–71,9 мкСм/см в 2012 г. и 81–88 мкСм/см в 2011 г. Весной–летом 1993 г. в связи с сильным ветром максимальная разница температур верхнего и придонного слоев воды не превышала 1,3 °С.

Значение $D/P_{\text{вал}}$ во всех случаях больше единицы, что свидетельствует о том, что в период выполнения съемки озера в центральной его части процессы деструкции органического вещества превышали новообразование (продуцирование) органического вещества в толще воды «0 м — глубина прозрачности». Однако в прибрежной зоне продукционные процессы преобладали над деструкционными. Время осветления воды зоопланктоном в июле составляет 4–7 суток. Основным биогеном, лимитирующим первичную продукцию в озере, как и в прошлые годы, является фосфор. Его недостаток уменьшает продуктивность фитопланктона в 2–6 раз. Азот практически не лимитирует первичную продукцию. Эффект самозатенения в верхней 2-метровой толще воды вызывает снижение удельной скорости продуцирования органического вещества фитопланктоном в 2–3,8 раза.

По биологическим индексам качество воды оценивается III–IV классами. По гидрохимическим показателям в поверхностном слое воду озера можно отнести к I–II классам, в придонных слоях, в зависимости от глубины, — к I–II (мелководье), либо к IV–V (глубоководные станции) классам качества.

Оценка устойчивости оз. Суури к изменению параметров естественного режима и эвтрофированию указывает, что водоем относится к границе III–IV классов устойчивости (III класс, ближе к правой границе). Следуя принципу Ле Шателье-Брауна, повышение уровня трофии для озера будет сопровождаться в перспективе повышением устойчивости к антропогенному эвтрофированию. Это не должно восприниматься как создание благополучной экологической ситуации (обстановки) в озере или как повышение экологического благополучия в водоеме.

По устойчивости к изменению параметров естественного режима и изменению качества воды для поверхностных горизонтов оз. Суури относится к IV–V (низкоустойчивым) классам. Для глубоких точек, расположенных в центральной части озера, в этом случае получен III класс устойчивости. Было признано, что оз. Суури более уязвимо к изменению параметров естественного режима и качества воды (в поверхностном слое), чем к изменению параметров естественного режима и эвтрофированию.

Разработаны признаки экологически благополучной водной экосистемы, для которой сформулирована модель-классификация экологического благополучия (ЭБ). В перечень признаков включены: 1 — оптимальная первичная продукция, создаваемая олиготрофными экосистемами; 2 — высокое качество воды; 3 — максимальное видовое разнообразие биоты; 4 — высокая устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов; 5 — низкая скорость закисления; 6 — высокая скорость самоочищения. На основе метода сводных показателей (МСП) выполнена интегральная оценка экологического благополучия оз. Суури. Для 2010–2012 гг. экологическое благополучие озера оценено II классом (выше среднего). При этом значения интегрального показателя ЭБ в 2010–2012 гг. незначительно изменялись внутри II класса: от 0,37 до 0,41 (IIc–IIп).

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ 11-05-00909-а, 13-05-10046-к, 113-05-00648-а.

Литература

1. *Абакумов В.А.* Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. — СПб., 1992. — 318 с.
2. *Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). — Екатеринбург: Изд. УИФ «Наука», 1994. — 280 с.
3. *Гальцова В.В., Дмитриев В.В.* Практикум по водной экологии и мониторингу состояния водных систем. Учебное пособие. — СПб.: Наука, 2007. — 364 с.
4. *Дмитриев В.В.* Гидробиология и водная экология. Программа учебного курса. Учебно-методическое обеспечение специальности 012700—Гидрология, 012800—Океанология. Для гос. ун-тов. — М.: Изд. Геогр. фак. Моск. ун-та, 2002, с.158–168.
5. Длительные изменения и современное состояние ландшафтов Приладожья. Отв. ред. Г.А. Исаченко. — СПб., 1995.
6. *Дмитриев В.В., Мандрыка О.Н., Огурцов А.Н., Потапова Т.М.* Состояние водных объектов северо-западного Приладожья и оценка их устойчивости к антропогенному эвтрофированию. // Сборник научных трудов «Длительные изменения и современное состояние ландшафтов Приладожья» под ред. А.Г. Исаченко. — СПб.: изд. СПбГУ, 1995, с. 90–99.
7. *Дмитриев В.В.* Методическое пособие к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть 1. — СПб.: Изд. СПбГУ, 2002. — 38 с.
8. *Дмитриев В.В.* Гидроэкологические работы на озере. Учебная практика студентов 2-го курса. Учебное пособие «Полевая гидрологическая практика». Под ред. В.С. Вуглинского. Раздел 3. — СПб.: СПбГУ, 2000, с. 84–115.
9. *Дмитриев В.В.* Гидроэкология: проблемы самоидентификации и развития. // Международная конференция и школа-семинар для молодых ученых и аспирантов «Первые Виноградские чтения, будущее гидрологии» памяти выдающегося российского гидролога Ю.Б. Виноградова. 16–18 ноября 2013 г., Редакторы: проф. Дмитриев В.В., Лебедева Л.С., Семенова О.М. — СПб.: СПбГУ, 2013, с. 115–117.
10. *Дмитриев В.В.* Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов. Автореф. докт. дисс. — СПб., 2000.
11. *Дмитриев В.В., Васильев В.Ю., Горбовская А.Д., Мандрыка О.Н., Огурцов А.Н., Опекунова М.Г., Потапова Т.М.* Диагностика состояния водоемов, наземной растительности и почвенного покрова геосистем карельского Приладожья. I. Диагностика состояния водных объектов. // Известия Русского географического общества, 1996, т. 128, вып. 1, с. 45–55.
12. *Дмитриев В.В., Васильев В.Ю., Горбовская А.Д., Огурцов А.Н., Опекунова М.Г., Потапова Т.М.* Диагностика состояния водоемов, наземной растительности и почвенного покрова геосистем карельского Приладожья. II. Диагностика состояния почвенного и растительного покрова, устойчивость геосистем к антропогенному воздействию и др. // Известия Русского географического общества, 1996, т. 128, вып. 2, с. 49–54.
13. *Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Васильев В.Ю., Примак Е.А., Лобачева Ю.В., Скрыгина В.К.* Оценка эмерджентных свойств сложных систем в природе и обществе на основе моделей интегрального оценивания. // Сборник трудов VI международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ — 2012». 2–4 июля 2012 г. Под редакцией: Л.Н.Карлина, В.Н. Воробьева, В.А. Шелутко, В.В.Дмитриева. — СПб.: РГМУ, 2013, с. 18–27.
14. *Дмитриев В.В., Панов В.Е., Пряхина Г.В.* Методические указания по учебно-производственной практике «Экологическое состояние водных объектов». Учебно-метод. пособие. — СПб.: ВВМ, 2010. — 116 с.
15. *Дмитриев В.В., Панов В.Е., Пуленко Н.А., Шарифутдинова Г.Ф., Бурицев С.Н., Боброва О.Н., Буришева О.А., Евдокимов А.А., Зезюльчик Т.С., Кашина В.В.* Экологическое состояние водных объектов карельского приладожья по результатам экспедиционных исследований 2011 г. и его сравнение с ретроспективными данными. // Современные проблемы географии и геоэкологии. Материалы международной научной конференции, посвященной 90-летию почетного профессора СПбГУ, доктора географических наук, профессора А.Г. Исаченко. Под общей ред. Алиева Т.А., Белозерского Г.Н., Дмитриева В.В., Мовчана В.Н., Чистобаева А.И. — 2012, с. 220–233.
16. *Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Пряхина Г.В., Федорова И.В.* Методическое пособие к практикуму по моделированию круговорота вещества в водных экосистемах. Часть 2. — СПб.: Изд. СПбГУ, 2007. — 48 с.

17. *Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т.* Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. — СПб.: Наука, 2004. — 294 с.
18. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. — М., Л., 1964. — 271 с.
19. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. — Л., 1988.
20. *Дмитриев В.В.* Методические указания по дисциплине «Системная экология». Специальность 320300 — Геоэкология. — СПб.: РГГМУ, 2002. — 26 с.
21. *Семенченко В.П., Разлуцкий В.И.* Экологическое качество поверхностных вод. — Минск: Беларуская навука, 2010. — 329 с.
22. *Снакин В.В., Мельченко В.Е., Буковский Р.О. и др.* Оценка состояния и устойчивости экосистем. — М., 1992. — 127 с.
23. Учебно-научные географические станции вузов России. Справочное пособие. Под ред. Г.И. Рычагова и С.И. Антонова. — М.: Географический факультет МГУ, 2001. — 589 с.
24. *Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. — М.: Наука, 2005.
25. Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ–2012. Сборник трудов VI международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, ЭКОГИДРОМЕТ — 2012». 2–4 июля 2012 г. Под ред. Л.Н. Карлина, В.Н. Воробьева, В.А. Шелутко, В.В. Дмитриева. — СПб.: РГГМУ, 2013. — 298 с.
26. *Leeds-Harrison P.B., Quinton J.N., Walker M.J., Harrison K.S., Tyrrel S.F., Morris J., Mills H.T.* Buffer Zones in headwater catchments. // Report on MAFF/English Nature Buffer Zone Project CSA 2285. Cranfield University, Silsoe, UK, 1996. — 22 p.
27. *Wright J.F., Furse M.T., Armitage P.D.* RIVPACS — a technique for evaluating the biological quality of rivers in the UK. // European Water Pollution Control, 1993, vol. 3(4).