

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ МАЛЫХ ОЗЕР СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЛАДОЖЬЯ

Седова С.А., Дмитриев В.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург,
e-mail: svet.sv0627@gmail.com*

Проблема оценки экологического статуса природных объектов является одной из важнейших фундаментальных проблем современных географических и геоэкологических исследований. Интерес к интегральной оценке экологического статуса обусловлен необходимостью получения количественных оценок состояния эко- и геосистем и их интегративных свойств, их трансформаций под влиянием внешних воздействий. Исследования оценки экологического статуса водных объектов в настоящее время развиваются в странах ЕС и РФ на основе методов многокритериального и интегрального оценивания. В статье рассматриваются разработанные авторами теоретико-методологические положения и методика интегральной оценки экологического статуса водоемов на примере малых озер северо-западного Приладожья. Интегральная оценка экологического статуса включает в себя несколько этапов: 1 – интегральную оценку трофического статуса водоема, 2 – интегральную оценку качества и токсического загрязнения воды, 3 – интегральную оценку потенциальной устойчивости водоема. На следующем этапе выполняется второй уровень свертки для получения интегрального показателя экологического статуса. В статье рассматриваются вопросы построения многоуровневых и многокритериальных классификаций экологического статуса, этапы и результаты исследования. Рассмотрены три гипотезы для учета устойчивости водоемов при построении интегральных показателей экологического статуса. Построение интегральных показателей экологического статуса выполнено на примере озера Суури Ленинградской области для 2016-2018 гг.

Ключевые слова: интегральная оценка, интегральный показатель, оценочная шкала, свертка информации, экологический статус, трофический статус, качество воды, устойчивость экосистемы, классификация, модель-классификация

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATUS OF WATER BODIES ON THE EXAMPLE OF SMALL LAKES IN THE NORTHWESTERN LADOGA

Sedova S.A., Dmitriev V.V.

St. Petersburg State University, St. Petersburg, e-mail: svet.sv0627@gmail.com

The problem of assessing the ecological status of natural objects is one of the most important fundamental problems of modern geographical and geoecological studies. Interest in the integral assessment of ecological status is due to the need to obtain quantitative assessments of the state of eco- and geosystems and their integrative properties, their transformations under the influence of external influences. Studies of assessing the ecological status of water bodies are currently being developed in the EU and the Russian Federation based on multicriteria and integrated assessment methods. The article discusses the theoretical and methodological principles developed by the authors and the methodology for the integrated assessment of the ecological status of water bodies on the example of small lakes in the northwestern Ladoga area. An integrated assessment of the ecological status includes several stages: 1 – an integrated assessment of the trophic status of a water object, 2 – an integrated assessment of the quality and toxic pollution of water, 3 – an integrated assessment of the potential sustainability of a water object. At the next stage, the second level of convolution is performed to obtain an integral indicator of environmental status. The article discusses the issues of building multi-level and multi-criteria classifications of environmental status, stages and results of the study. Three hypotheses are considered to take into account the sustainability of water bodies in the construction of integral indicators of ecological status. The construction of integral indicators of ecological status was carried out on the example of Lake Suuri in the Leningrad Region for 2016-2018.

Key words: integral assessment, integral indicator, rating scale, information convolution, ecological status, trophic status, water quality, ecosystem sustainability, classification, model-classification

В последние годы актуальными являются исследования по формированию представлений об экологическом статусе (ЭС) и экологическом благополучии (ЭБ) водных объектов и подходов к их оценке. Предмет исследования в нашей статье – экологический статус водоема в условиях естественного и антропогенного изменения свойств и параметров режимов. Главной проблемой исследования является разработка теоретико-методологических положений и методов интегральной оценки экологического статус

са сложных природных и антропогенно измененных систем.

Проблема оценки экологического статуса водных объектов имеет свою историю. До недавнего времени термин «экологический статус» не использовался в отечественной литературе в отличие от зарубежной. Нами традиционно использовались термины «экологическая оценка» или «оценка экологического состояния» под которой понималась параметрическая оценка состояния окружающей среды, обусловли-

вающая развитие биоты на определенной территории (акватории).

В России исследования по оценке экологического состояния водных объектов развивались под углом зрения оценки продуктивности, качества и токсического загрязнения природных вод (с позиций биоцентризма или антропоцентризма) или оценки сложных свойств водных объектов (устойчивость), а также разработки экологических паспортов предприятий. Затем, акцент сместился в область экологической квалиметрии (построение оценочных шкал и экологических индексов). В результате появлялись новые функциональные единицы систем (интегральные показатели подсистем и интегральные показатели последнего уровня свертки), которые получили название интегральных или сводных показателей, в зарубежных работах – композитных индексов.

За рубежом основную цель разработанной Европейской Рамочной Водной Директивы [1] представляют, как достижение экологического благополучия или высокого экологического статуса для всех водных систем. «Основой экологического статуса водного объекта является экологическое качество воды. Под этим термином понимают структуру и функционирование сообществ водных организмов, которое отражает состояние водных масс. Чем выше экологическое качество воды, тем большее число различных таксонов может обитать в водном объекте и тем больше число функциональных групп» [2]. В России термин «экологическое качество воды» появился после перевода [1] на русский язык. Смысл термина заключается в том, что выполнение экологической оценки опирается на биологические методы контроля качества воды.

Теоретико-методологические основы исследования

Оценкой будем называть отношения субъекта к объекту оценивания, установление значимости для субъекта этого объекта в целом или отдельных его свойств на основе их соответствия определенным нормам или уровням. Под экологическим статусом (ЭС) нами понимается эмерджентное (интегративное) свойство водного объекта, характеризующее сочетание его способности продуцировать органическое вещество (продукционный потенциал), качество и токсическое загрязнение воды, потенциальную устойчивость (устойчивость к изменению параметров естественного режима). Таким образом, ЭС водоема оценивается по следующим группам (блокам) характеристик: 1-трофический статус; 2-качество и токсическое загрязнение воды;

3-потенциальная устойчивость водоема (устойчивость 1-го типа или адаптационная устойчивость или по более сложной схеме, учитывающей 1 и 2 типы устойчивости) [3].

Под интегральной оценкой будем понимать оценку, учитывающую иерархичность экологических систем, предполагающую наличие этапа, связанного с объединением в одно целое ранее разнородных (многокритериальных) оценок состояния подсистем с учетом весомости их вклада в общую оценку состояния системы или ее интегративного свойства. Оценку экологического статуса водоема предлагается проводить в несколько этапов.

Первым этапом является оценка трофического статуса водоемов. Понятие трофности водоемов было сформулировано Гинеманном и Науманном в начале XX-го века. Под этим понятием понимают повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных и естественных (природных) факторов [4]. Таким образом, под трофическим статусом водоема будем понимать разделение водоемов или их отдельных участков по степени кормности (трофности), в зависимости от уровня их первичной продукции.

Вторым этапом является оценка качества и токсического загрязнения вод. Под качеством воды мы понимаем сочетание химического и биологического состава и физических свойств воды, определяющее ее пригодность для конкретных видов водопользования. К этому определению иногда добавляется необходимость соответствия требованиям охраны окружающей среды (антропоцентризм). При биоцентристском подходе качество воды есть сочетание химического и биологического состава и физических свойств воды, определяющее ее пригодность для жизни организмов-гидробионтов [3].

Третьим этапом оценки ЭС водоема является оценка устойчивости его экосистемы. Под устойчивостью понимается способность экосистемы сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях внутренних и внешних воздействий. Чаще всего в экологической литературе термин «устойчивость» используется в следующих значениях. Инертность системы – способность экосистемы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени; пластичность системы – способность экосистемы постепенно переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи; восстанавливаемость системы – способность экосистемы возвращаться в исходное состояние после временного внешнего

воздействия. Первые два понятия трактуются как адаптационная устойчивость (I тип), третье – как регенерационная (II тип). Нами будет оцениваться т.н. «потенциальная устойчивость» – устойчивость к изменению морфометрии и физико-географических характеристик, климатических параметров и гидрологических особенностей водоема.

Материалы и методы исследования

При оценке экологического статуса водоема необходимо учитывать, что ЭС должен: характеризовать развитие гидробионтов и функционирование экосистемы водоема (биоцентризм); характеризовать пригодность водоема для различных целей использования человеком (антропоцентризм); представлять собой параметрическую оценку состояния водной среды, характеризующую трофический статус водоема, качество и токсическое загрязнение воды и устойчивость водоема к изменению параметров естественного (потенциальная устойчивость) и антропогенного режимов.

В рамках статьи нами сформулированы и проверены 3 гипотезы параметрической оценки экологического статуса водоема, которые приведены ниже.

Гипотеза 1. При оценке экологического статуса (ЭС) малых водоемов, их физико-географические характеристики, такие, как площадь водного зеркала, его объем и малая глубина, характеризуют водоем как низкоустойчивый (высокоуязвимый) к изменению параметров естественного режима природный объект. Поэтому шкала потенциальной устойчивости, построенная нами для оценки ЭС, будет изменяться от неустойчивого класса (I класс) до устойчивого класса (V класс). При этом в первый класс по остальным группам признаков (трофический статус, качество воды) мы будем включать параметры, характеризующие высокий ЭС водоема. Устойчивость в этом случае будет следовать принципу Лешатель-Брауна, по которому для условно-равновесных природных систем, в том числе и экологических, при внешнем воздействии, выводящем систему из состояния устойчивого равновесия, равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия ослабляется. При этом система постепенно адаптируется к новым условиям (устойчивость I типа, адаптационная). Следствием этого является положение, при котором при прочих неизменных условиях более продуктивная экосистема малого водоема может оказаться более устойчивой к эвтрофированию, а более сапробная (токсобная) экосистема – более устойчивой к загрязнению. Можно обо-

сновать последовательное изменение типа устойчивости внутри года (ряда лет) или переход с одного типа на другой, если система теряет способность к самоочищению или меняет свой тип в результате естественных или антропогенных трансформаций, которые мы здесь не будем рассматривать.

В этом случае устойчивая экосистема не всегда должна ассоциироваться с экологическим благополучием (или высоким ЭС). Исключением, скорее всего, будут являться малые проточные водоемы, в которых шкала будет формироваться на основе устойчивости II типа (регенерационная) и тогда устойчивый класс – I класс, неустойчивый класс – V класс. В связи с этим, прежде всего, необходимо выявить, как изменение типа устойчивости повлияет на результат оценки ЭС. Более сложные ситуации возникают при оценке ЭС или ЭБ для систем «водоток – водосбор» [5].

Гипотеза 2. При оценке ЭС больших водоемов, шкала потенциальной устойчивости будет изменяться от устойчивого класса (I класс) до неустойчивого класса (V класс). Гипотеза построена на предположении о том, что большие по площади и объему воды озера, а также глубокие водоемы, как правило, являются более устойчивыми к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость).

Гипотеза 3. *A priori* принимается предположение о том, что при оценке экологического статуса и экологического благополучия для любых водоемов, устойчивость будет изменяться, аналогично гипотезе 2, от устойчивый (I класс) до неустойчивый (V класс). В этом случае большая устойчивость водоема всегда свидетельствует о его высоком благополучии. При этом на второй план уходит то, что малые водоемы по результатам оценки, скорее всего, никогда не смогут характеризоваться I-м (наиболее устойчивым) классом.

В качестве основной гипотезы нами принимается гипотеза № 3. Поэтому, обобщив вышеприведенные условия, получаем табл. 1 с характерным изменением ЭС по классам, таким образом, что I класс характеризует высокий статус объекта по всем параметрам, а V – низкий ЭС. Этот случай сближает подходы оценки экологического статуса и экологического благополучия. Названия основных классов (высокий, низкий) заимствованы нами из Европейской Рамочной Водной Директивы [1]. В названии могла бы также использоваться другая терминология, например, «водоем 1 (высшей) категории», «водоем 2 категории» и т.п. Для нас важно, что в целом, от I-го класса к V-му экологический статус по совокупности признаков снижается.

Таблица 1

Характеристики классов экологического статуса водоема

Группы признаков	Классы экологического статуса водоема				
	I высокий	II выше среднего	III средний	IV ниже среднего	V низкий
Трофность	олиготрофный	мезотрофный	мезотрофный	эвтрофный	гипертрофный
Качество воды	очень чистый	чистый	умеренно загрязненный	загрязненный	очень грязный
Потенциальная устойчивость	устойчивый (низко уязвимый)	устойчивость выше среднего	средне устойчивый	устойчивость ниже среднего	неустойчивый (высоко уязвимый)

Следует заметить, что расчет интегрального показателя экологического статуса водоема рассматривался нами с учетом потенциальной устойчивости I типа (адаптационная) и II типа (регенерационная). Эти подходы различаются набором параметров оценки потенциальной устойчивости.

Для оценки ЭС водоема, были созданы классификации для оценивания: 1 – трофического статуса; 2 – качества и токсического загрязнения природных вод; 3 – устойчивости экосистемы (две классификации для адаптационной и регенерационной устойчивости). Параметры оценки отбирались с учетом действующих ГОСТов, уже

разработанных авторских классификаций и наших оценочных шкал на основе натуральных данных [3].

На первом этапе проводился выбор необходимых и достаточных параметров, характеризующих трофический статус, качество воды и устойчивость системы.

Второй этап заключался в формировании оценочных шкал для исходных параметров.

На третьем этапе обосновывался выбор нормирующих функций. Для нормирования исходных параметров использовались два вида функций: неубывающая степенная функция (1) и невозрастающая степенная функция (2).

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i, \end{cases} \quad (1)$$

$$q_i = q_i(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i, \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^l, & \text{при } (\min_i < x_i \leq \max_i), \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i. \end{cases} \quad (2)$$

В (1), (2): q_i – преобразованное (нормированное) значение характеристики; x_i – текущее значение; \min_i – минимальное (фоновое, допустимое, безопасное, предельно-допустимое и т.п.) значение критерия; \max_i – максимальное значение критерия; l – показатель степени, отражающий нелинейность связи параметров с оцениваемым качеством. В нашем случае мы полагаем, что $l = 1,0$ (линейное приближение функций 1 и 2). Диапазон

изменения q_i всегда находится в пределах от 0 до 1,0. Таким образом, исходные критерии в различных шкалах измерения приводятся к безразмерным шкалам, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя трофности, качества воды, устойчивости водоема (первый уровень свертки показателей) и экологического статуса водоема (второй уровень свертки).

На четвертом этапе выбирался внешний вид синтезирующей функции для интегрального показателя. В качестве выражения для интегрального показателя была выбрана линейная свертка показателей вида [6]:

$$Q = Q(q; w) = Q(q_1, \dots, q_m);$$

$$w_1, \dots, w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i. \quad (3)$$

Пятый этап заключался в решении проблемы выбора весов w_i и построении оценочных шкал интегральных показателей для первого и второго уровней свертки. Так, в нашем случае мы на первом этапе исследования предполагаем равенство весов исходных параметров внутри блоков и между ними.

На шестом этапе производилось выполнение первого и последующих уровней обобщения информации для разработанных классификаций, получение оценочных шкал для интегральных показателей для всех уровней свертки.

На седьмом этапе по полученным в полевых условиях данным рассчитывается значение интегрального показателя для выбранного водоема по тем же правилам, что и на предыдущем этапе. На основе приве-

денной выше методики были выполнены оценочные исследования для малого озера Суури (северо-западное Приладожье, рис.1) за период с 2016 по 2018 гг. На рис. 2 представлены этапы построения интегрального показателя экологического статуса для озера Суури.

Результаты исследования и их обсуждения

В статье мы приводим результаты расчета интегральной оценки экологического статуса на примере ключевого водоема – озера Суури за период с 2016 по 2018 гг. при учете двух сценариев оценки потенциальной устойчивости экосистемы: 1) оценка устойчивости I типа (адаптационная устойчивость для непроточного водоема, гипотеза 1); 2) оценка устойчивости II типа (регенерационная устойчивость для проточного водоема, гипотеза 1), расчет которой проводился на основе разработки новой классификации для оценки потенциальной устойчивости и сохранения классификаций для групп признаков, характеризующих трофический статус, качество и токсическое загрязнение воды. Все параметры, необходимые для расчета ИП собраны авторами в период полевых работ на озере и обобщены в виде БД [7].

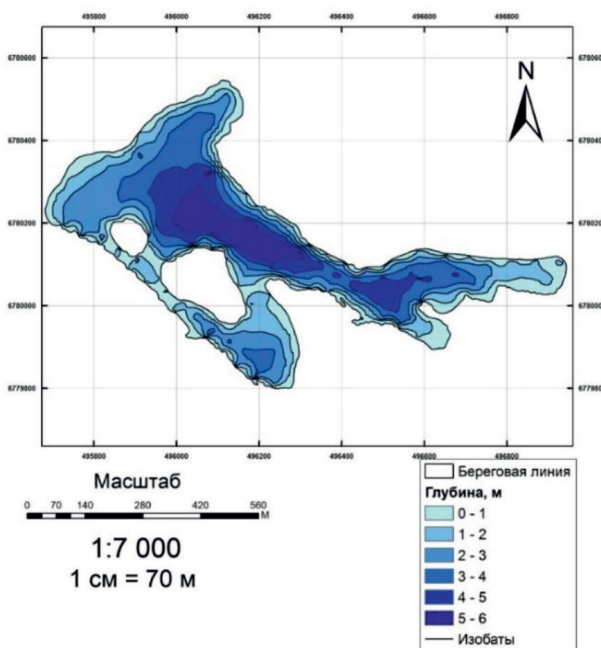


Рис. 1. Озеро Большое Волковское (Суури) в северо-западном Приладожье

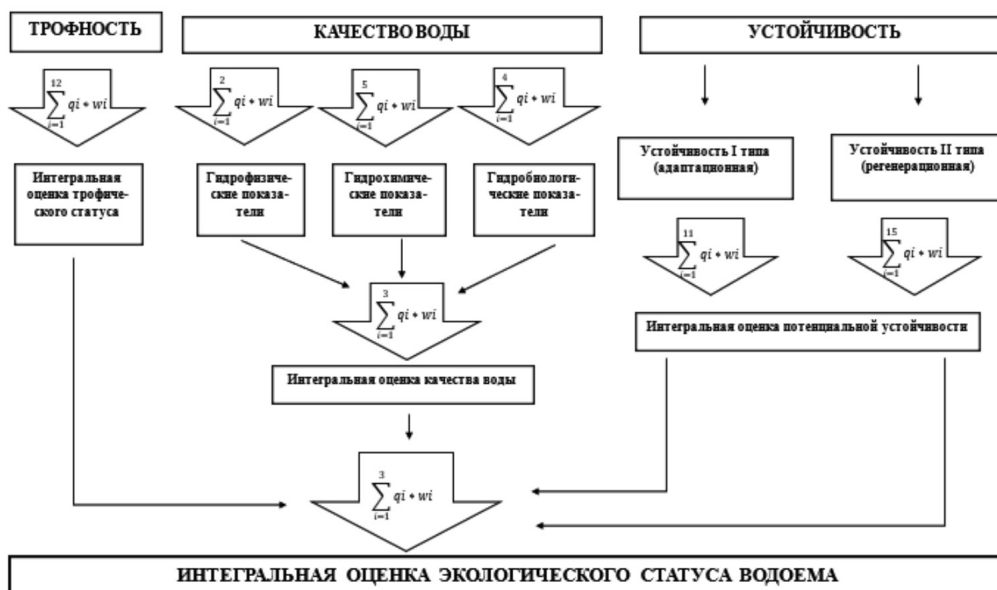


Рис. 2. Этапы интегральной оценки экологического статуса озера Суури (пояснения в тексте)

Таблица 2
Экологический статус (ЭС) оз. Суури в условиях его естественного развития и антропогенной трансформации

ИПЭС = ИПТ + ИПК + ИПУ	Классы экологического статуса водоема				
	I высокий	II выше среднего	III средний	IV ниже среднего	V низкий
С учетом пот. устойчивости I типа	1 – 0,823	0,822 – 0,618	0,615 – 0,435	0,432 – 0,242	0,239 – 0
С учетом пот. устойчивости II типа	1 – 0,822	0,821 – 0,621	0,618 – 0,403	0,399 – 0,221	0,218 – 0

В итоге были получены шкалы интегральных показателей внутри каждой группы признаков: трофический статус – 12 признаков, качество и токсическое загрязнение – 11, потенциальная устойчивость адаптационного типа – 11, устойчивость регенерационного типа – 15. Таким образом были получены интегральные показатели 1-го уровня свертки (для качества воды – 1-го и 2-го) по группам трофический статус (ИПТ) и потенциальная устойчивость (ИПУ). По группе признаков, отвечающих за качество и токсическое загрязнение вод интегральный показатель внутри группы, содержал два уровня свертки (1-ый уровень выполнялся по трем подгруппам: гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические показатели). Затем был получен интегральный показатель между группами признаков (интегральный показатель 2-го уровня свертки) – ИПК. На всех этапах оценки ин-

тегральный показатель рассчитан для условия равновесного задания параметров внутри блоков и между ними.

Для получения интегрального показателя для ЭС, который обозначим ИПЭС, необходимо иметь шкалы последнего уровня свертки (ИПТ + ИПК + ИПУ). Они представлены в табл. 2, которая дает наглядное представление о расчете сводного показателя (последний, 3-й уровень свертки) между группами. Затем были выполнены расчеты ИПЭС озера Суури за трехлетний период, где первому (высокому) классу поставлено в соответствие значение $q_i = 1$, а пятому (низкому) $q_i = 0$.

В табл. 3 приведены рассчитанные значения интегрального показателя эвтрофирования (ИПТ), качества воды (ИПК) и потенциальной устойчивости (ИПУ), а также экологического статуса (ИПЭС) за каждый год и за выбранный 3-летний период времени (2016 – 2018 гг.) [7].

Таблица 3

Результаты оценивания экологического статуса (ЭС) озера Суури

Год	Интегральный показатель			Интегральный показатель экологического статуса	ИПЭС за 3-летний период времени
	ИПТ	ИПК	ИПУ	ИПЭС	
С учетом потенциальной устойчивости I типа					
2018	0,764	0,556	0,284	0,535 (III)	0,571 (III)
2017	0,806	0,669	0,272	0,582 (III)	
2016	0,771	0,724	0,293	0,596 (III)	
С учетом потенциальной устойчивости II типа					
2018	0,764	0,556	0,257	0,526 (III)	0,562 (III)
2017	0,806	0,669	0,248	0,574 (III)	
2016	0,771	0,724	0,264	0,586 (III)	

При анализе полученных результатов было выявлено:

1) в первом случае, при потенциальной устойчивости I типа (адаптационная устойчивость) за период с 2016 по 2018 гг. значения интегральных показателей ИПЭС различаются не более чем на 10%. Все ИПЭС попадают в один класс (III, средний статус). За три года получено среднее значение ИПЭС – 0,571 (III класс ближе к левой границе класса). При этом заметно, что по величине ИПЭС за три года ЭС озера снизился на 10%;

2) полученные результаты для второго случая (потенциальная устойчивость II типа, регенерационная устойчивость) свидетельствуют о том, что за трехлетний период значения интегральных показателей ИПЭС различаются также не более чем на 10%. Все ИПЭС также попадают в один класс (III, средний статус). Среднее значение ИПЭС – 0,562 (III класс, ближе к левой границе). При этом по величине ИПЭС за три года ЭС озера снизился также примерно на 10%;

3) в целом изменение типа устойчивости в оценке ЭС не повлияло на итоговый класс ЭС;

4) выполненными исследованиями нашло подтверждение гипотеза № 3. Гипотеза № 2 в этом случае не рассматривалась, либо находила подтверждение из гипотезы № 3. Гипотеза № 1 подтверждена, поскольку расчётами ИПЭС доказано попадание в один класс ЭС при его учете для потенциальной устойчивости двух (разных) типов.

Закключение

Рассмотрено интегративное свойство водоема – его «экологический статус» (ЭС). При рассмотрении ЭС учитывалось сочетание трофического статуса водоема, качества

его воды с позиций биоцентризма, потенциальной устойчивости водоема (устойчивость к изменению параметров естественного режима) двух типов. Путем обобщения сформулированных теоретико-методологических положений и метода сводных показателей разработана методика оценки экологического статуса и выполнены оценочные исследования ЭС для ключевого водоема – озера Суури. Собраны параметры оценивания для 2016-2018 гг., предложены оценочные шкалы, уровни, классы ЭС, классификации для оценки ЭС водоема. Расчеты выполнены на основе равновесного учета приоритетов (весов) для параметров и блоков (уровней) оценивания. В итоге предложена характеристика классов ЭС, описывающая параметрическое сочетание трофического статуса, качества воды и потенциальной устойчивости водоемов.

Сформулированы три гипотезы для учета потенциальной устойчивости водоема при оценке ЭС. Выполненными расчетами доказаны положения важные для выполнения дальнейших исследований. Расчет интегральной оценки ЭС водоема рассматривался для двух вариантов: учет потенциальной устойчивости I типа (адаптационная устойчивость) и II типа (регенерационная устойчивость). Выполнена оценка ЭС водоема на основе разработанной методики за период с 2016 по 2018 гг. Полученные результаты свидетельствуют о том, что за данный период интегральный показатель ЭС снизился на 10%. Во все годы озеро было способно сохранять свой экологический статус (III класс, ближе к левой границе). Получено, что при выявленных темпах снижения ИПЭС водоем перейдет в IV, более низкий класс ЭС примерно через 5 лет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00683 а.

Список литературы

1. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal L 327, 22/12/2000, 73 p.
2. Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод – 2-е изд., испр. Минск: Беларус. Навука, 2011, 331 с.
3. Дмитриев В.В., Четверова А.А., Огурцов А.Н., Амаро Медина Д.Р., Седова С.А., Вакула Е.Н., Кузнецова М.Р., Колупаева А.Д. Экологический статус водоема: аксиология, аксиометрия, оценка. Международная конференция «Озера Евразии: проблемы и пути их решения». Материалы 2-й Международной конференции». Казань, 19-24 МАЯ 2019 г. 2019, С. 66-70.
4. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М., 1990, 637 с.
5. Eugenio Molina-Navarro, Pedro Segurado, Paulo Branco, Carina Almeida, Hans E. Andersen Predicting the ecological status of rivers and streams under different climatic and socioeconomic scenarios using Bayesian Belief Networks. *Limnologia* 80 (2020) 125742 <https://doi.org/10.1016/j.limno.2019.125742>.
6. Hovanov N., Hovanov K., Yudaeva M. Multicriteria estimation of probabilities on basis of expert nonnumeric, non-exact and non-complete knowledge. *European Journal of Operational Research*. 2009. 195(3), 857-863.
7. Седова С.А., Дмитриев В.В., Четверова А.А. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621679 «База данных для выявления экологического статуса и факторов массообмена в водной экосистеме на примере озера «Суури» (LAKE-SUURI-ECOSYSTEM). Дата регистрации: 26.09.2019.