

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Н. А. Панютин, В. В. Дмитриев

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург,
Россия, nic9898@yandex.ru*

Предложена авторская методика оценки экологического статуса водоемов, которая включает в себе результаты имитационного моделирования и несколько субиндексов, оценивающих устойчивость, трофический статус и качество, и загрязнение воды с позиций антропоцентризма. Предложенные модель-классификация и методика адаптированы для оценки экологического статуса водоемов для территории Северо-Запада России.

Ключевые слова: водоемы; экологический статус; устойчивость; трофность; качество воды.

Введение. Актуальность исследования продиктована необходимостью: 1 - разработки научно обоснованных подходов в регулировании потребностей общества в количестве и качестве водных ресурсов для их использования в хозяйственной деятельности и учете запасов воды разного качества при увеличивающейся антропогенной нагрузке на водоемы; 2 - разработке теоретико-методологических подходов и методов построения композитных индексов и субиндексов, анализа и синтеза показателей (АСПИД- и APIS- методологии), методов моделирования водных экосистем, разноаспектной ГИС-визуализации результатов исследований для оценки водно-экологического благополучия населения и выделения эко-регионов. Для этого разработаны имитационные модели, алгоритмы построения композитных индексов, которые поэтапно воплощались в создание многокритериальных и многоуровневых (полииерархичных) оценочных классификаций, которые назывались «моделями-классификациями».

Основной целью исследования является разработка моделей-классификаций интегральной оценки экологического статуса (ЭС) и экологического благополучия (ЭБ) водоемов, базирующейся имитационном моделировании и построении композитных индексов. В перечень системных свойств для оценки ЭС, ЭБ, экологических функций включались: а) продукционный потенциал системы (продуктивность, трофность, трофический статус); б) качество и токсическое загрязнение воды и/или донных отложений. Использовались также понятия «трофосапробность», «трофо-

токсобность», отражающие возможность совместного учета продукционного потенциала (трофности, трофического статуса) и качества воды или продукционного потенциала и токсического загрязнения воды; в) устойчивость (водоема, водотока, ландшафта) к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость); г) состояние/качество среды береговой зоны; д) состояние/качество среды водосборных ландшафтов (почвы и грунтов, воды, воздуха, растительности на водосборных территориях, загрязнения среды в отдельных ландшафтах); е) другие системные свойства (экологическое благополучие/неблагополучие биогеоценозов, пригодность/непригодность территории для хозяйственного освоения и др.); ж) экологические функции, на примере биопродукционной функции водоема, а также «экологические факторы» и «экономические факторы», определяющие экологические функции (ЭФ) /экологические услуги (ЭУ) водных экосистем.

«Экологический статус» в работе определяется как интегративное свойство водного объекта, которое характеризуется сочетанием его способностей:

- продуцировать органическое вещество (далее в работе эта способность будет характеризоваться как «трофность»);
- изменять химико-биологический состав, качество и токсическое загрязнение воды;
- поддерживать потенциальную устойчивость, т.е. устойчивость к изменению физико-географических характеристик, климата и гидрологических параметров [1].

Для оценки экологического статуса авторы использовали все этапы мониторинга, целью которого является создание максимально достоверного представления об особенностях состояния водного объекта и достижение максимальной точности его описания [2].

С целью построения моделей-классификаций экологического благополучия необходимо ввести признаки и классы экологического благополучия. Основой модели-классификации являются признаки «хорошей» (с точки зрения человека, общества) водной экосистемы и выделение классов и границ его экоблагополучия.

Объектами нашего исследования стали озерные системы и водоемы Северо-Западного федерального округа России. Данные системы имеют две подсистемы: сами озера и их водосборы. Последние, чаще всего, принимались как пространственно-однородные геосистемы. Их состав и свойства задавались средними значениями характеристик.

Экологический статус водных объектов предполагает зависимость объекта исследования от определенных признаков, объединенных в следующие группы [1]:

– устойчивость (сюда были включены следующие характеристики: площадь поверхности, объем, максимальная глубина, площадь водосбора, ветровой режим, средняя за месяц температура воды, продолжительность ледостава, сезон года, наличие сезонной стратификации, вертикальное перемешивание, внутрисезонная амплитуда колебаний уровня, коэффициент проточности, характер регулирования, коэффициент водообмена, скорость течения);

– трофность (характеристики, включенные в эту группу: прозрачность воды, отношение прозрачности к глубине, взвешенные вещества, электропроводность, рН при 100 % насыщения кислородом воды, концентрация растворенного кислорода в % насыщения, БПК₅, концентрация общего азота, концентрация общего фосфора, продукция фитопланктона, скорость фотосинтеза, концентрация хлорофилла «а», разность суточной продукции и деструкции, средняя биомасса фитопланктона в период вегетации и фильтрационная активность фитопланктона);

– качество воды (прозрачность, электропроводность, взвесь, рН, минеральный фосфор, азотный фосфор, концентрация растворенного кислорода в % насыщения, БПК₅, комбинированный риск, нефть и нефтепродукты, концентрация ртути, кадмия и свинца, концентрация хлорофилла «а», индекс сапробности, индекс Вудивисса, индекс BMWP).

Для определения тенденции развития экологического статуса водоемов и построения прогнозов необходимо отслеживать динамику интегральных показателей, как в составе отдельных групп и субиндексов (устойчивости, трофности, качества воды), так и интегрального показателя последнего уровня свертки (композитного индекса). В свою очередь, показатели, характеризующие устойчивость, такие, например, как площадь поверхности, объем воды и другие, подвержены влиянию различных факторов – изменений, происходящих в водоохранной лесной зоне; процессов, протекающих в атмосфере и влияющих на количество осадков и др. Для построения композитных индексов могут использоваться результаты имитационного моделирования водных экосистем, на основе которого воспроизводятся существующие системные взаимосвязи, результаты влияния факторов на функционирование экосистем и прогнозы развития экологического состояния водоемов.

Сочетание системного моделирования и построения на этой основе композитных индексов системных свойств до и после воздействия было впервые продемонстрировано на основе экспериментов с двумя авторскими имитационными моделями [2,5]. В итоге создавались новая методология, методы, подходы к исследованиям сложных природных (и общественных) систем, в нашем случае с акцентом на водные объекты, их системных свойств и функций на основе построения пространственных и

временных обобщений ИП (индексов и субиндексов для оценки неравенств в отношении состояния/качества окружающей среды и других интегративных свойств и их сочетаний).

Материалы и методы исследований. Работа по расчету интегральных показателей для оценки экологического статуса водных объектов имеет свою историю [3]. Выработаны определенные этапы формирования моделей, характеризующих состав, свойства, степень трансформации и экологический статус водоема по значениям показателей, определяемых для исследуемых водоемов. Последовательное применение этапов позволяет сформировать модель, оценивающую экологический статус водоемов, динамику изменений, происходящих в водной среде и последствия от возможных внешних воздействий на водные объекты [2,3].

Первый этап построения модели заключается: в подборе критериев, влияющих на экологический статус водоемов, и вида их зависимости с параметрами водных объектов; установлении предельных значений этих показателей.

На втором этапе проводится нормирование показателей, учитывая прямую или обратную зависимость и линейность/нелинейность связи критерия и оцениваемого свойства. Результатом нормирования являются значения, характеризующие границы зависимостей и разбивающие их на диапазоны от нуля до единицы.

Третий этап сводится к обоснованию нормирующих зависимостей для построения групп интегральных показателей и единого интегрального показателя.

На четвертом этапе выявляется приоритетность отдельных критериев, что позволяет установить для них соответствующие весовые коэффициенты. На пятом этапе производится построение модели, учитывающей сложившиеся в ней связи, для получения иерархии значений групп интегральных показателей и единого интегрального показателя по рассматриваемым водным объектам, изучения их динамики и моделирования влияния возможных изменений.

В соответствии с рассматриваемыми этапами оценку полученных результатов целесообразно проводить в электронных таблицах, примером которых являются Microsoft Excel, входящие в состав программного продукта Microsoft Office. Электронные таблицы позволяют работать с большим массивом данных, объединяя их функциональными зависимостями, а входящие в состав Microsoft Excel встроенные логические функции «ЕСЛИ (IF)» и «ЕСЛИ (IFS)» дают возможность соотносить исходные данные по водоемам, полученные в полевых условиях, с нормированными значениями для определения интегрального показателя.

Результаты и их обсуждение. Результатами исследования стало применение моделей на водоемах региона Санкт-Петербург и Ленинградская область, что позволило определить значения интегральных показателей и их динамику, степень трансформации и благополучия/неблагополучия на различных временных отрезках.

Заключение. Сочетание имитационного моделирования и построения композитных индексов показало хорошие результаты в оценке ЭС/ЭБ на нескольких водных объектах. Применение такого подхода в геоэкологии помогает оценить экологический статус водоемов и прогнозировать неблагоприятные изменения в водной среде в связи с естественным развитием, антропогенным воздействием и опасными природными явлениями.

Библиографические ссылки

1. Системное нормирование воздействий на водный объект: экологический статус водоема и его изменение при естественном и антропогенном воздействии // В. В. Дмитриев [и др.] // Пятые виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет, 5–14 октября 2023 г. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова, место издания ООО «Издательство ВВМ». С. 163-168.

2. Седова С. А., Дмитриев В. В. Использование композитных индексов для исследования адекватности моделей водных экосистем и оценки воздействия на них. European journal of natural history. ООО ИД «Академия естествознания», 2020. № 5. С. 12-19.

3. Оценка воздействия на водную экосистему и ее эмерджентные свойства на основе результатов имитационного моделирования и построения композитных индексов // С. А. Седова [и др.] // Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 132-142.

4. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения: в 2 кн. М. : Наука, 2005. С. 281.

5. Global Evaluation of the Status and Sustainability of Terrestrial Landscapes and Water Bodies / V. V Dmitriev [et al.] // Landscape Modelling and Decision Support. 2020. P. 231–253.