

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕНТИЧЕСКИХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ПРЕДЕЛАХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Красногорская Н.Н., Елизарьев А.Н., Хаертдинова Э.С., Муллаянов Р.Р.

*ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа
Уфа, Россия (450025, г. Уфа, ул. К. Маркса 12) ElinaSagitovna@yandex.ru*

Проведен обзор существующих классификаций показателей качества воды лентических водных объектов, и на основе проведенного анализа авторами предложен минимально достаточный комплекс показателей качества воды в водоемах, включающий: глубину, температуру, pH, растворенный кислород, электропроводность, химическое потребление кислорода и состояние высшей водной растительности. Приведено обоснование предложенного комплекса показателей качества воды. Для оценки физико-географических особенностей рассматриваемых водных объектов в ГИС программе Surfer 9.0 построена трехмерная модель. Проведена оценка экологического состояния водоемов г. Уфы по предложенному комплексу показателей качества воды. Полученные результаты обработаны с помощью программы ArcGis и графически интерпретированы в работе. По предложенным показателям качества воды в водоемах возможно определить класс качества водного объекта, трофический статус, класс сапробности и пригодность для питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения, рекреационного и для рыбохозяйственных целей.

Ключевые слова: лентический водный объект, экологическое состояние, показатели качества воды.

ESTIMATION OF THE ECOLOGICAL CONDITION OF LENTICESKY WATER OBJECTS WITHIN THE URBANIZED TERRITORIES

Krasnogorskaya N.N., Elizarev A.N., Khaertdinova E.S., Mullayanov R.R.

*Ufa state aviation technical university, Ufa
Ufa, Russia (450025, Ufa, K. Marks street 12) ElinaSagitovna@yandex.ru*

The review existing classifications of indicators of quality of water lenticesky water objects is spent, and on the basis of the spent analysis authors offer is minimum sufficient complex of indicators of quality of water in the reservoirs, including: depth, temperature, pH, the dissolved oxygen, electroconductivity, chemical consumption of oxygen and a condition of the higher water vegetation. The substantiation of the offered complex of indicators of quality of water is resulted. For an estimation of fiziko-geographical features of considered water objects in GIS program Surfer 9.0 the three-dimensional model is constructed. The estimation of an ecological condition of reservoirs of Ufa city on the offered complex of indicators of quality of water is spent. The received results are processed by means of program ArcGis and graphically interpreted in work. On the offered indicators of quality of water in reservoirs probably to define a class of quality of water object, the trophic status, a class of saprobity and suitability for drinking, economic-household water supply, recreational and for the fishery purposes.

Key words: lenticesky water object, ecological condition, indicators of water quality.

Введение

В настоящее время одной из основных экологических проблем урбанизированных территорий, как заявлено в решении V Всемирного водного форума (Стамбул, 2009), является загрязнение водных объектов. Стремительный рост урбанизированных территорий оказывает отрицательное влияние на внутригородские водные объекты: водотоки и водоемы являются приемниками сточных вод, что негативно отражается на качестве воды и донных отложений, жизнедеятельности гидробионтов, водной растительности и прибрежной зоны. Высокая антропогенная нагрузка формирует напряженную геоэкологическую обстановку не только в самом водном объекте, но и на прилегающей территории, в связи с этим является актуальной оценка экологического состояния водных объектов, особенно водоемов, характеризующихся замедленным водообменом и пониженной самоочищающейся способностью.

На территории РФ практически равное количество водотоков и водоемов (около 2,8 млн.), при этом более половины водоемов расположены на урбанизированной территории.

В то же время, по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, общее количество гидропостов на водоемах (354) в 7 раз меньше чем на реках (2731), т.е. около 87 % водоемов выпадают из общей системы мониторинга экологического состояния водных объектов [3].

В связи с этим основным направлением развития системы мониторинга лентических водных объектов является разработка системы оперативной оценки экологического состояния водоемов урбанизированных территорий (экспресс-диагностика), опирающейся на комплекс научно-обоснованных показателей. Применение такой системы позволит сократить время на проведение лабораторных анализов, увеличить число гидрологических постов и оперативно принять решения по реабилитации водных объектов.

Анализ показателей качества воды в водоеме

Основным средством для проведения оценки экологического состояния водоема являются показатели качества воды. Показатели, характеризующие экологическое состояние лентических водных объектов, включены в ГОСТ 17.1.3.07-82 [2] и применимы для контроля качества природных вод по физическим, химическим и гидробиологическим показателям. Однако стандарт не применяется при контроле качества вод антропогенно – нагруженных водоемов (используемых для промышленных нужд, сброса сточных вод, нужд гидроэнергетики и т.д.). В целях контроля качества воды в стандарте предложены различные наборы показателей (программы). Например, для контроля качества воды в водоеме в основные фазы водного режима рекомендуется обязательная программа, включающая более 37 показателей.

Осуществление контроля, включающего определение всех показателей обязательной программы, является не только крайне дорогостоящим и трудоемким, но и информативно насыщенным, и тем самым может затруднить принятие своевременных решений, направленных на улучшение экологической ситуации. В связи с этим в ряде стран в последнее время ведутся работы по сокращению числа определяемых показателей. Впервые логическая схема разбиения на группы показателей качества воды предложена В.Б. Страдомским (1976 г.) (таблица 1) [1].

Таблица 1. Обобщенные группы показателей качества воды по В.Б. Страдомскому

Группа показателей	Измеряемые компоненты и свойства воды
Общие показатели	Температура, pH, Eh, электропроводность, O ₂ , взвешенные вещества
Минеральные вещества	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻
Органические вещества	Общий органический углерод, БПК, ХПК
Показатели эвтрофирования	Первичная продукция и деструкция, хлорофилл, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , N _{общ} , P _{мин} , P _{общ}
Показатели токсичности	Специфические биологические тесты (водные организмы, ферментативные реакции)
Специфические загрязняющие вещества	Тяжелые металлы (Hg, Cu, Ni, Zn, Pb, Cd и др.), радиактивность, пестициды, нефтепродукты, фенолы, СПАВ, CN, CO ₃ (ПХБ, ПАУ, хлорорганика)

Другая минимальная классификация показателей состояния водоемов рассмотрена в работе Г.М. Баренбойма, Е.В. Веницианова и В.И. Данилова-Данильяна [1]. Она включает в себя:

- базовые показатели – уровень воды, скорость течения, расход воды, температура, содержание взвешенных веществ, растворенного кислорода, pH, электропроводность;
- геохимические (фоновые) показатели, отражающие геологическое строение бассейна – общая жесткость, щелочность, индивидуальное содержание катионов кальция, магния и т.д.;

- показатели, характеризующие влияние антропогенной активности (через генерацию биогенных компонентов) на качество вод: содержание нитратов, фосфатов и т.д.;
- показатели, характеризующие преимущественно влияние хозяйственной деятельности – содержание тяжелых металлов, радиоактивность и органические загрязнения;
- гидробиологические показатели.

Анализ двух данных классификаций показал характерную избыточность измеряемых показателей при их возможной взаимозаменяемости. В условиях ограниченности финансовых и трудовых ресурсов, выделяемых на организацию и проведение мониторинга, оценка экологического состояния водоемов по вышеприведенным комплексам показателей снижает оперативность действий и тем самым уменьшает количество исследуемых водных объектов.

Оперативность оценки экологического состояния лентических водных объектов достигается путем мониторинга небольшого числа контролируемых и определяемых в ходе полевых и лабораторных исследований показателей, дающих интегральное представление о развитии происходящих в водоеме негативных процессов эвтрофирования, загрязнения и закисления. Например, в работе [5] предложен следующий набор показателей:

- характеристики водной массы (рН, показатели газового режима (O_2 , CO_2)), концентрация биогенных элементов (фосфор), токсические газы (H_2S , CH_4), концентрация хлорофилла «а», органолептическая характеристика (интенсивность запаха);
- визуальные характеристики водоема и береговой зоны: наличие плавающих на поверхности водоема примесей, остатки водной растительности, наличие цветения воды, загрязнение береговой зоны;
- состояние водной растительности;
- температура и удельная электропроводность.

В рассмотренном наборе показателей отсутствуют морфометрические и некоторые важнейшие гидрохимические показатели (например, ХПК).

Однако, можно ограничиться меньшим числом показателей за счет таких свойств показателей, как взаимозаменяемость и информативность. В настоящей работе проведенный анализ существующих классификаций показателей качества воды водоемов показал, что сейчас существует проблема выделения минимально достаточного комплекса показателей, т.е. каждый из предложенных показателей должен быть необходимым, а все показатели вместе достаточны для адекватного описания экологического состояния лентического водного объекта.

Обоснование предложенного комплекса показателей качества воды в водоеме

Для оценки состояния лентических водных объектов урбанизированных территорий на основе анализа существующих классификаций показателей качества воды с учетом взаимосвязи показателей, определяемых при оценке экологического состояния водоемов, авторами предложен комплекс показателей, исключающий избыточность и взаимозаменяемость показателей. Предложенный комплекс показателей содержит: глубину; температуру; растворенный кислород; электропроводность; рН; ХПК; состояние высшей водной растительности.

Выбор глубины в качестве показателя обусловлен тем, что это – один из морфометрических показателей, дающий количественное представление об озерной котловине. Также значение глубины используется при численном моделировании термического режима водоемов методом суперпозиции А.И.Пеховича и В.М.Жидких. От значения температуры зависят кислородный режим водоема, интенсивность процессов самоочищения, форма щелочности и состояние карбонатно-кальциевой системы. В случае теплового загрязнения при заданном значении температуры по математической модели Стритера-Фелпса определяют концентрацию растворенного кислорода и БПК (Бреховских В.Ф., 1982).

Концентрация кислорода определяет величину окислительно-восстановительного потенциала, направление и скорость процессов химического и биохимического окисления органических и неорганических соединений. Кислородный коэффициент является показателем трофического статуса озера (Салазкин, 1976).

Величина электропроводимости служит показателем суммарной концентрации электролитов для оценки минерализации воды и является суммарным индикаторным показателем антропогенного воздействия. Величина электрической проводимости является показателем трофического статуса водоема, класса качества и характера сапробности (Институт охраны природы и заповедного дела Минэкологии России, 1992).

По величине рН определяется содержание угольной кислоты в воде и соответственно углекислого газа, трофический статус водоема и класс качества (Романенко В.Д., 1990).

В настоящее время, являясь интегральным показателем, ХПК считается одним из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод. ХПК используется в качестве меры содержания органического вещества.

Видовой состав прибрежно-водной растительности позволяет охарактеризовать экологическое состояние экосистемы. В практике гидробиологических исследований широко используется методика индикации вод по биологическим показателям. Гидробиологический анализ позволяет оценить качество воды как среды обитания организмов, определить совокупный эффект комбинированного воздействия загрязняющих веществ, установить направление и изменение водных биоценозов в условиях загрязнения, т.е. является неотъемлемым элементом мониторинга экологического состояния водоемов.

Оценка экологического состояния водоемов г. Уфы по предложенному комплексу показателей качества воды в водоеме

Город Уфа является характерным примером урбанизированной территории, характеризующейся интенсивным развитием промышленности, транспорта и ростом численности населения. Естественная гидрографическая сеть в пределах территории г.Уфы насчитывает порядка 20 малых рек и ручьев и 90 озер естественного и искусственного происхождения. Основную массу городских водных объектов, подверженных антропогенному прессу, составляют лентические водные объекты площадью от 0,1 га до 84,0 га. Одним из таких водоемов является оз. Долгое (рисунок 1), расположенное в микрорайоне Нижегородка г. Уфы. Для оценки физико-географических особенностей оз. Долгое в ГИС программе Surfer 9.0 построена трехмерная модель, представленная на рисунке 1.

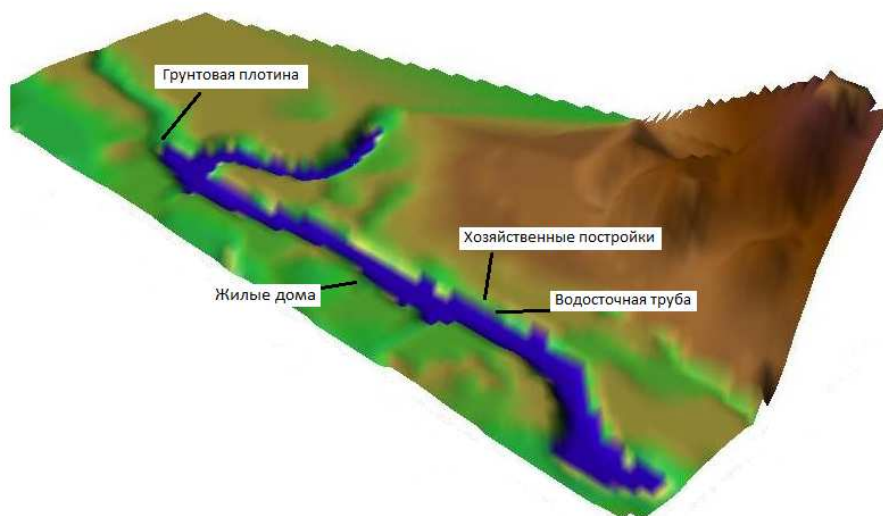


Рисунок 1. Трехмерная модель оз. Долгое

Загрязнение оз. Долгое происходит за счет сброса хозяйственно-бытовых сточных вод с территории комплекса малоэтажных жилых домов; смыва загрязняющих веществ

ливневыми и тальмими водами, что обусловлено особенностями рельефа местности и рекреационной нагрузки. Оз. Долгое является старицей реки Белая, поэтому в период весеннего половодья р.Белая соединяется с озером, что приводит к частичному затоплению прибрежной части и обновлению воды водоема.

Для оценки экологического состояния озера Долгое по предложенному комплексу показателей качества воды в водоеме, в июне 2011 года проведено флористическое описание водоема, отбор и анализ проб воды. Определение состояния водной растительности проведено по видовому и количественному составу флоры, путем натуральных исследований фитоценозов. Описание проведено в естественных границах на наиболее однородных участках сообществ.

По предложенному комплексу показателей качества воды в водоеме: глубина; температура; растворенный кислород; электропроводность; pH; ХПК; состояние высшей водной растительности – проведено описание высшей водной растительности оз.Долгое. В соответствии с полученными результатами описания степень зарастания оз.Долгое по схеме Штармаха является равномерной и составляет 2 % от общей площади водоема. Флористический состав объекта включает 10 видов высших растений, принадлежащих к 8 семействам. На основе данных флористического описания оз. Долгое проведена оценка степени загрязнения воды путем определения индикаторных видов высших водных растений по системе Кольквитца – Марссона. На оз.Долгое выявлены два вида-индикатора из списка индикаторных видов Кольквитца – Марссона: элодея канадская и роголистник погруженный, которые являются представителями β-мезасапробов.

Сапробиологический анализ оз. Долгое выполнен по методике Р. Пантле и Н. Букк в модификации В. Сладчек. Индекс сапробности рассчитан по формуле [6]:

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h}, \quad (1)$$

где s – индикаторная значимость вида (s=2, т.к. оба вида-индикатора являются β-мезасапробами);

h – частота встречаемости (для обоих видов h=7, так как виды встречаются очень часто.

В соответствии с полученным значением (S=2) по шкале сапробности вода оз. Долгое β-мезасапробная (1,5...2,5), т.е. водоем является слабозагрязненным.

В целях оценки экологического состояния оз. Долгое по предложенному комплексу показателей качества воды в водоеме отбор проб воды сопровождался фиксацией глубины и температуры воды с помощью ручного эхолота JJ-Connect Fisherman 130. Значения температуры воды и глубины представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения температуры воды и глубины оз. Долгое

Параметр	Max	Min	Среднее	± δ, %
Глубина, м	5,4	1,4	4,21	29,5
Температура, °С	20,4	20,0	20,1	0,5

Как видно из таблицы 2, по величине максимальной глубины оз. Долгое, в соответствии с классификацией водоемов по глубине, малое (5...10 м). В среднем температура воды в верхнем слое оз. Долгое составила 20,1°С, что характерно для водоемов, расположенных в умеренном климатическом поясе, и в соответствии с классификацией водоемов умеренной зоны (Китаев С.П., 1984), оз. Долгое является теплым (15...20°С). Распределение глубины и температуры воды по площади оз. Долгое получено с помощью программы ArcGis 9.3.1 (Spatial Analyst), результат представлен на рисунке 2.

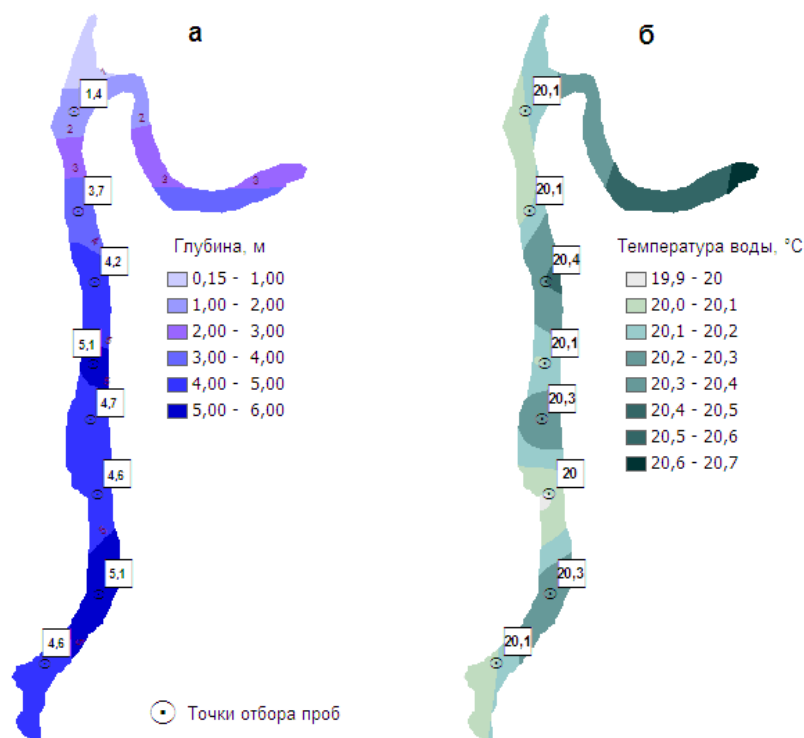


Рисунок 2. Распределение глубины (а) и температуры воды (б) по площади оз. Долгое

В связи с тем, что оз. Долгое является протяженным объектом (длина 2 км, ширина 0,07 км), точки отбора проб повторяют срединную линию водоема. Полученное распределение глубины и температуры воды позволяет определить значения рассматриваемых параметров в любой точке оз. Долгое. Результаты измерений гидрохимических показателей воды в оз. Долгое представлены в таблице 3.

Таблица 3. Гидрохимические параметры оз. Долгое

Параметр	Max	Min	Среднее	$\pm \delta$, %
Концентрация растворенного кислорода, мг/л	5,2	3,6	4,53	13,2
pH	8,67	8,43	8,5	0,94
Электропроводность, мкСм/см	592	584	590	0,45
ХПК, мг/л	8,16	7,70	7,8	2,05

Концентрация растворенного кислорода измерена с помощью кислородомера АЖА-101М. По значению средней концентрации растворенного кислорода оз. Долгое классифицировано как загрязненное. На основании значений растворенного кислорода и температуры воды в оз. Долгое рассчитан дефицит кислорода, который составил 4,65 мг/л, т.е. в водоеме наблюдается существенный недостаток кислорода. Распределение концентрации растворенного кислорода в оз. Долгое представлено на рисунке 3.

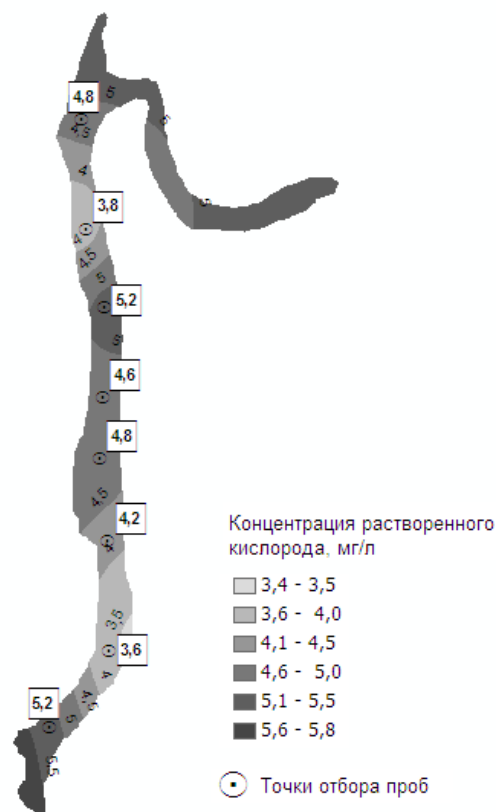


Рисунок 3. Распределение концентрации растворенного кислорода в оз. Долгое

При сопоставлении рисунков 3 и 1 видно, что самое низкое значение концентрации растворенного кислорода (3,4 мг/л) характерно для района, где на берегу имеются хозяйственные постройки и производится слив сточных вод, о чем свидетельствует наличие водосточной трубы. Пониженное значение концентрации растворенного кислорода в оз. Долгое свидетельствует об изменении биологических процессов в водоеме, о загрязнении водоема органическими веществами.

Величина рН определена с помощью рН-метра Эксперт-001-1рН. По показателю рН вода оз. Долгое отнесена к слабощелочной (6,5...8,5), в водах присутствуют $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и является умеренно загрязненной (8,4...8,5).

Для измерения электропроводности использовался кондуктометр inoLab Cond Level1. Среднее значение удельной электропроводности в водоеме соответствует общему содержанию солей равному 0,59 г/л и указывает на умеренное загрязнение водоема. В соответствии с полученными результатами вода в озере Долгое относится к категории вод с относительно повышенной минерализацией (0,5...1 г/л).

ХПК определено методом Кубеля. В соответствии с полученными результатами по показателю ХПК озеро Долгое является грязным. На основе данных ХПК определена концентрация углерода, содержащегося в органических веществах, которая позволила классифицировать озеро Долгое по трофическому типу. В соответствии с классификацией Калининой и Румянцевой (1980) озеро Долгое является олиготрофно-мезотрофным. Дальнейшее загрязнение озера органическими веществами без затопления в период половодья на р. Белая приведет к эвтрофикации водоема.

Основные результаты оценки экологического состояния оз. Долгое в летний период 2011 г. представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты оценки экологического состояния оз. Долгое

Показатель	Трофи-ческий статус	Характер сапробности	Класс качества	Пригодность			
				Пит. водо-снабж	Хоз-быт водо-снабж	Рекре. водо-польз.	Рыб-хоз
Концентрация растворенного кислорода, мг/л	//	//	Загрязненное	+	+	+	-
рН	Поли-трофный	//	Умеренно загрязненное	+	+	+	+
Электро-проводность, мкСм/см	Эв-трофный	Бетамезо-сапробность	Загрязненное	+	+	+	//
ХПК, мг/л	//	//	Грязное	+	+	+	//
Индекс сапробности	//	Бетамезо-сапробность	Умеренное загрязненное	//	//	//	//

Примечание: // по данному параметру трофность, сапробность или пригодность водоема не определима

Таким образом, предложенный минимально достаточный комплекс показателей качества воды позволяет провести экспресс-диагностику экологического состояния лентических водных объектов и увеличить возможное число исследуемых объектов. Согласно полученным результатам в настоящей работе по величине растворенного кислорода оз. Долгое по классу качества отнесено к загрязненному. Однако в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00 [4] величина растворенного кислорода соответствует нормативу, и оз. Долгое может быть использовано для питьевого, хозяйственно-бытового водоснабжения, рекреационного, но не для рыбо-хозяйственных целей. По показателям рН и ХПК норматив не превышен как для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, так и для рекреационного водопользования.

Список литературы:

1. Баренбойм Г.М., Веницианов Е.В., Данилов-Данильян В.И. Некоторые научно-технологические проблемы проектирования, создания и функционирования систем мониторинга водных объектов // Вода: химия и экология. 2008. № 2. С. 3-10.
2. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М.: Госстандарт, 1988. 20 с.
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года».
4. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 24 с.
5. Теория и практика восстановления внутренних водоемов. СПб.: Лема, 2007. 394 с.
6. Ходоровская Н.И., Кандерова О.Н. Физико-химические и гидробиологические методы исследования экологического состояния водоемов: учеб. пособие. Челябинск: ЮУрГУ, 2002. 70 с.

Рецензенты:

Месропян А.В., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет», г. Уфа.

Хизбуллин Ф.Ф., д.х.н., Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности РБ (НИИ БЖД РБ), ГУП, г. Уфа.

