

УДК 504.4.054

КОМПЛЕКСНЫЕ КРИТЕРИИ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОТОКОВ*

Т.П. Спицына, О.В. Тасейко

Сибирский государственный университет науки и технологий
им. акад. М.Ф. Решетнева, Красноярск

Выполнены анализ и обобщение существующих комплексных критериев оценки самоочищения водоемов по трем основным группам: физико-химические, химические и биохимические. В каждой группе выделены основные факторы, влияющие на протекание процесса самоочищения и позволяющие его оценить и спрогнозировать. Проведена оценка применимости критериев, исходя из имеющихся данных наблюдений за качеством водотоков на постах государственной наблюдательной сети на рр. Енисей, Кача и Базаиха в районе г. Красноярск.

Ключевые слова: *эвтрофикация, самоочищение водотока, экологические факторы, поверхностные воды, индекс нитрификации, индекс трофности.*

Введение. Тотальное загрязнение водных экосистем биогенными элементами, поступающими с поверхностным стоком сельскохозяйственных угодий, привело к эвтрофированию не только озер и водохранилищ, но и водотоков. Значимыми факторами антропогенного эвтрофирования водоемов являются сокращение водообмена, строительство плотин, образование застойных зон, тепловое загрязнение воды.

Природные водные системы способны к самоочищению, предполагающему наличие совокупности гидродинамических, биохимических, химических и физических процессов, приводящих к уменьшению концентрации загрязняющих веществ, а в пределе – к восстановлению естественного облика водного объекта (Караушев, 1981). Этот процесс можно охарактеризовать с помощью различных показателей. Однако проблема оценки является исключительно трудной, требующей одновременного учета самых разнообразных свойств водного объекта.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ. Номер проекта 15-07-0682. Название проекта: Моделирование процессов самоочищения водотоков в условиях резко-континентального климата Центральной Сибири.

Целью работы является анализ существующих комплексных критериев для оценки самоочищения водоемов и изучение самоочищающей способности крупных и малых рек Красноярской агломерации.

1 Классификация факторов и процессов самоочищения.

Существует большое число критериев и систем показателей, математически характеризующих стадию или степень самоочищения водного объекта. Целесообразно разбить их на две основные группы (таблица 1):

- входные – управляющие этими процессами – ускоряющие или замедляющие;
- выходные – показатели, используемые для оценки самоочищения в составе тех или иных критериев.

Т а б л и ц а 1

Классификация параметров самоочищения водотоков

Влияющие факторы (входные)		Характеризующие факторы (выходные)	
Абиотические факторы	Длина водотока, скорость течения, уклон русла реки, шероховатость дна, озерность и заболоченность, наличие порогов, типы почв бассейна, климат, гидрологический режим территории	Физические и химические характеристики	Прозрачность, мутность, температура воды; концентрация кислорода, органического вещества, биогенных элементов, металлов, специфических загрязняющих веществ
Биотические факторы	Видовое разнообразие гидробионтов, площадь леса на территории	Живое вещество	биомасса (фитопланктона, зоопланктона; видовой состав живых организмов; продукция экосистемы (продукция фитопланктона за год/за сутки, чистая первичная продукция); концентрация хлорофилла; скорость фотосинтеза.
Антропогенные факторы	Зарегулированность стока, объемы сброса сточных вод, состав сточных вод, повышение температуры вод	Антропогенные факторы	Морфологические параметры русла, наносы

Откликом системы будет являться непосредственный процесс изменения параметров качества воды в ходе естественных природных

процессов самоочищения. Например, почвенные частицы, несущие растворимые биогенные вещества, попадая с поверхностным стоком в водоток, будут приводить к росту фитомассы планктона и усилению эвтрофикации. Еще больше данный процесс усилится при недостатке аэрации и отсутствии активных зон перемешивания.

В течение длительного периода исследование механизмов самоочищения воды в РФ рассматривалось, в первую очередь, в плане очистки сточных вод (Яковлев и др., 1975). В настоящее время наблюдается усиление дифференциации комплексных оценок с целью более детального изучения составляющих, характеризующих качество воды по отдельным показателям, и интеграции их, позволяющих получить обоснованные выводы о качестве воды в целом (Беляев, 1999).

По принципам их разработки все методы можно разделить на две основные группы. К первой группе относятся методы оценки качества воды в виде набора различных характеристик по гидрохимическим, гидробиологическим, микробиологическим, гидрологическим показателям (Беляев, 1999; Носаль, 2001). Однако сложность отнесения рассматриваемого состояния воды водного объекта к определенному классу загрязненности ограничивает рамки широкого распространения этих методов в практической работе.

Методы второй группы – интегральные, относительно простые в применении и позволяющие решать задачи по установлению уровня загрязненности в пространственно-временной динамике (Никаноров, 1988; Михайловский и др., 1991; Стахов, 2001). Созданию интегральных оценок качества воды уделяется большое внимание во многих странах (Белогрудов и др., 1984). Однако проблема комплексных оценок является исключительно трудной, требующей одновременного учета самых разнообразных свойств водного объекта, как например стабильное функционирование микробиоценоза, участвующего в трансформации биогенных элементов и органических веществ.

Классификация методов и критериев в данной работе рассмотрена на основе классических представлений о природе процессов самоочищения.

1.1 Физико-химические критерии самоочищения.

Физико-химические критерии самоочищения относятся преимущественно к интегральной группе показателей в связи с большим количеством влияющих факторов. Одними из наиболее значимых процессов являются осаждение взвешенных частиц и окисление растворённых соединений кислородом воды. Процессы разбавления загрязняющих веществ зависят от расхода воды. Их концентрация будет тем меньше, чем больше расход воды (табл. 2). Однако строгой пропорциональности при этом может не наблюдаться

из-за неравномерного распределения загрязняющих веществ в потоке, например, вследствие концентрации на поверхности воды в виде пленки (Скорняков и др., 1997). Такие морфометрические факторы водотока, как, его длина, густота речной сети, высота от истока до устья, извилистость и прочие, указанные в таблице 2, существенно влияют на степень самоочищения.

Т а б л и ц а 2

Классификация физико-химических факторов
и процессов самоочищения воды

Факторы самоочищения	Процессы, коэффициенты, методы
Расход воды, густота речной сети	Разбавление
Скорость течения, извилистость, водной массы, объем	Аэрация, осаждение, морфометрический фактор эвтрофикации
Концентрация растворенного кислорода	Окислительные реакции, коэф-т окисления; коэф-т реаэрации; модель Стритера-Фелпса
Рельеф: высота от истока до устья, шероховатость русла	Перемешивание, коэффициент Шези, трансформация загрязнителей
Освещенность и температура	Число дней в году с $T_{\text{воды ср}} > 16$; индекс цветности; скорость фотосинтеза; показатель природного потенциала самоочищения (ППС _{H2O})
Нерастворимое органическое вещество	Сорбция, снижение растворенного кислорода
Температура воздуха и воды, соленость	Испарение и растворение газов на границе раздела фаз воздух-вода, скорость химических реакций

Наличие большого количества растворенного кислорода значительно влияет на процессы эвтрофикации. Первую модель кислородного баланса и процесса самоочищения предложили Стритер и Фелпс (Whitehead, Lack, 1982). В качестве переменных в ней были использованы концентрация органического вещества, измеренная в единицах биохимического потребления кислорода, и дефицит кислорода, т.е. разность между равновесной и текущей концентрацией кислорода в воде. Сегодня наиболее широко применяется так называемая двухпленочная модель, позволяет рассчитать поток вещества через поверхность раздела в виде функции независимо от измеряемых параметров (Скурлатов и др., 1994).

Известно, что на участках суши с незначительными уклонами и колебаниями высоты наблюдается больше эвтрофицированных водных объектов, чем на территориях с холмистым и горным рельефом.

Поэтому такие процессы, как степень падения от истока к устью, шероховатость дна и прочее имеют существенное значение при оценке процессов самоочищения (таблица 2).

Рост массы фитопланктона автоматически приводит к изменению объема донных отложений, увеличению поглощения солнечной радиации, повышению температуры воды и нарушению баланса кислорода. Эти факторы являются лимитирующими при оценке процессов самоочищения.

Для малорастворимых в воде соединений, таких как хлорорганические пестициды, полихлорбифенилы, ПАУ, наиболее эффективным способом уменьшения их содержания является сорбция на нерастворимом органическом веществе (Вавилин, 1993).

Испарение и растворение газов на поверхности раздела воздух – вода имеет важное значение для массопереноса веществ с высокой летучестью. Поскольку процессы испарения – растворения зачастую неравновесны, для описания кинетики используют различные физико-математические модели.

Традиционно, в соответствии с методикой выявления гидравлических факторов самоочищения, определяются два показателя: условия самоочищения поверхностных вод за счет трансформации загрязняющих веществ и интегральные условия самоочищения (Струман, 1995; Современное..., 2012). Общую характеристику температурных условий самоочищения дает показатель природного потенциала самоочищения воды (Шапарь и др., 2013). Развитие процессов эвтрофикации оценивают в зависимости от абиотических экологических факторов: освещенности, температуры, содержания биогенных элементов азота (N) и фосфора (P).

Количественное определение степени эвтрофикации водоема усложнено в связи с варьированием основных показателей во времени: существованием суточных и сезонных циклов развития фитопланктона, зоопланктона и других элементов водной экосистемы (Даценко, 2007).

Обобщение факторов самоочищения и процессов, их характеризующих, представлено в таблице 2. На сегодняшний день имеется тенденция к интеграции физико-химических показателей самоочищения воды с химическими и биологическими процессами с использованием методов физико-математического моделирования.

1.2 Химические критерии самоочищения.

Химические критерии самоочищения водотока используются, прежде всего, для оценки воды на ее пригодность для конкретных видов водопользования. Они относятся к первой группе, основывающихся на конкретном наборе характеристик. Так временная изменчивость показателей качества воды тесно связана с колебаниями водности рек,

а пространственная – с различиями в интенсивности антропогенной нагрузки на речные водосборы (Штилькрот, Ясинский, 2002).

Т а б л и ц а 3

Классификация химических факторов и процессов самоочищения воды

Факторы самоочищения	Процессы самоочищения
Концентрация ЗВ	Накопление ЗВ в биоте и донных отложениях, эвтрофикация.
Концентрация биогенных элементов	Эвтрофикация, нитрификация, денитрификация
Наличие окислителей	Редокс-процессы, электропроводность. Процессы окисления ЗВ в природных водах двух типов: 1) в качестве окислителя участвуют ионы металлов в окисленной форме, наиболее вероятны для ЗВ с выраженными лигандными и восстановительными свойствами; 2) в окислении участвуют свободные радикалы и другие реакционно способные частицы. В зависимости от климата, фотохимически активное солнечное излучение катализирует процессы трансформации ЗВ
Разбавление и химическая трансформация	Степень скорости процессов самоочищения
Концентрация ОВ	Деструкция ОВ в природных водах, основанная на физико-химическом равновесии
Интенсивность трофности	Оценка уровня трофности по отношению азота к фосфору (Сиренко, 1979); интенсивность процессов нитрификации (Чеснокова, 2011).
Коэффициент неконсервативности ЗВ	Химическое превращение веществ
Состав и структура солей в воде	Скорость и условия гидролиза. Многие ЗВ являются слабыми кислотами или основаниями и участвуют в кислотно-основных превращениях, сопровождающих реакции гидролиза

Вклад отдельных процессов в способность природной водной среды к самоочищению зависит от природы загрязняющих веществ (ЗВ): консервативных (ионы металлов, минеральные соли, гидрофобные соединения типа хлорорганических пестицидов, нефтяные углеводороды, радионуклиды) или неконсервативных биогенные элементы, легкоусвояемые органические соединения) (Жуков и др., 1977).

Качество воды можно охарактеризовать с помощью ряда показателей (табл. 3).

Скорости химических процессов превращения веществ приближенно оценивают с помощью коэффициента неконсервативности, который при распаде вещества является величиной отрицательной (Караушев, 1981). Для оценки самоочищения

экосистемы реки от ионов аммония учитывается интенсивность процессов нитрификации (Сиренко, 1979). Обобщенный подход оценки деструкции органических веществ (ОВ) в природных водах основан на физико-химическом равновесии (Белеванцев и др., 2004).

1.3 Биохимические критерии самоочищения.

Сущность процессов биохимического самоочищения сводится к постепенной минерализации биотой поступающего органического вещества до стабильных соединений (CO_2 , H_2O , SO_4^{2-} , NO_3^- и др.). Роль растительных организмов в самоочищении неоднозначна. С одной стороны, в результате фотосинтеза растительными организмами кислород поступает в водоток. С другой стороны, расход кислорода в процессе деструкции органического вещества может привести к его глубокому дефициту (Скурлатов и др., 1994). Кроме того, донные отложения органического вещества поглощают значительное количество кислорода на аэробное окисление.

Микробиологические процессы включают реакции с участием окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов (оксидаз, оксигеназ, дегидрогеназ, гидролаз и др.) (Вавилин, 1983). Оптимальная температура для протекания процессов биodeградации загрязняющих веществ составляет 25 – 30°C, поэтому такой вид самоочищения крайне незначителен в реках Сибири, так как температура поверхностных вод до такой отметки поднимается только в малых равнинных водотоках на несколько дней в году.

Для гидробиологической характеристики водных объектов обычно используют различные интегральные показатели (табл. 4).

К настоящему времени, составлены подробные списки видов, характеризующих сапробность – комплекс физиологических свойств данного организма, обуславливающий его способность развиваться с тем или иным содержанием органических веществ, с той или иной степенью загрязнения водного объекта (Шитиков, 2005). На практике чаще используют фитопланктон, зоопланктон, зообентос, состав донных животных, макрозообентос (Wetzel, 1991).

В целом следует отметить, что значительная часть разработанных биохимических и биологических индексов ограничена либо региональным характером распространения индикаторов, либо может применяться в водоемах с определенными значениями гидрологических характеристик.

Таблица 4

Критерии гидробиологической характеристики благополучия водных объектов

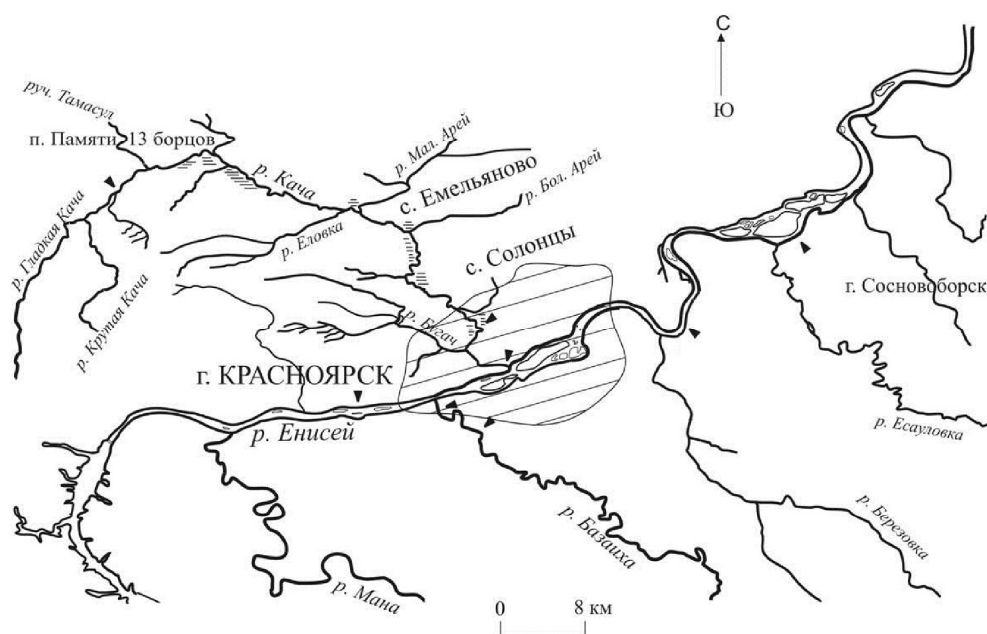
Критерий	Характеристика
Продукция экосистемы	Валовая продукция фитопланктона в год, максимальная первичная продукция за сутки; продукция фитопланктона в сутки (Гутельмахер, 1986); чистая первичная продукция, средняя биомасса фитопланктона за вегетационный период; биомасса бентоса за вегетационный период, ихтиомасса (Китаев, 1984); разность суточной продукции и деструкции (Цветкова и др., 1995).
Количественные характеристики	Видовое разнообразие фитопланктона, зоопланктона и зообентоса оценивают на основе расчета информационного индекса разнообразия Шеннона–Уивера; индекс видового разнообразия, численность фитопланктона, количество сапрофитов (Виноградов и др., 2002); численность бактерий за вегетационный период; концентрация хлорофилла «а» (Опекунова, 2004).
Структура сообщества	Формирование трофической структуры биологического сообщества в условиях антропогенных воздействий (Яковлев, 2000), взаимодействие фито и зоопланктона, факторы, влияющие на видовое разнообразие фитопланктона (Немцева и др, 2012).
Определение трофности	Шкала С.П. Китаева (1984), трофический индекс Карлсона (Гутельмахер, 1986), индекс трофности ИТ, уровень трофности УТ (Яковлев, 2000).
Оценка сапробности	Метод индикаторных организмов Пантле и Букка в модификации Сладечека (Абакумов, 1992).
Процессы, учитываемые при определении статуса трофности	Отношения ассимиляции к дыханию, удельная биоактивность (Гутельмахер, 1986), скорость фильтрации воды зоопланктоном (Виноградов и др., 2002), скорость фотосинтеза (Яковлев, 2000).
Оценка хронического загрязнения водных объектов ОВ	Индексы, основанные на соотношении числа видов и численности отдельных групп долгоживущих бентосных организмов (биотический индекс Вудивисса и олигохетный индекс Гуднайта-Уитлея) (Немцева и др., 2012). Информационный индекс сапробности, отражающий отношение численности массовых видов, в разной степени устойчивых к загрязнению, к общему составу фауны олигохет (Немцева и др., 2012).

2 Оценка самоочищения некоторых рек Красноярской агломерации.

В результате анализа имеющихся критериев для оценки комплексного самоочищения природных вод были выбраны те из них, которые позволяют наиболее полно оценить реки Красноярской агломерации. Одним из требований, ограничивающих выбор критериев для расчета, было наличие данных мониторинга государственной наблюдательной сети (ГНС) Среднесибирского УГМС.

Для исследования были выбраны две малые реки Кача и Базаиха и одна крупная – Енисей (рис. 1). Основные гидрографические характеристики представлены в табл. 5.

Из химической группы критериев были выбраны индекс нитрификации (Чеснокова, 2011) и индекс трофности (Скурлатов и др., 1994). Оценка выполнялась по данным наблюдений за период с 1985 по 2003 гг. Каждый индекс определялся по годовым значениям в целом и по основным гидрологическим фазам.

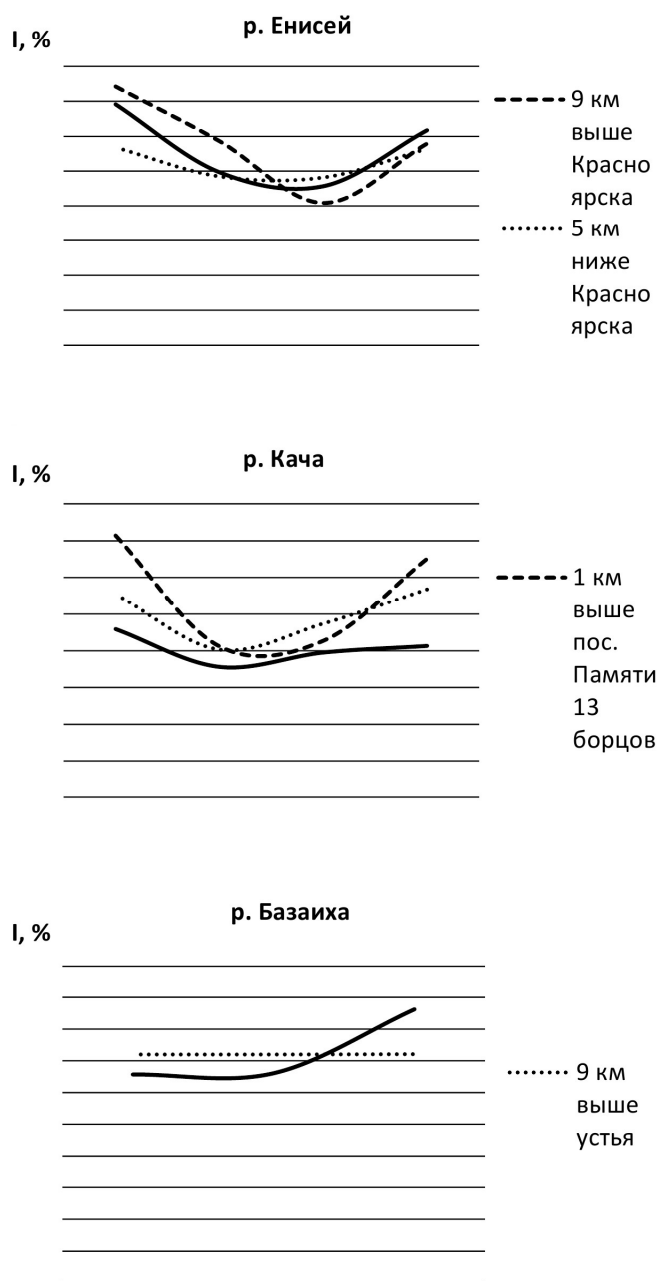


Р и с . 1 . Карта-схема местонахождения створов водотоков Красноярского промышленного региона

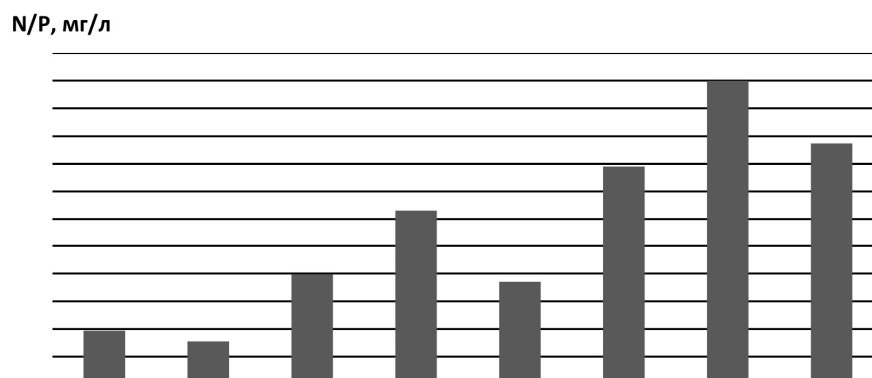
Таблица 5

Основные гидрографические характеристики бассейнов рек (Спицына, 2006)

Река	Площадь водосбора, км ²	Длина, км	Средняя высота водосбора, м	Тип питания	Лесистость, %	Заболоченность, %
р. Енисей	2599000	3827	1500	Снеговой	>50	1-3
р. Кача	1270	119	407	Снеговой	81	<1
р. Базаиха	994	128	521	Снеговой	95	0



Р и с . 2 . Индекс нитрификации I в реках Красноярского региона



Р и с . 3 . Индекс трофности N/P в реках Красноярского региона

Индекс нитрификации описывает степень интенсивности процессов. Чем выше значение, тем водная экосистема лучше справляется с процессом денитрификации с помощью микробиологических процессов (рис. 2). Самое низкое значение характерно для реки с самым неблагоприятным гидрохимическим состоянием вод – Кача. Достаточно стабильное состояние наблюдается в верхнем створе р. Базаиха, где хозяйственное воздействие на водоток минимально – присутствует только частная застройка и отсутствует санкционированный выпуск сточных вод.

Несмотря на единые абиотические условия среды, интенсивность процессов разная в одно и то же время года. Для р. Кача минимальная степень нитрификации наступает в весенний паводок из-за поступления большого количества биогенов с растаявшим снегом. Так как р. Енисей, по своим гидрологическим характеристикам, в отличие от рр. Кача и Базаиха, относится к крупным водотокам (таблица 5), то разбавляющее действие весеннего паводка в этом водотоке наблюдается позже, в начале летней межени (рис. 2). С прогревом воды в конце лета, деятельность нитрифицирующих бактерий активизируется, что положительно сказывается на росте индекса нитрификации в р. Базаиха.

Индекс трофности (N/P) (рис. 3), относящийся к биохимической группе показателей, рассчитывается как соотношение концентраций сумм азота к фосфору. Согласно Ю.И. Скурлатову и др. (1994), значение N/P выше 10 приводит водоток к вспышке эвтрофицированного цветения диатомовых водорослей. Высокие его значения получены для

рр. Енисей и Кача, что подтверждает высокую степень эвтрофикации в реках Красноярского региона.

Заключение. Самоочищение водоемов зависит от сложного комплекса гидрологических, физико-химических и биологических факторов, степень проявления которых зависит от климата конкретного региона.

В качестве примера, для рек Красноярского региона рассчитаны индекс нитрификации и индекс трофности. Результаты расчетов показывают, что способность водотоков к самоочищению убывает в ряду: Базаиха – Енисей – Кача.

Лимитирующими факторами самоочищения водотоков для Центральной Сибири будут являться следующие:

- физико-химические – температура воды, скорость течения, концентрация растворенного кислорода;
- химические – концентрация ЗВ, наличие окислителей;
- биохимические – продукция экосистемы за год, трофность, сапробность.

Оценки состояния трофности водотоков Красноярского региона, полученные с помощью разных критериев, показали непротиворечивые и сходные результаты. При этом использование подобных критериев не позволяет в полной мере оценить временную сезонную динамику процессов самоочищения. Использование же более сложных параметров зачастую требует большого набора данных, недоступных на государственной наблюдательной сети. Необходимо разрабатывать математическую модель самоочищения малых рек в условиях резко-континентального климата Центральной Сибири с учетом как физико-химических, так и биологических факторов. Первые подходы к данному исследованию выполнены авторами (Taseiko, 2016).

Список литературы

- Абакумов В.А., Тальских В.Н., Попченко В.И., Булгаков Г.П., Свирская Н.Л., Кринева С.В., Попченко И.И., Семин В.А., Хромов В.М., Распопов И.М., Марголина Г.Л., Воронова Л.Д., Пушкарь И.Н.* 1992. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат. 320 с.
- Белеванцев В.И., Малкова В.И., Рыжих А.П., Смоляков Б.С., Аношин Г.Н.* 2004. Один из аспектов химико-термодинамического моделирования в решении комплексных задач описания состояния водных систем // *Химия в интересах устойчивого развития.* № 12. С. 757-767.
- Белогрудов В.П., Лозаннский В.Р., Песина С.А.* 1984. Применение обобщенных показателей для оценки уровня загрязненности водных // *Комплексные оценки качества поверхностных вод.* Л.: Гидрометеиздат. С.33-43.

- Беляев С.Д.* 1999. Гидроэкология: концепция охраны вод на основе идеологии целевых показателей / С.Д. Беляев, А.М. Черняев // Инженерная экология. № 6. С. 2-9.
- Вавилин В.А.* 1983. Нелинейные модели биологической очистки и процессов самоочищения в реках. М.: Наука. 155 с.
- Виноградов А.Г., Березина Н.А., Лантева Н.А., Жариков Г.П.* 2002. Использование структурных показателей бактерио- и зообентоса для оценки качества донных отложений (на примере водоемов Верхневолжского бассейна) // Водные ресурсы. Т. 29, № 3. С. 329-336.
- Гутельмахер Б.Л.* 1986. Метаболизм планктона как единого целого. Л.: Зоол. Ин-т АН СССР. 153 с.
- Даценко Ю.С.* 2007. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М.: ГЕОС. 252 с.
- Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д.* 1977. Методы очистки производственных сточных вод. М.: Стройиздат. 208 с
- Караушев А.В.* 1981. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Л.: Гидрометеоиздат. 175 с.
- Китаев С.П.* 1984. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука. 207 с.
- Лозанский В.П.* 1984. Проблема комплексных оценок качества поверхностных вод и пути ее решения // Комплексные оценки качества поверхностных вод. Л.: Гидрометеоиздат. С. 6-14.
- Михайловский Г.Е., Пучков А.Н., Малицкий С.В.* 1991. Экологическое нормирование как концептуальная база экологической экспертизы // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: труды симпозиума. – Л.: Гидрометеоиздат. С. 348-360.
- Немцева Н.В., Игнатенко М.Е., Плотников А.О., Шабанов С.В.* 2012. Экологические особенности развития фитопланктона открытых водоемов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. № 1. С. 1-12.
- Никаноров А.М.* 1988. Проблема нормирования качества поверхностных вод и натурное экологическое моделирование / А.М. Никаноров, М.Н. Тарасов // Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. Л.: Гидрометеоиздат. Вып. 1. С. 5-9.
- Носаль А.П., Черняев А.М.* 2001. Нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты в свете концепции устойчивого развития // Инженерная экология. № 5. С. 2-13.
- Опекунова М.Г.* 2004. Биоиндикация загрязнений. СПб.: Изд-во С.Петербург. ун-та. 266 с.
- Скорняков В.А., Даценко Ю.С., Масленикова В.В.* 1997. Картографирование условий самоочищения природных вод // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. № 5. С. 62-66.
- Скурлатов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А.* 1994. Введение в экологическую химию. М.: Высш.шк. 400 с.

- Современное состояние водных ресурсов и функционирование водохозяйственного комплекса бассейна Оби и Иртыша. 2012 / отв. ред. Ю.И. Винокуров, А.В. Пузанов, Д.М. Безматерных; Рос. Академия наук, Сибирское отделение, Институт водных и экологических проблем СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. 236 с.*
- Сиренко Л.А. 1979. Основные факторы естественного и антропогенного эвтрофирования // Водные ресурсы. № 4. С.15-30.*
- Спицына Т.П. 2005. Система оценки загрязнения естественных водотоков Красноярского промышленного региона: дисс. ... канд. тех. наук. Красноярск. 172 с.*
- Стахов А.А. 2001. Экологическое нормирование – основа природоохранной работы // Вода и экология: проблемы и решения. № 1. С. 62-63.*
- Стурман В.И. 1995. Основы экологического картографирования. Ижевск: Изд-во Удм. ун-та. 221 с.*
- Цветкова Л.И., Карамзинов Ф.В., Усанов Б.П. 1995. Нормативное обеспечение экологической безопасности водных систем Санкт-Петербурга // Вестник Межпарламентской ассамблеи. С. 145-148.*
- Чеснокова С.М., Савельев О.В. 2011. Уровень эвтрофикации и самоочищающая способность малых рек урбанизированных территорий на примере реки Каменка // Экология речных бассейнов: Труды 6-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. проф. Т.А. Трифионовой; Владим. гос. ун-т. им. А.Г. и Н.Г.Столетовых, Владимир. С. 92-96*
- Шапарь А.Г., Скрипник О.А., Емец Н.А. 2013. Особенности влияния техноэкосистемы бассейна р. Днепр на шельф Черного моря // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу: Зб. наук. пр. – Севастополь, Вип. 27. С. 231-236.*
- Шилькрот Г.С., Ясинский С.В. 2002. Пространственно-временная изменчивость потока биогенных элементов и качества воды малой реки // Водные ресурсы. Т. 29. № 3. С. 343-349.*
- Щелькова Н.М. 2006. Динамика экологического состояния основного водотока мегаполиса (на примере реки Москвы) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук (Специальность 03.00.16 – Экология). М. 48 с.*
- Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. 2005. Количественная гидроэкология: методы, критерии решения: в 2 кн. Ин-т экологии Волжс. бассейна. – М.: Наука, 2005. Кн.1. 281 с.*
- Яковлев С.В., Карелин, Я.А., Жуков, А.И., Колобанов, С.К. 1975. Канализация. М.: Стройиздат. 932 с.*
- Яковлев В.А. 2000. Трофическая структура зообентоса – показатель состояния водных экосистем и качества воды // Водные ресурсы. Т. 27. №2. С. 237-244.*
- Taseiko O.V., Spitsina T.P., Milosevic H., Radovanovic D., Valjarevic A. 2016 Biochemical processes of self-purification model in small rivers // CEUR*

- Workshop Proceedings, M. Jeusfeld c/o Redaktion Sun SITE, Informatik V, RWTH Aachen, December. 6 p.
- Wetzel R.G., Likens G.E. 1991. Limnological Analyses. N.Y.: Springer-Verlag Inc. P. 153-165.
- Whitehead P. G. Lack, T. 1982. Dispersion and self-purification of pollutants in surface water systems. A report by IHP working group 6.1. Institute of Hydrology Wallingford Oxon, UK, Water Research Centre Medmenham Bucks, UK Unesco.

COMPLEX CRITERIA FOR ESTIMATION OF WATER STREAM SELF-PURIFICATION

T.P. Spitsina, O.V. Taseiko

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

We analyzed the complex criteria of self-purification assessment of water stream. Criteria were combined into three main groups: physical and chemical, chemical and biochemical. Major factors which activate self-purification were revealed for each group. The applicability of criteria for water quality assessment in the State Observation Network is discussed.

Keywords: *eutrofication, self-cleaning of a waterway, ecological factors, nitrification index, nutritious index.*

Об авторах:

СПИЦЫНА Татьяна Павловна – кандидат технических наук, доцент кафедры БЖД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 660037, Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31; e-mail: t-spitsina@mail.ru.

ТАСЕЙКО Ольга Викторовна. Ученая степень – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой БЖД, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 660037, Красноярск, проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31; e-mail: taseiko@gmail.com.

Спицына Т.П. Комплексные критерии самоочищения водотоков / Т.П. Спицына, О.В. Тасейко // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2018. № 2. С. 248-262.