МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)

РЕКОМЕНДАЦИИ **Р 52.24.701 – 2008**

РЕКОМЕНДАЦИИ
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЧАСТИЧНОЙ БУФЕРНОЙ И ЧАСТИЧНОЙ МГНОВЕННОЙ БУФЕРНОЙ ЕМКОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ К ЗАКИСЛЕНИЮ

Ростов-на-Дону
2008

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Государственным учреждением «Гидрохимический институт» (ГУ «ГХИ») Росгидромета

2 РАЗРАБОТЧИК М.Г. Тарасов, канд. геол.-минер. наук

3 СОГЛАСОВАНЫ с УМЗА и ГУ «НПО «Тайфун» Росгидромета

4 УТВЕРЖДЕНЫ Заместителем Руководителя Росгидромета 25.08.2008 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ ЦМТР ГУ «НПО «Тайфун» за номером Р 52.24.701-2008 от 5.09.2008 г.

6 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

© Росгидромет, ГУ ГХИ, 2008

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Средства измерений, вспомогательные устройства, реактивы, материалы 2
4.1 Средства измерений, вспомогательные устройства 2
4.2 Реактивы и материалы 3
5 Метод измерений 4
6 Требования безопасности, охраны окружающей среды 4
7 Требования к квалификации операторов 4
8 Условия выполнения измерений 4
9 Отбор и хранение проб 5
10 Подготовка к выполнению измерений 5
11 Выполнение измерений 5
12 Обработка результатов 7
Приложение А (справочное) Критерии закисления природных вод, используемые в мировой практике 8
Приложение Б (справочное) Пример определения частичной буферной емкости реки Дон 10
Библиография 14

Введение

Антропогенное закисление окружающей среды, происходящее в течение последних десятилетий, приобрело глобальный (трансграничный) характер, что приводит к ухудшению состояния ряда природных оболочек Земли (био-, гидро-, литосфера, почвы). Наибольшее негативное воздействие данные процессы оказывают на речные и озерные системы в различных географо-климатических и геолого-структурных условиях. Закисление водных объектов характеризуется многообразием и сложностью протекающих процессов, влияющих на все компоненты водных экосистем (ионно-солевой состав водной толщи, взвешенные вещества, донные отложения, гидробионты).

Кислотные осадки изменяют геохимические циклы элементов как на водосборе, так и в водном объекте. Многочисленные исследования показывают, что закисление приводит к увеличению концентрации многих металлов (Al, Fe, Mn, Pb, Hg, Cd, Zn, Cu и др.) в водах и их уменьшению в поверхностных слоях донных отложений. Общей закономерностью поведения металлов является увеличение их содержания в природных водах и перераспределение в наиболее токсичную ионную форму.

Несмотря на тенденцию к снижению выбросов кислотообразующих веществ в развитых странах Европы и Северной Америки, проблема закисления природных вод в глобальном масштабе, остается чрезвычайно острой и в настоящее время.

В мировой практике в качестве критериев закисления вод используются различные показатели [1]: динамика pH, содержание SO_4^{2-}, Al^{3+}, щелочность, показатель кислотонейтрализующей способности (ANC в латинской транскрипции или КНС в русской), соотношение концентраций различных ионов и другие. Анализ существующих критериев закисления и обоснование необходимости разработки новых методов оценки буферной емкости природных вод к антропогенному закислению приведены в приложении А.

РЕКОМЕНДАЦИИ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЧАСТИЧНОЙ БУФЕРНОЙ И ЧАСТИЧНОЙ МГНОВЕННОЙ БУФЕРНОЙ ЕМКОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ К ЗАКИСЛЕНИЮ

Дата введения – 2009-01-01

1 Область применения

1.1 Настоящие рекомендации устанавливают метод определения и требования к порядку проведения определения частичной буферной емкости и частичной мгновенной буферной емкости (далее – буферная емкость)* водных объектов к антропогенному закислению в составе системы мониторинга состояния поверхностных водных объектов (ПВО).

1.2 Рекомендации предназначены для оперативно-производственных подразделений территориальных управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, осуществляющих организацию и проведение наблюдений за состоянием ПВО в рамках Государственной службы наблюдений России.

1.3 Настоящие рекомендации могут быть использованы в качестве методического пособия специалистами и практическими работниками других природоохранных организаций, осуществляющих наблюдения за загрязнением окружающей среды.

2 Нормативные ссылки

В настоящих рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

* При изложении общих требований для определения частичной буферной емкости и частичной мгновенной буферной емкости применяется их сокращенное название «буферная емкость».

ГОСТ 17.1.5.04-81 Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия

ГОСТ 17.1.5.05-85 Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков

ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб

Примечание – Ссылки на остальные нормативные и технические документы приведены в разделе 4.

3 Термины и определения

В настоящих рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 ***полная*** **буферная емкость водных объектов к закислению**: Способность водной экосистемы к нейтрализации кислот за счет всех компонентов экосистемы (растворенные в воде и взвешенные вещества, донные отложения, гидробионты).

3.2 ***частичная*** **буферная емкость водных объектов к закислению**: Способность водной экосистемы к нейтрализации кислот за счет растворенного и взвешенного вещества в воде.

3.3 ***частичная мгновенная*** **буферная емкость водных объектов к закислению**: Способность водной экосистемы к нейтрализации кислот за счет взвешенного вещества в воде.

3.4 ***допустимое*** **воздействие**: Воздействие, в результате которого экосистема может вернуться в исходное состояние.

3.5 ***критическое*** **воздействие**: Воздействие, при котором прежде существующая экосистема преобразуется в менее продуктивную (упрощенную).

4 Средства измерений, вспомогательные устройства, реактивы, материалы

4.1 Средства измерений, вспомогательные устройства

При выполнении измерений применяют следующие средства измерений и другие вспомогательные устройства:

4.1.1 pH-метр или иономер любого типа с комплектом электродов для измерения pH (Экотест-2000, pH-150, pH-155, Анион-410 и др.).

4.1.2 Цилиндры мерные исполнения 1, 3 по ГОСТ 1770-74 вместимостью 100 $см^3$ - 1 шт.

4.1.3 Колбы мерные 2-го класса точности исполнения 2, 2а по ГОСТ 1770-74 вместимостью 500 $см^3$ - 2 шт.

4.1.4 Бюретки 2-го класса точности исполнения 1,3 по ГОСТ 29251-91 вместимостью 25 $см^3$ - 2 шт.

4.1.5 Пипетка с одной отметкой 2-го класса точности исполнения 2 по ГОСТ 29169-91 вместимостью 50 $см^3$ - 1 шт.

4.1.6 Стаканы В-1, ТХС по ГОСТ 25336-82 вместимостью 100 $см^3$ - 2 шт.

4.1.7 Магнитная мешалка ПЭ-6100 по ТУ-3615-009-23050963-98.

4.1.8 Палочка стеклянная по ГОСТ 27460-87.

4.1.9 Посуда стеклянная для хранения проб и растворов вместимостью 0,5 и 1,0 $дм^3$.

4.1.10 Посуда полиэтиленовая (полипропиленовая) для хранения проб и растворов вместимостью 0,25 $дм^3$ и 1,0 $дм^3$.

4.1.11 Устройство для фильтрования проб с использованием мембранных фильтров. Прибор вакуумного фильтрования ПВФ-35 по ТУ-3616-001-32953279-97.

4.1.12 Насос вакуумный любого типа. Технические характеристики насоса НВМ-5: быстродействие – 5 $м^3$/час, предоставляемый вакуум – 30-60 мм ртутного столба, мощность главного двигателя 150-200 Вт, напряжение питания 220 вольт.

Примечание - Допускается использование других типов средств измерений, вспомогательных устройств, в том числе импортных, с характеристиками не хуже, чем у приведенных в 4.1.

4.2 Реактивы и материалы

При выполнении измерений применяют следующие реактивы и материалы:

4.2.1 Кислота серная, стандарт-титр по ТУ 6-09-2540-72.

4.2.2 Вода дистиллированная по ГОСТ 6709-72.

4.2.3 Фильтры мембранные "Владипор МФАС-ОС-2", 0,45 мкм по ТУ 6-55-221-1-29-89 или другого типа, равноценные по характеристикам.

Примечание - Допускается использование реактивов, изготовленных по другой нормативной и технической документации, в том числе импортных, с квалификацией не ниже указанной в 4.2.

5 Метод измерений

Определение буферной емкости (КНС) водного объекта достигается титрованием пробы воды раствором серной кислоты до исчерпания КНС (резкого перегиба кривой титрования). Серная кислота выбрана потому, что является преобладающей в кислотных атмосферных осадках. Подробно определение буферной емкости водных объектов к закислению описано в приложении Б.

6 Требования безопасности, охраны окружающей среды

6.1 При выполнении определения буферной емкости водных объектов к антропогенному закислению в пробах природных вод соблюдают требования безопасности, установленные в национальных стандартах и соответствующих нормативных документах.

6.2 По степени воздействия на организм вредные вещества, используемые при выполнении измерений, относятся ко 2-му, 3-му классам опасности по ГОСТ 12.1.007.

6.3 Содержание используемых вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать установленных предельно допустимых концентраций в соответствии с ГОСТ 12.1.005.

6.4 Вредно действующие вещества подлежат сбору и утилизации в соответствии с установленными правилами.

7 Требования к квалификации операторов

К выполнению измерений и обработке их результатов допускаются лица со средним профессиональным образованием, имеющие стаж работы в лаборатории не менее года и освоившие методику.

8 Условия выполнения измерений

При выполнении измерений в лаборатории должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха (22±5) °С;
- атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм рт. ст.);
- влажность воздуха не более 80 % при 25 °С;
- напряжение в сети (220±10) В;
- частота переменного тока в сети питания (50±1) Гц.

9 Отбор и хранение проб

9.1 Отбор проб для определения буферной емкости водных объектов к закислению производят в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05 и ГОСТ Р 51592. Оборудование для отбора проб должно соответствовать ГОСТ 17.1.5.04 и ГОСТ Р 51592. Пробы отбирают в склянки вместимостью 0,25 $дм^3$, предварительно ополоснув их 2-3 раза отбираемой водой. Если требуется определять *частичную мгновенную* буферную емкость, пробу сразу после отбора фильтруют через мембранный фильтр с размером пор 0,45 мкм.

Мембранные фильтры перед употреблением очищают двух- трехкратным кипячением в течение 15-20 мин в 100 $см^3$ деионированной воды. Чистые фильтры хранят в плотно закрытом бюксе. Первую порцию фильтрата отбрасывают. При необходимости определения *частичной* буферной емкости, отбирают нефильтрованную пробу.

9.2 Пробы воды не консервируют.

10 Подготовка к выполнению измерений

Перед выполнением измерения следует приготовить раствор серной кислоты.

Для приготовления раствора серной кислоты с молярной концентрацией количества вещества эквивалента (КВЭ) 0,02 моль/$дм^3$ используют стандарт-титр (см. 4.2.1), который переносят в мерную колбу вместимостью 500 $см^3$, растворяют в дистиллированной воде и доводят до метки. Затем пипеткой с одной отметкой отбирают 50 $см^3$ полученного раствора, переносят его в мерную колбу вместимостью 500 $см^3$ и доводят объем дистиллированной водой до метки. Хранят в стеклянной или полиэтиленовой герметичной посуде.

11 Выполнение измерений

11.1 Для определения *частичной* буферной емкости водного объекта из нефильтрованной пробы воды отбирают 50 $см^3$, переносят в химический стакан и помещают его на магнитную мешалку. Пробу воды титруют раствором серной кислоты 0,02 моль/$дм^3$ КВЭ при постоянном перемешивании (при включенной магнитной мешалке). После добавки кислоты определяется равновесная концентрация ионов водорода, т.е. pH-метром фиксируется значение pH. Как следует из экспериментальных данных, численное значение pH на приборе (рав-

новесие) устанавливается в течение 2-10 мин (в зависимости от количества и минерального состава взвешенных веществ). Титрование ведется до критического уровня (когда КНС пробы воды будет исчерпана), после чего производят еще 4-5 добавок кислоты и снимают показания pH. Экспериментальные данные наносят на график зависимости численных значений pH от концентрации добавленной серной кислоты. Буферная емкость определяется на кривой титрования в точке резкого снижения значений pH (точка перегиба) и численно равна количеству поступившей в пробу кислоты (в ммоль/дм^3 КВЭ), даже небольшое превышение которого приводит к резкому снижению pH пробы воды (см. приложение Б).

Данный метод рекомендуется для определения КНС всех водных объектов, особенно для южных рек с высокой мутностью, а также эвтрофных водных объектов. Частичная буферная емкость более полно отражает кислотонейтрализующую способ-

ность водного объекта и не требует проведения коррекции величины буферной емкости на содержание взвешенных веществ в воде.

11.2 Для определения *частичной мгновенной* буферной емкости водной экосистемы, взвешенные вещества отделяют фильтрованием пробы воды через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Из фильтрованной воды отбирают 50 см^3, переносят в химический стакан и помещают его на магнитную мешалку. Далее определение *частичной мгновенной* буферной емкости водной экосистемы проводится аналогично 11.1.

Этот метод может применяться для озер и равнинных рек, не испытывающих значительных сезонных колебаний КНС за счет изменения содержания взвешенных веществ. Определение *частичной мгновенной* буферной емкости водной экосистемы необходимо в том случае, когда необходимо сопоставить буферную емкость с ANC, определенную методом Хенриксена (см. приложение А).

11.3 Преимуществом предлагаемой методики оценки буферной емкости к антропогенному закислению является то, что нет необходимости определения всего компонентного состава растворенных неорганических и органических веществ воды, участвующих в нейтрализации сильной кислоты, а сама буферная емкость оценивается количеством кислоты, затраченной на достижение *критического* или *допустимого* значения pH. Данный метод является прямым, а не расчетным, как применяемый в мировой практике метод определения

ANC, и не требует проведения коррекции на устранение доли элементов, поступающих в составе морских аэрозолей и введения поправок на присутствие в воде взвешенных веществ.

12 Обработка результатов

Результаты титрования пробы воды серной кислотой обрабатывают графоаналитическим методом. Строят график зависимости pH пробы от концентрации серной кислоты и по точке резкого снижения pH (в точке перегиба) устанавливают значение буферной емкости водного объекта в ммоль/дм^3 (КВЭ) серной кислоты, пошедшей на титрование. По величине буферной емкости оценивают КНС пробы воды.

Приложение А
(справочное)

Критерии закисления природных вод, используемые в мировой практике

Критерии закисления природных вод, используемые в мировой практике различными исследователями включают следующие гидрохимические параметры: динамика pH, содержание SO_4^{2-}, Al^{3+}, щелочность, показатель ANC (КНС), соотношение концентраций различных ионов и другие. Анализ существующих критериев закисления приведен в работах [1]- [5] и др.

Низкие значения pH и высокие концентрации SO_4^{2-} и Al^{3+} являются следствием антропогенного закисления водных объектов, но не могут служить мерой буферной емкости водных экосистем к антропогенному закислению.

Щелочность характеризует буферную емкость вод, не содержащих органических кислот, и обусловлена присутствием в воде гидрокарбонат-иона. Однако расчет буферной способности пресноводных экосистем только по щелочности будет не полным, так как кислотонейтрализующей способностью обладают слабые ионы других неорганических и органических кислот, а также метаболиты гидробионтов, присутствующие практически повсеместно в поверхностных водах.

Симптомом закисления вод и признаком переходного состояния озер к закисленым могут служить соотношения ионов в эквивалентной форме – HCO_3^-/SO_4^{2-}, $SO_4^{2-}/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$, $HCO_3^-/(Ca^{2+}+ Mg^{2+})$. Данные показатели наиболее информативны при изучении сезонной динамики и многолетнего тренда на одних и тех же объектах, поскольку эти параметры достаточно легко определяемые и по ним часто имеются длинные ряды наблюдений [1], однако они не могут служить оценкой буферной емкости пресноводных экосистем на данный момент времени.

Общепринятым критерием закисления вод в мировой практике является их показатель ANC, который отражает буферную способность вод, то есть способность водной системы к нейтрализации техногенных кислот. Данный метод предложен Хенриксеном и др. [2].

Показатель ANC находят двумя методами по формулам:

$$ANC_1 = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+} - SO_4^{2-} - NO_3^{-}; \quad (А. 1)$$

$$ANC_2 = HCO_3^{-} + A^{n-} - H^{+} - Al^{n+}. \quad (А. 2)$$

При достоверном химическом определении всех составляющих химического состава вод и хорошем показателе баланса ионов значения ANC_1 и ANC_2 совпадают.

Содержание элементов представляют в эквивалентной форме и корректируется на устранение доли элементов, поступающих в составе морских аэрозолей по их отношению к хлор-иону. Принимается, что в природных водах, где преобладает атмосферное питание, хлориды имеют только морское происхождение, а другие ионы добавляются в пропорциях, соответствующих морским водам.

Концентрации основных ионов (например, кальция) с коррекцией на морские аэрозоли, поступающие в водные оъекты, рассчитывают следующим образом:

$$Ca^{2+*} = Ca^{2+} - 0{,}037[Cl^{-}].$$

Аналогично рассчитывают и другие ионы.

Однако при проведении подобной коррекции возможна грубая ошибка, так как для многих рек существенен вклад подземных вод, привносящих ион хлора. Кроме того, определение всех компонентов воды, участвующих в нейтрализации сильных кислот (слабые анионы неорганических и органических кислот, гуминовые, фульвокислоты, полифенолы, аминокислоты, белки, полипептиды и др.), чрезвычайно трудоемко и практически невозможно, так как приведет к большим затратам времени и средств [6] и [7].

Недостатком всех существующих методов оценки буферной емкости водных объектов к закислению является и то, что они не учитывают кислотонейтрализующую способность взвешенных веществ. По литературным данным [8] для многих рек необходимо проводить коррекцию величины буферной емкости на присутствие в воде взвешенных веществ. Однако для каждого водного объекта такая поправка будет сугубо индивидуальной, и определить ее заранее, исходя из общих теоретических соображений, невозможно.

Поэтому при разработке предлагаемого метода принята известная предпосылка, что при изучении сложных и многофакторных процессов следует отдавать предпочтение моделированию перед расчетными аналитическими методами.

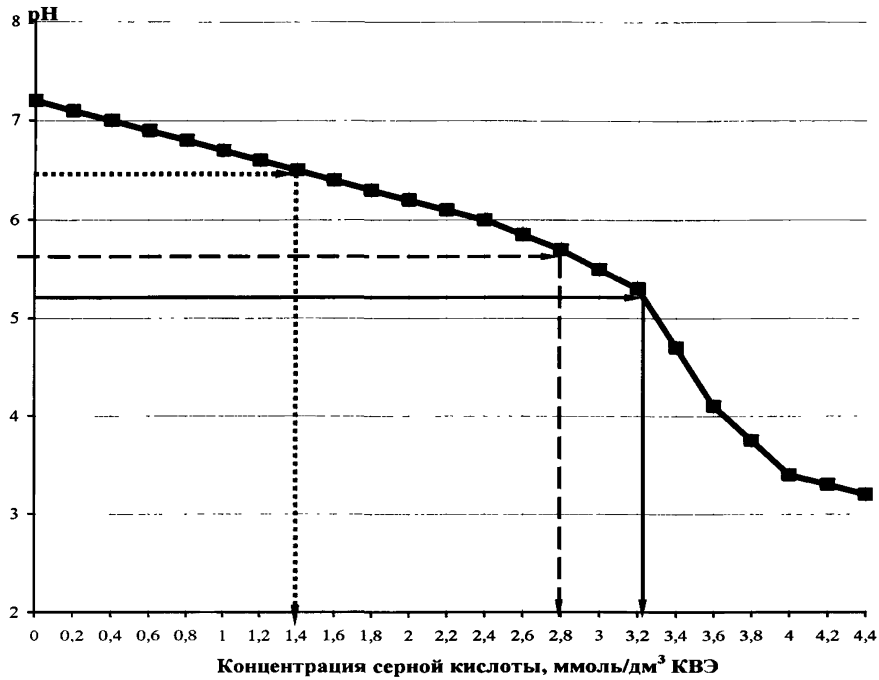
Приложение Б
(справочное)

Пример определения частичной буферной емкости реки Дон

В качестве примера рассмотрим определение частичной буферной емкости реки Дон к антропогенному закислению. На основе полученных данных (таблица Б.1) строим график (рисунок Б. 1) изменения значений pH воды в зависимости от концентрации добавленной в пробу серной кислоты.

Таблица Б. 1 – Данные титрования серной кислотой пробы воды реки Дон

Добавки H_2SO_4, ммоль/дм^3 КВЭ	Значения pH пробы воды
0	7,2
0,2	7,1
0,4	7,0
0,6	6,9
0,8	6,8
1,0	6,7
1,2	6,6
1,4	6,5
1,6	6,4
1,8	6,3
2,0	6,2
2,2	6,1
2,4	6,0
2,6	5,85
2,8	5,7
3,0	5,5
3,2	5,3
3,4	4,7
3,6	4,1
3,8	3,75
4,0	3,4
4,2	3,3
4,4	3,2



——→ соответствующая определенной методом Хенриксена;
·····→ допустимое значение;
– – → критическое значение.

Рисунок Б. 1 – Определение частичной буферной емкости реки Дон

При оценке буферной емкости, отвечающей критической кислотной нагрузке на водный объект в целом, на графике определяется точка перегиба (резкое снижение pH при исчерпании ANC воды) и опускается перпендикуляр на ось абсцисс. В месте его пересечения с осью абсцисс снимается значение добавленной (нейтрализованной) серной кислоты (ммоль/дм^3 КВЭ), отвечающее частичной мгновенной буферной емкости водной экосистемы. Это значение соответствует величине ANC, определенной методом Хенриксена [2].

На рисунке Б.1 проведение данной операции показано сплошной линией со стрелкой. Для реки Дон частичная мгновенная буферная

емкость к антропогенному закислению, определенная предлагаемым методом, составляет 3,2 ммоль/дм^3 КВЭ.

При оценке буферной емкости к закислению исследуемого водного объекта, определение точки перегиба на графике не обязательно. Можно оценить *буферную емкость водного объекта, отвечающую допустимой и критической кислотным нагрузкам*. Известно [3], что биологические эффекты закисления водоемов начинают проявляться уже при значении pH<6,5. В озерах и ручьях уменьшается видовое разнообразие организмов, нарушаются пищевые цепи. Это значение pH является предельно допустимым для водного объекта в целом. По данным ряда исследователей [4], pH=5,6 является предельным критическим значением, ниже которого могут возникать необратимые биологические последствия для водных экосистем. На рисунке Б. 1 определение *допустимой* и *критической буферной емкости* показано штриховыми линиями со стрелками. В этом случае для реки Дон буферная емкость, отвечающая *допустимому* значению pH, составит 1,4 ммоль/дм^3 КВЭ, *критическому* – 2,85 ммоль/дм^3 КВЭ.

Большим преимуществом предлагаемого метода является то, что на этой же кривой можно легко определить буферную емкость водного объекта для случая, когда жестко заданы предельные значения pH. Например – буферную емкость, при превышении которой водные объекты переходят в разряд кислых (pH<5,0) или к превышению ПДК питьевой воды по pH (pH< 5,5). В этом случае из заданного значения pH на оси ординат восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой титрования и от точки пересечения опускается перпендикуляр до пересечения с осью абсцисс, в точке пересечения с осью абсцисс и снимаются значения буферной емкости.

Весьма перспективным является возможность определения «допустимой» и «критической» буферной емкости для какого-либо вида гидробионтов (например для рыб, чувствительных к закислению). Так, при снижении pH менее 6,7-6,8 отмечается уменьшение численности популяции лосося, арктического гольца, форели, гольяна, плотвы (допустимое значение), а при pH< 6,0-5,8 отмечается массовая гибель рыб, и популяции этих видов рыб исчезают (критическое значение) [5]. Определение буферной емкости в данном случае проводится аналогично, как и для случая с жестко заданным значением pH.

Следует отметить, что для районов со слабой кислотонейтрализующей способностью водных объектов к антропогенному закисле-

нию как в нашей стране (Кольский полуостров, Карелия, север Западной Сибири, Забайкалье и др.), так и за рубежом для титрования проб воды следует использовать раствор серной кислоты 0,01 моль/дм^3 КВЭ. Это необходимо для того, чтобы получить достаточное число точек и построить детальный график изменения pH воды в зависимости от добавок серной кислоты.

Библиография

[1] Моисеенко Т.И. Закисление вод: Факторы, механизмы и экологические последствия. - М.: Наука, 2003. - 278 с.

[2] Henriksen A., Kamari I., Posch M., Wilander A. Critical loads of acidity: Nordic surface waters // AMBIO. 1992, Vol. 21, - P. 356-363.

[3] Кислотные дожди / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. - 206 с.

[4] Ecological impact of acid precipitation. Proc. Intern. Conf. Sandfjord, Norway, 1980. - 383 p.

[5] Acidification today and tomorrow. Swedish Ministry of Agriculture. Enviroment 82 Committee. 1982. - 231 p.

[6] Никаноров А.М., Тарасов М.Г. Устойчивость водных экосистем к закислению: экспериментальное моделирование и расчет буферной емкости // Экологическое нормирование и моделирование антропогенного воздействия на водные экосистемы. Вып. 2. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 1999.- С. 239-269.

[7] Tarasov M.G. Nikanorov A.M. Aquatic ecosystem stability to acidification: experimental modeling and capacity calculation // Hydrological, Chemical and Biological Processes of Transformation and Transport of contaminants in Aquatic Enviroments. – IAHS publ. 1994. № 219. - P. 105-120.

[8] Количественная оценка устойчивости аквасистем к кислотному и щелочному загрязнению / В.В.Батоян, Н.К. Зайцев, В.В. Кучерява и др. // Вестник Московского университета. Сер.5. География. 1989, Т.5, - С. 60-67.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

Номер изменения	Номер листа (страницы)				Номер документа (ОРН)	Подпись	Дата	
	измененного	замененного	нового	аннулированного			внесения изменений	введения изменений

gost.e-ecolog.ru