

УДК556.5(06)

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ТРОФИЧЕСКОГО УРОВНЯ ОЗЕРА ВИШТЫНЕЦКОГО

Т.А. Берникова, Н.Н. Нагорнова, Н.А. Цупикова

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
Россия, 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
E-mail: nagornova@klgtu.ru.

Проанализированы многолетние изменения содержания органических веществ (по величине перманганатной окисляемости) с точки зрения возможного изменения трофического статуса водоема, рассмотрены потенциальные источники поступления органических веществ в воды Виштынецкого озера и факторы, влияющие на его содержание.

эвтрофирование, трофность, перманганатная окисляемость, органические вещества, антропогенная нагрузка

ВВЕДЕНИЕ

Процессы антропогенного эвтрофирования водных экосистем – одна из важнейших проблем наших дней. Повышение биогенной и органической нагрузок представляет особую угрозу для внутренних водоемов, способность к самоочищению которых существенно ниже, чем у морей и океанов. С этой точки зрения, безусловный интерес представляет многолетняя динамика и современное трофическое состояние уникального для Калининградской области водоема – оз. Виштынецкого. Одним из показателей уровня трофности незагрязненных озер может быть содержание органических веществ, оцениваемых по перманганатной окисляемости. В связи с этим цель предлагаемой статьи – анализ характера многолетней изменчивости перманганатной окисляемости с точки зрения формирования трофического уровня озера. Мы исходили из того, что об увеличении трофности экосистемы, наряду с прочим, может свидетельствовать возрастание против фоновых значений количества органических веществ в воде и донных отложениях, увеличение или нарушение их вертикального распределения и сезонного хода.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работа выполнена путем анализа результатов, полученных в ходе гидрологических наблюдений за весь 45-летний период исследования озера [1-8]. На первом этапе (1967-1980 гг.) работы проводились преимущественно в северной мелководной части оз. Виштынецкого и в р. Писсе, осуществлялись суточные и многосуточные наблюдения, были охвачены все четыре сезона. В 1990-1991 гг. основная задача заключалась в обнаружении потенциальных источников антропогенного загрязнения и контроле экологического состояния водоема, по четырем сезонам обследованы все стандартные прибрежные и репрезентативные глубоко-

водные станции. В августе 1997 г. выполнены стандартные продольный и поперечный разрезы, в 2003 г. (30-31 июля) взяты две стандартные глубоководные станции (1 и 16а) и стандартные прибрежные станции в местах возможного загрязнения. Начиная с 2006 г., гидрологические работы проводились ежегодно, но в основном в вегетационный период (в мае, июне, конце июля – начале августа). Во всех случаях выполнялись продольные (станции 11-12(13,)-1-15(14)-16 18) и поперечные (станции 5 (5а)-4 (4а)-3-2-1) разрезы, в последние годы – дополнительные прибрежные мини-разрезы: от устьев впадающих речек и баз отдыха. Положение станций показано на рис. 1. Во время гидрологических съемок на стандартных горизонтах (как минимум, на поверхности, над и под слоем скачка, у дна) измерялись температура, прозрачность и цвет воды, отбирались пробы для полного гидрохимического анализа (проанализировано более 1500 проб), осуществлялся обычный комплекс метеонаблюдений. Анализ отобранных проб, включая определение перманганатной окисляемости, осуществлялся по стандартным методикам [9].

Все многолетние данные обобщены в виде диаграмм, отражающих динамику содержащихся в водах озера органических веществ на глубоководных и прибрежных репрезентативных станциях, а также изменение экстремальных значений величины перманганатной окисляемости в целом по всему озеру по месяцам и в мае-августе. Горизонтальная ось на всех представленных в работе графиках – внемасштабная: нанесены только годы, в которые велись наблюдения в весенне-летний период.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

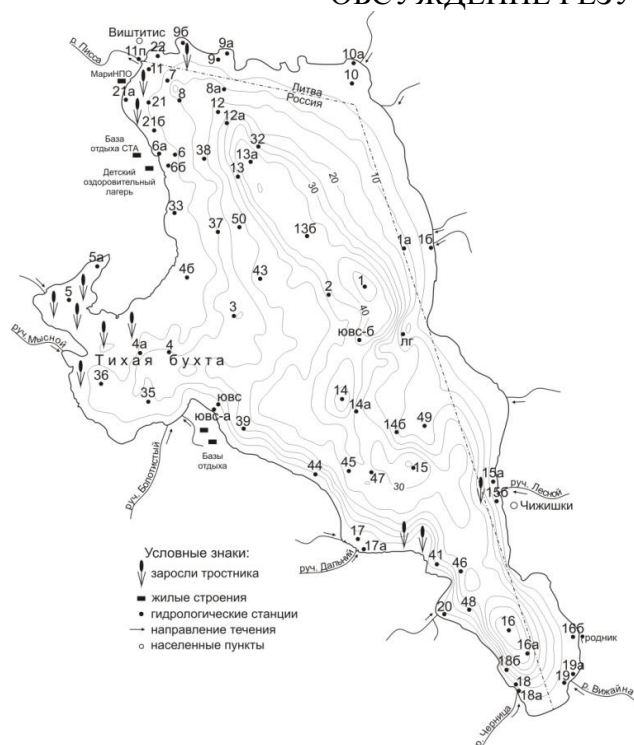


Рис. 1. Положение станций
 Fig. 1. Location of the stations

Экологическое состояние озерной экосистемы – результат сложного взаимодействия процессов, происходящих на водосборе и в самом озере под воздействием природных и антропогенных факторов. Среди природных факторов можно назвать ряд морфологических особенностей. Площадь зеркала 18,3 км², глубина максимальная 54, средняя 20 м. Рельеф дна (рис. 1) очень сложный. Глубины более 30 м занимают 15, от 10 до 30 м – 50, менее 10 м – 35 % всей площади озера [10]. При общей сравнительно малой изрезанности береговой черты следует отметить достаточно изолированные от всего озера Тихую бухту с Утиным заливом (район ст. 5-5а,

рис. 1). Дно глубоководных впадин покрыто темными (главным образом, черными) полужидкими илами со значительной примесью органического материала в основном остатками наземной и водной растительности. Черный ил можно встретить также на дне Утинового залива и в некоторых других относительно мелководных районах [11].

Увеличение запасов органических веществ в водной экосистеме происходит под влиянием природных и антропогенных факторов, они могут образовываться как в самом водоеме (автохтонные), так и приноситься извне (аллохтонные). Нагрузка на водоем в значительной степени зависит от структуры водосбора. При моноструктурном водосборе, например, представленном преобразованными и используемыми под сельское хозяйство землями (к таковым относятся значительные площади на возвышенных восточных берегах оз. Виштынецкого), вынос рассматриваемых веществ повышен. Если водосбор полиструктурный: с болотным массивом, заболоченным лугом, лесами и прочими фитоценозами (значительные площади на низменных западных берегах озера), вынос рассматриваемых веществ меньше. Чаша озера наклонена с юго-востока на северо-запад, что в целом тоже облегчает сток с восточных берегов. В юго-западной части озера вдоль берега, местами прерываясь, тянутся заросли тростника. Восточные берега высокие, по мере продвижения на север высота берегового уступа уменьшается, в прибрежной зоне появляются заросли тростника. Северный берег низкий, болотистый, прибрежная часть с зарослями тростника. На западе берега пологие, местами заболочены. Озеро относится к водоемам с продольно-осевой проточностью, но горизонтальная циркуляция обычно развита слабо, течения характеризуются очень низкими скоростями [12], поскольку из 10-12 впадающих в озеро мелких водотоков лишь некоторые имеют сток круглый год. Например, в момент выполнения гидрологической съемки в июне 1990 г. [7] течение наблюдалось только в ручье Лесном (при этом оно было настолько сильным, что прослеживалось в самом озере, отклоняясь на север вдоль берега). Речки Вижайна и Черница были отгорожены от озера песчаным баром, течение отсутствовало. Они начинаются на территории Польши, затем р. Черница на значительном протяжении протекает по территории Калининградской области, а р. Вижайна – по территории Литвы. Песчаные бары могут формироваться и некоторыми ручьями, стекающими с восточного берега, что затрудняет, а иногда препятствует сбросу воды в озеро. Севернее устья р. Вижайны есть родник (см. рис. 1), воды которого, по данным 1990-1991 гг., стекали в озеро [7]. Ручьи, впадающие с запада, вбирают воду из системы мелиоративных каналов, проложенных с целью осушения лесных болот. Малые расходы водотоков приводят к формированию в прибрежных зонах замкнутых областей, гидрохимические характеристики которых в значительной степени определяются особенностями вносимой воды. Сток вытекающей из озера р. Писсы регулирован и контролируется в зависимости от уровня воды в озере (при повышении уровня производится искусственный сброс воды, что существенно, до двух и более раз, увеличивает расходы воды в реке). Расходы Писсы в 100 м от ее истока, по данным за 2007-2012 гг., могут изменяться в пределах 0,5-3,0 м³/с. Дефицит в водном балансе, помимо ручьев, восполняется атмосферными осадками и грунтовыми водами. Роль последних, особенно в местах их выклинивания, существенно возрастает в маловодные периоды: усиливается стратификация и изменяются гидрохимические условия (вплоть до появления застойных явлений) в ги-

полимнионе [13]. Низменные, покрытые лесом западные берега задерживают сток, все ручьи и р. Черница находятся в подпоре от озера и в межженные периоды стока обычно не имеют. В последние годы на западном побережье поселились бакланы и бобры. Все перечисленные условия могут способствовать формированию областей с разным трофическим уровнем.

Рассматривая антропогенные факторы, следует отметить, что о современном состоянии восточного побережья и большей части бассейнов р. Вижайны и Черницы, откуда осуществляется основной сток в озеро, сведения, по существу, отсутствуют. Известно [7, 14, 15], что по берегам оз. Виштынецкого нет крупных промышленных предприятий, которые могли бы оказывать на него вредное воздействие. Характерны, главным образом, диффузные, рассредоточенные источники загрязнения (сельскохозяйственные поля, фермерские хозяйства и т. п.). У южных берегов озера находилась ферма для крупного рогатого скота (специально оборудованные сборники навоза, по состоянию на 1991 г., отсутствовали, отходы растекались по территории и попадали в озеро). На восточном побережье расположены кемпинг, пансионат (оборудованный очистными сооружениями, отнесенными от берега на некоторое расстояние), небольшая база отдыха. На севере – пос. Виш-титис, пограничный пункт, база отдыха (общественный туалет расположен выше домиков, грунтовые воды, так или иначе, попадают в озеро). У западных берегов – три базы отдыха (см. рис. 1). Стоки, поступающие в водоем от перечисленных выше источников, могут увеличивать содержание в воде органических веществ.

Анализ многолетних изменений перманганатной окисляемости в вегетационный период на станциях различной глубины (см. рис. 2) показал, что окисляемость воды сравнительно небольшая. Ее величина на глубоководных станциях во многих случаях, особенно в придонных горизонтах, по известной классификации О.А. Алёкина, попадает в класс «малая» (2-5 мгО/дм³) или «средняя» (5-10 мгО/дм³). У побережья (см. рис. 3) – чаще «средняя», но и здесь иногда, даже в Утином заливе, возможна «малая». Для сравнения: перманганатная окисляемость в поверхностных водах ультраолиготрофного оз. Байкала «очень малая» – 1,0-1,6 мгО/дм³ [16]. Важной особенностью является то, что с глубиной содержание органического вещества (за очень редким исключением) снижается (даже в местах с черным илом на дне). Такое вертикальное распределение свойственно олиготрофным озерам. Это снижение относительно невелико, что свидетельствует о достаточно интенсивной деструкции органического вещества в эпилимнионе, особенно в жаркие периоды. Как показывают рис. 2-3, характер многолетней изменчивости содержания органического вещества в воде озера не имеет какой-либо устойчивой тенденции: в величине перманганатной окисляемости на различных станциях, в том числе на станциях разной глубины, можно выделить периоды как повышения, так и понижения окисляемости. Подобный вывод делался нами еще в 1990-1991 гг. [7], когда впервые был поднят вопрос об усилении эвтрофирования водоема. Тем не менее отдельные периоды увеличения содержания органического вещества в разных работах [7, 17, 18] оценивались как сигнал возрастания его трофности. Однако во всех подобных случаях делались соответствующие оговорки, так или иначе смягчающие общие выводы. Например, в [17] отмечен значительно более высокий, чем в предыдущие годы, температурный фон и резко сниженная водность. Высокая температура не могла не ускорить ход всех естественных процессов в озере (свидетельство тому, в частности, – белесый цвет воды, вызванный скоплением планктона), включая разложение органических веществ.

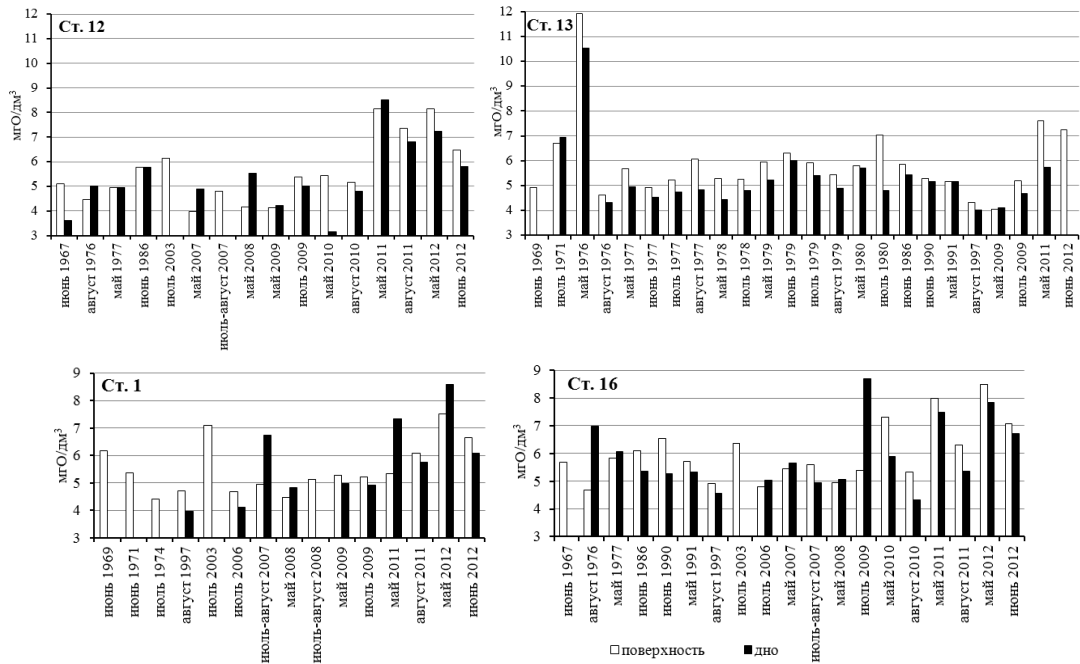


Рис. 2. Многолетние изменения величины перманганатной окисляемости на глубоководных станциях оз. Виштынецкого
 Fig. 2. Long-term fluctuations in permanganate oxidation at the deep-water stations of the Vishtynetskoye Lake

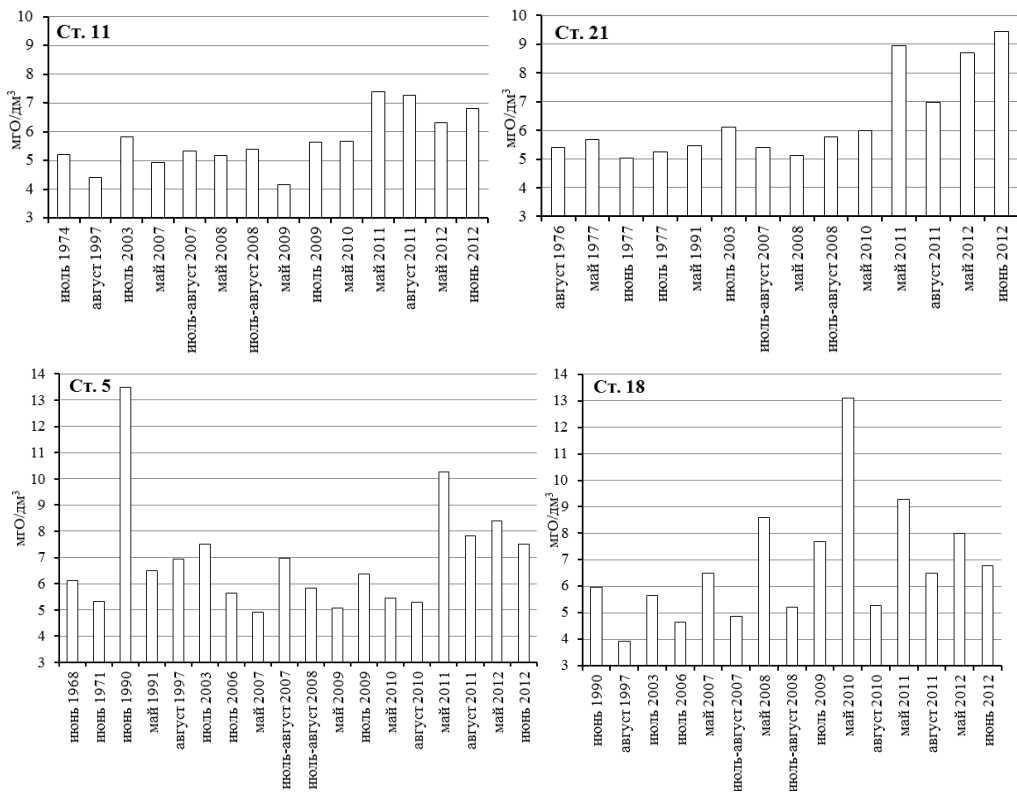


Рис. 3. Изменение окисляемости на прибрежных станциях оз. Виштынецкого
 Fig. 3. Fluctuations in permanganate oxidation at the coastal stations of the Vishtynetskoye Lake

Обобщенное представление о многолетних изменениях экстремальных значений перманганатной окисляемости в целом по всему озеру (с учетом всех прибрежных и глубоководных станций) дает рис. 4, позволяющий в какой-то мере оценить также и сезонные изменения. Хотя в целом и прослеживается некоторое закономерное снижение окисляемости от мая-июня к июлю-августу, но изменения в большинстве случаев сглажены, что характерно для олиготрофных водоемов. Вместе с тем хорошо заметны отдельные, не согласованные по месяцам подъемы и спады, в значительной степени, по-видимому, связанные с изменениями погодных условий как во время работ, так и в предшествующие им периоды, что детально рассматривалось во многих работах, например, в [7, 8]. В частности, при похолоданиях усиливается конвективное перемешивание, происходит выравнивание гидрологических характеристик по глубине. В дождливую и сухую погоду соответственно происходит снижение или возрастание вклада грунтового питания, что существенно меняет гидрохимический состав воды. При прогреве резко (в 2,2 раза при повышении температуры на 10° С) возрастает интенсивность деструкции, следовательно, будет снижаться содержание органических веществ даже при их активном продуцировании. В 2008 г. [8] отмечено, что гидрологические условия в 2006-2007 гг. не свидетельствуют об увеличении эвтрофирования озера.

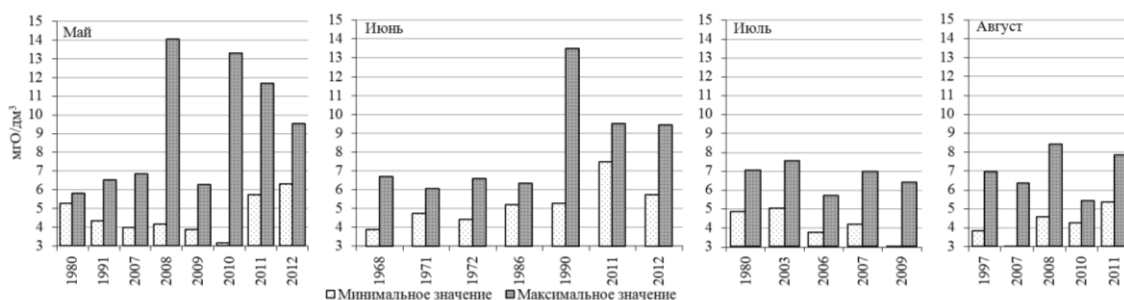


Рис. 4. Динамика экстремальных значений перманганатной окисляемости в целом по всему озеру (с учетом *всех* прибрежных и глубоководных станций)
 Fig. 4. Dynamics of extreme values of permanganate oxidation integrally all over the whole lake (with account of all coastal and deep-water stations)

Относительно небольшие различия в величине окисляемости по месяцам позволили для более подробной характеристики весенне-летнего периода обобщить данные за май-август (см. рис. 5). На рисунке отчетливо проявились периоды увеличения органических веществ: 1980-1990, 1997-2003, 2006-2008, 2009-2011 гг. Если исключить anomalно высокие экстремумы 1990 и 2008 гг. (соответственно данные по Утиному заливу и устью р. Черницы), можно утверждать, что 2010-2012 гг. отличаются особенно серьезным накоплением органических веществ. В этот период к источникам биогенной и органической нагрузки добавился еще один – бобры, расселившиеся на западном побережье озера. Создаваемые ими пруды представляют собой «ловушки-отстойники» загрязнений, поступающих в реку с поверхности водосбора. Из-за снижения проточности водотоков объем веществ, выносимых рекой, сокращается. Бобровые ландшафты способствуют удержанию биогенных и органических веществ в пределах рассматриваемого бассейна [18, 19]. Однако разрушение бобровой плотины и залповый сброс вод из созданно-

го бобром пруда приводит к появлению в озере «языка» с повышенным содержанием этих компонентов, что мы и наблюдали, в частности, в мае 2011 г. Вдоль всего западного побережья окисляемость, в соответствии с классификаций О.А. Алекина, перешла в класс «средняя» (превысила 8,5 мгО/дм³), а «язык» от устья ручья Дальнего протянулся через все озеро (как минимум, до государственной границы РФ).



Рис. 5. Обобщенная динамика экстремальных значений перманганатной окисляемости в целом по всему озеру

Fig. 5. Generalized dynamics of extreme values of permanganate oxidation integrally all over the whole lake (with account of *all* coastal and deep-water stations)

Одним из биотических показателей эвтрофирования водной экосистемы является расширение площадей зарастания. Многолетние наблюдения этого не выявили: прибрежные заросли тростника, нанесенные на схему озера еще в 1971 г. [8], до настоящего времени практически не изменились (или мало изменились).

В заключение можно добавить, что, с точки зрения изучения возможных колебаний трофности экосистемы, наиболее значимы среднегодовые данные или результаты, полученные зимой, когда происходит естественное накопление биогенных и деструкция органических веществ. Однако, несмотря на длительный период наблюдений, непрерывные многолетние данные за зимний период по объективным причинам отсутствуют. Менее представительны результаты, собранные в вегетационный период, поскольку именно в это время наиболее интенсивно осуществляется как продуцирование, так и распад органического вещества с высвобождением биогенных элементов. Оценка органического вещества осложнена высокой изменчивостью сочетания его продуцирования, деструкции и утилизации.

Не оценивая тенденцию изменения трофности озера в целом, ранее мы выделили участки с большей степенью загрязненности органическими веществами [16, 17]: южный-юго-восточный, восточный-северо-восточный, Утиный залив (преимущественно за счет вторичного загрязнения). Наблюдения последних лет заставляют добавить к ним и все западное побережье. Таким образом, допустимо утверждать, что, по существу, для всей прибрежной акватории, включая бухту Тихую, характерен несколько более высокий трофический уровень, чем открытой части озера, при этом Утиный залив имеет отчетливо выраженные черты эвтрофного водоема. Необходимо подчеркнуть, что уже на выходе из бухты величина перманганатной окисляемости обычно соответствует

значениям, характерным для открытого озера, что легко объяснимо особенностями динамики вод озера.

ВЫВОДЫ

1. Малые значения перманганатной окисляемости в открытой части оз. Виштынецкого, уменьшение в большинстве случаев ее значений с глубиной соответствуют олиготрофному статусу водоема.

2. Антропогенные источники органической нагрузки на озеро, почти не меняясь, существуют на протяжении, как минимум, всего периода наших наблюдений (более сорока лет).

3. Анализ многолетней изменчивости перманганатной окисляемости не выявил какой-либо устойчивой тенденции в ее ходе. Трофический уровень озера в целом, судя по гидрологическим показателям, скорее всего остается пока неизменным.

4. В последние годы добавился новый, природно-антропогенный фактор: залповый сброс воды, перегруженной органическими и биогенными веществами, из созданных бобрами прудов, происходящий в результате разрушения бобровых плотин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Берникова, Т.А. Гидрометеорологическая характеристика озера Виштынецкого / Т.А. Берникова // Вопросы географии: сб. науч. тр. / Калининград. гос. ун-та, Калинингр. отд. и Географ. об-ва СССР. – Калининград, 1970. – С. 104-111.

2. Основы биопродуктивности внутренних водоемов Прибалтики // Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования малых озер в климатических условиях Калининградской области / Калинингр. техн. ин-т рыб. пром-ти и хоз-ва; рук. В.И. Скорняков; ГР 760029502, инв. № Б 5710470. ВНТИ-Центр. – Калининград, 1976. – 229 с.

3. Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования малых озер в климатических условиях Калининградской области / Калинингр. техн. ин-т рыб. пром-ти и хоз-ва; руководитель В.И. Скорняков; ГР 760029502, инв. № Б 736811 ВНТИЦентр. – Калининград, 1978. – 397 с.

4. Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования малых озер в климатических условиях Калининградской области: Отчет о НИР / Калинингр. техн. ин-т рыбн. пром-ти и хоз-ва (КТИРПХ); руководитель В.И. Скорняков; № ГР 76029502; инв. № Б 924011. – Калининград, 1980. – 194 с.

5. Берникова, Т.А. Гидрологические условия и первичная продукция Виштынецкой группы озер Калининградской области / Т.А. Берникова, А.Г. Демидова // Системные географич. исслед. Калинингр. области: сб. науч. тр. / Калинингр. гос. ун-т. – Калининград, 1984. – С. 106-112.

6. Рыбохозяйственные исследования внутренних водоемов Прибалтики: отчет о НИР / Калинингр. техн. ин-т рыбн. пром-ти и хоз-ва (КТИРПХ); руководитель В.И. Скорняков; № ГР 01860066050; инв. № 13151402. – Калининград, 1988. – 18 с.

7. Экологическое изучение внутренних водоемов (озер и водохранилищ) Калининградской области: отчет о НИР / Калинингр. техн. ин-т рыб. пром-ти и хоз-ва (КТИРПХ); руководитель В.А. Шкицкий; № ГР 01910027713; инв. № 02910053924. – Калининград, 1991. – 190 с.
8. Фонды кафедры ихтиологии и экологии КГТУ.
9. Гидрология. Лабораторный практикум и учебная практика / Т.А. Берникова [и др.]. – М.: Колос, 2008/ – 303 с.
10. Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы / С.В. Шibaев [и др.]. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008. – 200 с.
11. Берникова, Т.А. Виштынецкое озеро и малые озера / Т.А. Берникова [и др.] // Виштынецкое озеро: природа, история, экология / В.В. Орленок [и др.]. / Калининград: Изд-во КГУ, 2001. – С. 84-126.
12. Берникова, Т.А. Динамика вод и формирование гидрологических особенностей оз. Виштынецкого / Т.А. Берникова, Н.А. Цупкиова // Известия КГТУ. – 2007. – № 12. – С. 94-102.
13. Берникова, Т.А. Роль грунтовых вод в формировании гидрологических особенностей оз. Виштынецкого / Т.А. Берникова, Н.А. Цупкиова // Известия КГТУ. – 2007. – № 12. – С. 89-93.
14. Озеро Виштынецкое / Н.К. Алексеев [и др.]. – Калининград: Калинингр. книжное изд-во, 1976. – 47 с.
15. Озеро Виштынецкое / Vištyčio ežeras / отв. ред. К.В. Тылик, С.В. Шibaев. – Калининград: «ИП Мишуткина», 2008. – 144 с.
16. Домышева, В.М. Гидрохимия / Байкал: природа и люди: энциклопедический справочник / В.М. Домышева; под ред. чл.-корр. А.К. Тулохонов. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН «ЭКОС», 2009. – 608 с.
17. Берникова, Т.А. Исследование экологического состояния озера Виштынецкого летом 2003 г. / Т.А. Берникова, М.Н. Шibaева, В.А. Шкицкий // Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона: сб. науч. тр. – Калининград: Изд-во КГУ, 2005. – С. 157-164.
18. Берникова, Т.А. К вопросу об эвтрофировании оз. Виштынецкого / Т.А. Берникова, А.Н. Малявкина // Инновации в науке и образовании – 2007: сб. тр. V науч. конф. КГТУ. – 2007. – Ч 1. – С. 41-44.
19. Алейников, А.А. Влияние средообразующей деятельности бобров на динамику комплексов экосистем в долинах малых рек / А.А. Алейников // Ест.-тест. и техн. науки. – 2010. – № 1. – С. 111-116.

ANALYSIS OF LONG-TERM VARIABILITY OF ORGANIC MATTERS IN WATER OF THE VISHTYNETSKOYE LAKE

T.A. Bernikova, N.N. Nagornova, N.A. Tsoupikova

The article describes potential sources of organic matters in water of the Vishtynetskoeye Lake; based on long-term data temporal fluctuations in easy oxidable organic matters (according to permanganate oxidation value) are analyzed from the point of view of possible changes in trophic status of the water body.

eutrophication, trophicity, permanganate oxidation, organic matters, anthropogenic load