

УДК 574.55

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ МАЛЫХ ОЗЕР АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИШирокова Л.С., Воробьева Т.Я., Забелина С.А., Морева О.Ю.,
Климов С.И.*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, Архангельск*

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

В статье представлены результаты исследований интенсивности продукционно-деструкционных процессов малых озер Архангельской области в период 2005–2007 гг. Обсуждена динамика продукционных процессов во временном аспекте, показано распределение показателей первичной продукции и деструкции органического вещества в фотическом слое озер в зависимости от абиотических параметров среды. Исследованные озера относятся к водоемам различной степени трофности, что обусловлено гидрологическими особенностями экосистем, литологией пород, составом вод питающего бассейна и различной степенью антропогенной нагрузки. Соотношение продукционно-деструкционных процессов свидетельствует об идущих процессах самоочищения в озерах, однако не все экосистемы способны к полной деградации органического вещества, что указывает на эвтрофирование озерных систем.

Особое место при изучении водных экосистем занимает оценка баланса органического вещества, который включает в себя разнородные и сложные биотические процессы, протекающие в водоеме. Загрязнение, обусловленное интенсификацией использования водосборов озер и сбросом сточных вод, приводит к нарушению устойчивого равновесия между образованием органического вещества и его деструкцией. Первичная продукция как первоисточник энергии для гетеротрофных организмов и основание трофической пирамиды является главным критерием продуктивности водных экосистем [2]. Отношение валовой первичной продукции к суммарной деструкции планктона является важной характеристикой состояния водоемов для оценки качества их воды [3]. Малые озера Архангельской области, часто являющиеся единственным источником водоснабжения для расположенных вокруг них населенных пунктов, представляются весьма уязвимыми системами, подверженными возрастающему хозяйственному влиянию, а также процессам глобального изменения климата, наиболее проявляемого в высоких широтах. Но, несмотря на

значительный запас водных ресурсов в регионе и их активное использование населением, исследованию состояния экосистем малых озер уделяется достаточно мало внимания. Целью представленной работы было изучение продукционно-деструкционных процессов в малых озерах Архангельской области.

Район исследований

На территории Архангельской области условно можно выделить два озерных района: западный, расположенный в бассейне реки Онеги, и восточный, охватывающий тундровую полосу от Мезенской губы до Полярного Урала. Озера Кенозерского национального парка (Масельское, Вильно) и Ротковецкая группа озер (Святое, Узловское, Белое) находятся в юго-западной части Архангельской области [1]. Представленные ниже результаты получены в ходе экспедиционных работ в 2005–2007 гг.

Материал и методика полевых работ, обработки и анализа данных

В ходе исследований проводились измерения: электропроводности, мкСм/см (с помощью портативного кондуктометра HANNA HI 8733), рН (с помощью порта-

тивного рН-метра HANNA HI 8314), содержания биогенных элементов (нитритов (NO_2^-), фосфатов (PO_4^{3-}), кремния (Si), общего фосфора ($\text{P}_{\text{общ}}$)) с использованием стандартных методов [9].

Интенсивность продукционно-деструкционных процессов определялась методом Винберга в кислородной модификации Винклера [7]. Измерение концентрации растворенного кислорода проводи-

лось электрохимически (оксиметр) и титриметрически (йодометрия). Немедленно после отбора проб проводилось фильтрация через мембранные фильтры ацетата целлюлозы 0,22 микрон. Во всех фильтрованных пробах, проводились измерения растворенного органического углерода с использованием автоматического анализатора Shimadzu TOC 5000.

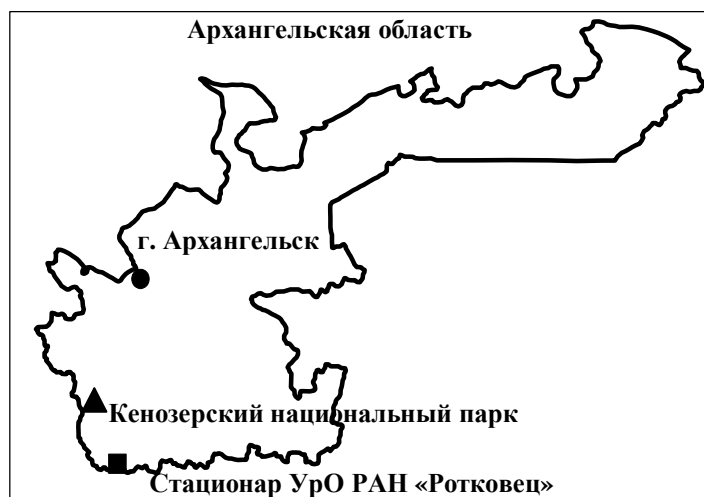


Рис. 1. Карта-схема расположения озер

Гидрологическая характеристика озер

Особенности формирования гидролого-гидрохимического режимов озер обусловлены факторами, связанными с их морфометрическими и гидрографическими характеристиками. Исследуемые озера отличаются между собой размерами, сложностью рельефа котловины, степенью открытости, стратификацией вод и условиям водообмена. Кенозерский национальный парк (КНП) охватывает территории, уникальные по-своему местоположению и природным характеристикам. Здесь проходит граница Балтийского кристаллического щита и Русской платформы, водораздел между бассейнами Белого и Балтийского морей, с чем связано своеобразие гидрологической сети и распространение гидробионтов. Исследуемые озера южной части КНП (Вильно, Масельское) с площадью зеркала от 2,7 до 3,44 км² и максимальными глубинами от 6 до 20 м являются маловодообменными, то есть в них преобладают внутриводоемные гидрохимиче-

ские процессы. Сложным рельефом дна отличается оз. Масельское. Ротковецкие озера представлены водоемами с различной степенью антропогенного воздействия. Озера Ротковецкой группы с площадью зеркала от 0,13 до 2,1 км² и максимальными глубинами от 3,7 до 16,0 м по показателю условного водообмена являются сильно- и средневодообменными [6]. Сложный рельеф дна характерен для самого большого в группе оз. Святого. По значению удельного водосбора исследуемые озера относятся к озерам с малым удельным водосбором (< 10) [4, 5].

Гидрохимическая характеристика озер

В результате исследований озер в 2005-2007 гг. установлено, что воды озер Святое, Узловское и Белое относятся к среднеминерализованным (126,2–197,5 мкСм/см), Масельское и Вильно - к малоинерализованным (35,0-73,8 мкСм/см), гидрокарбонатного класса кальциевой группы. Средние величины рН озер варьировали в пределах 7,3–7,7. Кислородный

режим их является в основном благоприятным для функционирования гидробионтов, за исключением периодов летней и зимней стагнации, когда содержание растворенного кислорода снижалось до 1% насыщения на глубоководных станциях. Исследуемые озера характеризуются более высокими концентрациями биогенных элементов в придонном горизонте по сравнению с поверхностным, что обусловлено процессами минерализации растительных остатков и активными процессами химического обмена, происходящими на границе водораздела вода-дно (слой иловых масс). Лишь озеро Узловское, подвергающееся антропогенному прессингу в виде хозяйственно-бытовых стоков, характеризовалось в период исследований более высоким содержанием биогенных элементов в поверхностном горизонте. В сезонной динамике биогенных элементов во всех озерах отмечена тенденция накопления их в условиях подледного режима и снижения их содержания в течение вегетационного периода (в Ротковецких озерах средние значения содержания фосфатов в поверхностном горизонте варьировали в пределах 11,61–27,59, в придонном – 20,85–29,15 мкг/л; общего фосфора в поверхностном горизонте в пределах 41,23–50,04, придонном – 42,35–54,27 мкг/л); для озер КНП содержание общего фосфора, фосфатов 1,5-2 раза ниже. Величины содержания неорганического азота во всех озерах были примерно сопоставимы (средние значения аммонийного азота составили 44,3-54,6 мкг/л; содержание нитритов минимально (1,2-1,7 мкг/л); величины концентраций нитратов варьировали в пределах 53,4-57,5 мкг/л).

Характеристика продукционно-деструкционных процессов в озерах

В Архангельской области исследования продукционно-деструкционных процессов не проводились. Сезонная динамика продукционно-деструкционных процессов изучалась на примере Ротковецких озер. Величины первичной продукции, близкие к нулю, отмечены в условиях подледного режима, когда подо льдом и покрывающим его слоем снега фотосинтез планктона практически прекращается. Деструкция органического вещества планк-

тоном также подвержена сезонным изменениям. Максимальные показатели дыхания планктона зафиксированы в августе 2006 года во всех озерах (10,6 мг С/(м³·сут) в оз.Святое, 149,1 мг С/(м³·сут) в оз.Узловское и 89,0 мг С/(м³·сут) в оз.Белое). Поскольку данный период характеризовался массовым развитием водорослей, как следствие, усиливались процессы аэробной деструкции органического вещества, образованного при фотосинтезе.

В августе 2006 года при условиях массового развития фитопланктона, отражающего уровень прироста первичной продукции, определялись основные закономерности скорости образования органического вещества и его деструкции в зависимости от глубины. Фитопланктон в большей степени подвержен влиянию температуры воды, что подтверждается корреляционным анализом. Повышение температурных показателей влечет за собой повышение интенсивности развития фитопланктонных сообществ, оказывающих влияние на значения рН воды ($r=0,730$, $p<0,01$). Изучение взаимосвязей между показателями валовой первичной продукции, деструкции органического вещества и чистой первичной продукции Ротковецких озер и основными абиотическими факторами, выявило положительные корреляционные зависимости валовой первичной продукции с температурой и рН воды ($r=0,598$, $p<0,01$; $r=0,729$, $p<0,01$); чистой первичной продукции - с температурой воды.

Исследования продукционно-деструкционных процессов в период развития фитопланктона в озере Святое (август 2006 г.) позволили выявить суточную динамику интенсивности фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества планктонными сообществами. Так, результаты пяти экспозиций в течение суток, указывают на наиболее интенсивное образование первичной продукции в период с 15.00 по 19.00 час. Показатели деструкции органического вещества планктонном минимальны в утренние часы (3,1 мг С/(м³·сут)). Повышение данных показателей отмечено в период с 15.00-19.00 час., за счет интенсификации микробиологиче-

ских процессов [10]. До полуночи отмечен спад скорости деструкционных процессов, после чего в период с 00.00 по 8.00 часов зафиксирован максимум показателей деструкции органического вещества наряду с отсутствием продукционных процессов. По данным В.И. Романенко [8] в умеренных широтах летом на рассвете прирост органического вещества происходит медленно – за 2 часа он равен 2,5% от суточной величины. После 6 часов в солнечные дни интенсивность фотосинтеза достигает максимальных величин между 8–12 и 14–18 часами. Следовательно, максимальный прирост первичной продукции вещества в малых озерах среднетаежной подзоны происходит во второй половине дня, когда факторы, определяющие развитие фитопланктона, наиболее благоприятны.

Для сравнительной характеристики интенсивности продукционно-деструкционных процессов исследовали озера, относящиеся к одному водосборному бассейну, но достаточно удаленные друг от друга. Так, озера Вильно и Белое, характеризующиеся небольшими глубинами и сходными

гидрологическими характеристиками, близки по валовой первичной продукции (рис. 2). Однако величины чистой продукции (ЧП) и деструкции (Д) органического вещества выше в озере Белое, где происходит накопление органического вещества и дальнейшая бактериобентосная деструкция в иловом слое. Можно предположить более сильную сельскохозяйственную нагрузку на оз.Белое (на берегу озера располагались сельскохозяйственные угодья) по сравнению с оз.Вильно, расположенным в Национальном парке. На это указывает и то, что содержание общего фосфора и легкоокисляемого органического вещества по БПК₅ в озере Белом почти в 2 раза выше, чем в озере Вильно. Содержание нитратов в озере Белом на порядок ниже (4,38 мкг/л), чем в озере Вильно (33,91 мкг/л), содержание аммонийного азота выше в 1,8 раза, что, возможно, указывает на то, что из-за высокого содержания органического вещества процессы нитрификации не протекают, происходят процессы аммонификации.

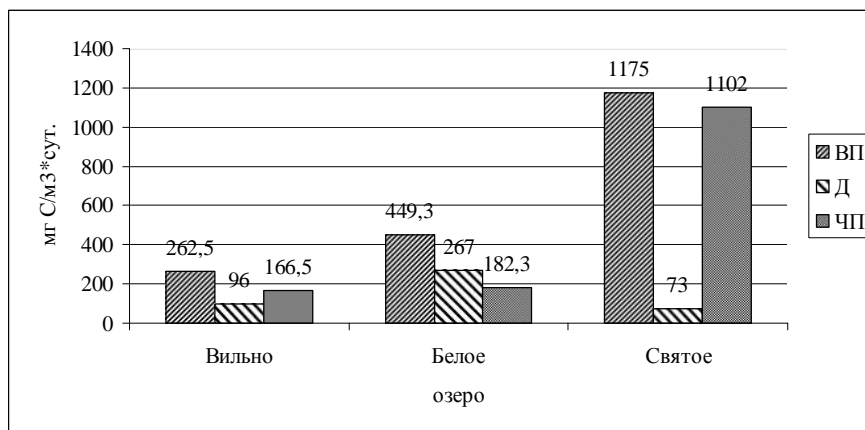


Рис. 2. Соотношение показателей валовой первичной продукции (ВП), чистой первичной продукции (ЧП) и деструкции органического вещества в малых озерах водосборного бассейна Белого моря в летний период 2006 года

В озере Святое первичная продукция в период развития фитопланктона характеризовалась максимальными значениями (1102 мг С/м³ * сут), в то время как деструкция была минимальна среди исследованных озер. Подобный дисбаланс можно объяснить антропогенной нагрузкой (маслозавод), проявляемой в северной,

мелководной части озера с замедленным водообменом.

С целью установления взаимосвязи между ПП и химической, и гидрологической стратифицированностью экосистем озер, было изучено вертикальное распределение продукционно-деструкционных параметров в озерах Масельское и Виль-

но. В оз.Масельгское, характеризующемся хорошо выраженной вертикальной стратификацией, продукционные процессы ограничены глубиной фотического слоя, о чем свидетельствует рисунок 3. Скорость образования органического вещества фи-

топланктоном уменьшается с глубиной с некоторыми вариациями в фотическом слое в силу наличия переходной зоны, контролирующей вертикальное распределение биологических и химических параметров.

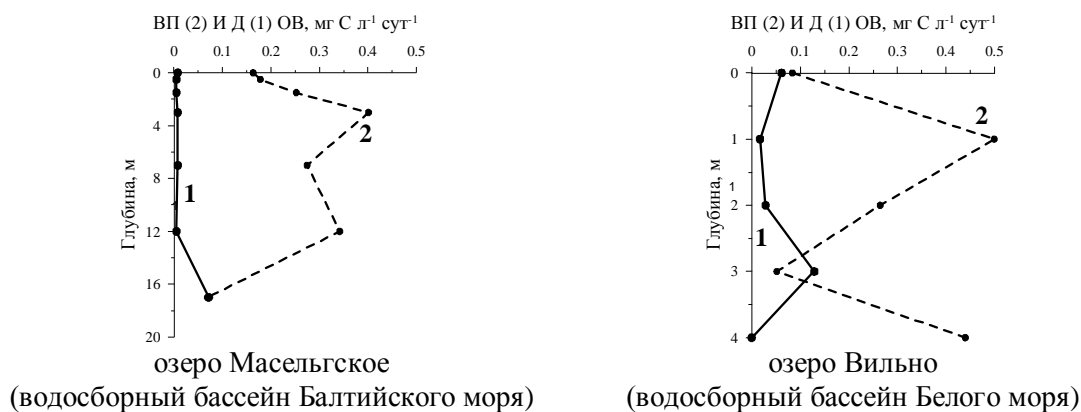


Рис. 3. Вертикальное распределение показателей валовой продукции и деструкции органического вещества в малых озерах южной части КНП (июль 2007 г.)

Аэробная деструкция органического вещества несколько повышается в нижнем горизонте фотического слоя. В мелководном оз.Вильно в летний период 2007 года в условиях массового развития фитопланктона отмечено некоторое увеличение валовой продукции в придонном горизонте. Суточные наблюдения за ходом основных гидрохимических показателей позволили достоверно зафиксировать более высокие значения растворенного кислорода и биомассы фитопланктона в придонном горизонте по сравнению с поверхностным. Очевидно, в силу мелководности озера, придонный горизонт является активной составляющей фотического слоя, куда проникает солнечная энергия и содержание биогенных элементов несколько выше по сравнению с поверхностным.

Изучение распределения концентраций растворенного органического углерода (РОУ) в озерах Кенозерского национального парка (июль, 2007 год), выявило максимальные концентрации в озере Масельгское, содержание которого варьировало по глубине столба в пределах 14-21 мг/л. В мелководном озере Вильно содержание данного показателя практически не изменялось и составило 9,0 в поверхностном и 9,1 мг/л в придонном горизонтах,

что согласуется с квазипостоянным распределением биомассы. На стратифицированной станции озера Святое содержание растворенного органического углерода увеличивалось с поверхностного горизонта к придонному от 5,8 до 16,6 мг/л; в озере Белое данный показатель составил 15,6-16,1 мг/л.

Вариации концентраций растворенного неорганического углерода (НСО₃) между исследуемыми озерами (Вильно и Масельгское - 0,00043 М < Святое - 0,0013 М < Белое - 0,0019 М) отражают различное влияние литологии подстилающих пород и не связаны напрямую со степенью трофности водоемов. Можно предположить, что озера Святое и Белое в большей степени подвержены влиянию водосборов рек (ручьев), дренирующих карбонатные породы (известняки, мергели). Воды, питающие озера Масельгское и Вильно, контактируют с силикатными породами (гранитной моренной). В то же время, повышенное содержание бикарбонат-ионов в оз.Белое по сравнению с оз.Святое, дренирующим одни и те же породы, может быть связано с более интенсивными процессами бактериальной деструкции в первом.

По трофическому статусу, исходя из средних показателей величин суточной

первичной продукции, исследованные озера можно определить как мезотрофные [3].

Заключение

Максимальная скорость образования первичной продукции во всех озерах отмечена в период массового развития фитопланктона во второй половине лета, минимальная – в зимний период. Выявлена взаимосвязь продукционно-деструкционных показателей с основными абиотическими параметрами среды. Изучение суточной динамики интенсивности продукционно-деструкционных процессов показало, что максимальный прирост первичной продукции органического вещества происходит во второй половине дня, когда факторы, определяющие развитие фитопланктона, наиболее благоприятны. Распределение показателей первичной продукции и деструкции органического вещества по вертикали в фотической зоне характеризуется усилением деструкционных и ослаблением продукционных процессов с глубиной. РОУ, биомасса фитопланктона и первичная продукция подвержены наименьшим вариациям по глубине водного столба в мелководных озерах Вильно и Белое, несмотря на контрастность в содержании РОУ, бикарбонат-ионов и биогенов. Стратифицированные озера Масельское и Святое демонстрируют уменьшение ПП, биомассы фитопланктона и РОУ в придонном слое по сравнению с поверхностным, причем относительное уменьшение последнего показателя в оз. Святое в два раза выше. Это согласуется с более интенсивными процессами бактериальной деструкции в оз. Святое и более сильной эвтрофированностью оз. Масельское. Соотношение продукционно-деструкционных процессов свидетельствует об идущих процессах самоочищения в озерах, однако не все экосистемы способны к полной деградации образованного органического вещества, что указывает на эвтрофирование озерных систем. Таким образом, исследованные озера Архангельской области, как показали результаты исследований продукционно-деструкционных процессов, относятся к водоемам различной степени трофности, что обусловлено гидрологическими особенностями экосистем, литологией пород,

составом вод питающего бассейна и различной степенью антропогенной нагрузки. Контрастные озера стационара Ротковец представляются наиболее интересными объектами для количественной оценки антропогенной нагрузки и ее временной трансформации в экосистеме водоема. Представляется, что комплексная оценка влияния удобрений, наземного и водного транспорта, водозабора для хозяйственных нужд, и локальных сбросов сточных вод напрямую связана с промышленно-хозяйственной и демографической эволюцией примыкающего региона. Для установления систематических временных трендов в эволюции химического состава, гидрологических характеристик и продукционно-деструкционных биологических процессов и их связи с изменением промышленно-хозяйственной ситуации, либо с наличием глобальных климатических трендов требуется комплексная работа специалистов различных областей знаний, которая необходима для получения непрерывного ряда многолетних наблюдений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Фонда содействия отечественной науке; грантов Уральского отделения РАН и администрации Архангельской области; РФФИ (№ 08-05-98810 «Биогеохимические процессы циклов углерода и серы в экосистемах малых озер таежной зоны северо-запада России (на примере Архангельской области)».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Агроклиматический справочник по Архангельской области. – Л.: Гидрометеопиздат, 1961. 220 с.
2. Бульон В.В. Первичная продукция и рыбопродуктивность водоемов: моделирование и прогноз // Биология внутренних вод. 2006. №1. С. 48-56.
3. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. - Минск, 1960. 329 с.
4. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. – Тр. Карельск. фил. АН СССР, 1959, в. 18, с. 29-45.
5. Дракцова В.Г., Сорокин И.Н. Озеро и его водосбор – единая природная система. Л., "Наука", 1979, 195 с.

6. Климов С.И., Широкова Л.С., Забелина С.А., Воробьева Т.Я., Морева О.Ю. Особенности формирования термической структуры озер Ротковецкой группы // Современные проблемы науки и образования. 2008, №3, С. 9-14.
7. Методы определения первичной продукции в водоемах / В.М.Хромов, В.А. Семи́н; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, Биол. фак. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. 123 с.
8. Романенко В.И., Распопов И.М., Гак Д.З. Микроорганизмы и процессы продукции и деструкции органического вещества в озерах и водохранилищах // Гидробиологический журнал, том 18, 1982. №4. С. 3-12.
9. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
10. Широкова Л.С., Воробьева Т.Я., Забелина С.А. Структура бактериопланктона озера Святое Ротковецкой озерно-речной системы // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий. Тезисы докладов на Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2005. С.117.

CHARACTERIZATION OF PRODUCTION/MINERALIZATION PROCESSES IN SMALL LAKES OF ARKHANGELSK REGION

Shirokova L.S., Vorobieva T.Ya., Zabelina S.A., Moreva O.Yu., Klimov S.I.
Institute of Ecological Problems in the North, Ural Branch, the Russian Academy of Science, Arkhangelsk

This study is aimed to characterize the intensity of production/destruction processes in small lakes of Arkhangelsk region during 2005-2007. We discuss the dynamics of production processes, its temporal variability, distribution of primary production and destruction in the photic zone of the lakes in relation to the biotic parameters of the environment. Our results demonstrate that studied lakes belong to water reservoirs of different trophic status, which is explained by different hydrological properties of the ecosystems, rocks lithology, composition of the watersheds and different degree of anthropogenic pressure. The relationship between production and mineralization demonstrate the on-going autoperification of the lakes. However not all studied ecosystems are capable to full mineralization of organic compounds, as a result the eutrophication of the lakes remains possible.