

УДК 504:574.5

## МОНИТОРИНГ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫХ ОТНОШЕНИЙ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

<sup>1</sup>Дмитриев В.В., <sup>1</sup>Боброва О.Н., <sup>2</sup>Грачева И.В., <sup>1</sup>Колодкин П.А.,  
<sup>3</sup>Примак Е.А., <sup>1</sup>Седова С.А., <sup>1</sup>Четверова А.А.

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург;

<sup>2</sup>Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева, Ковров;

<sup>3</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,  
e-mail: v.dmitriev@spbu.ru, vasiliy-dmitriev@rambler.ru

Рассматриваются результаты мониторинга первичной продукции и деструкции органического вещества в малых озерах северо-западного Приладожья на примере оз. Суури (Большое Волковское) по данным натурных наблюдений 2016–2018 гг. и моделирование продукционно-деструкционных отношений в мелководной экосистеме. В моделях учитывается зависимость первичной продукции от температуры воды, освещенности, содержания в воде биогенов (минерального фосфора, аммонийного, нитритного, нитратного азота). Деструкция органического вещества в водной экосистеме рассматривается как сумма трат на обмен гидробионтов: фитопланктона, зоопланктона; бактерий, ассоциированных с детритом. В экспериментах в деструкцию также включена скорость минерализации растворенного органического вещества (растворенные органические углерод, азот, фосфор). На моделях выполнена серия экспериментов по влиянию факторов среды и биоты на продукционно-деструкционные отношения в экосистеме. Рассматриваются эксперименты по изменению глубины (мощности слоя, в котором продуцируется органическое вещество); влиянию температуры воды; увеличению концентрации биогенных элементов (минерального азота и фосфора) на скорости продукции и деструкции органического вещества в озере. Имитируется увеличение трат на обмен компонентов биоты, дополнительный учет скоростей минерализации растворенного органического вещества в оценке деструкции и их влияние на внутригодовое изменение отношения «деструкция/продукция». Выявлены периоды, когда это отношение больше 1,0 (система способна к самоочищению) и меньше 1,0 (система эвтрофируется). Показано, что дополнительный учет минерализации органического вещества не сильно сказывается на величине отношения «деструкция/продукция». Делается вывод о способности экосистем малых озер к самоочищению в различные сезоны года. Обсуждаются результаты и перспективы исследований.

**Ключевые слова:** водная экосистема, продукция, деструкция, моделирование, самоочищение

## MONITORING AND MODELING OF PRODUCTION AND DESTRUCTION RELATIONS IN AQUATIC ECOSYSTEMS

<sup>1</sup>Dmitriev V.V., <sup>1</sup>Bobrova O.N., <sup>2</sup>Gracheva I.V., <sup>1</sup>Kolodkin P.A.,  
<sup>3</sup>Primak E.A., <sup>1</sup>Sedova S.A., <sup>1</sup>Chetverova A.A.

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University, St. Petersburg;

<sup>2</sup>Kovrov State Technological Academy V.A. Degtyarev, Kovrov;

<sup>3</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg,  
e-mail: v.dmitriev@spbu.ru, vasiliy-dmitriev@rambler.ru

The results of monitoring of primary production and destruction of organic matter in small lakes of the north-western Ladoga area according to field observations of 2016-2018 and modeling of production-destruction relations in a shallow-water ecosystem are considered. The models take into account the dependence of the primary production on water temperature, light, content of nutrients in water. Destruction is considered as the sum of expenses for the exchange of hydrobionts: phytoplankton, zooplankton; bacteria associated with detritus. The experiments also take into account the mineralization of dissolved organic matter. On the models, a series of experiments on the influence of environmental factors and biota on production-destruction relations in the ecosystem was carried out. Experiments on changing the depth (thickness of the layer in which organic matter is produced), the effect of water temperature, the increase in the concentration of biogenic elements on the rate of production and destruction of organic matter are considered. An increase in expenditure on the exchange of biota components, an additional consideration of the rates of mineralization of dissolved organic matter in the assessment of degradation and their effect on the intra-annual change in the degradation / production ratio is simulated. There are periods when this ratio is more (the system is capable of self-cleaning) and less (the system is eutrophied) 1.0. It is shown that the additional accounting for the mineralization of organic matter does not strongly affect the «destruction / production» ratio. The conclusion is made about the ability of lake ecosystems to clean themselves in different seasons of the year. The results and prospects of research are discussed.

**Keywords:** aquatic ecosystem, products, destruction, modeling, self-cleaning

Индикаторный подход к оценке состояния природных систем обуславливает применение репрезентативных критериев для оценки состояния и нормирования воздействий на естественные и антропогенно-трансформи-

рованные наземные и водные эко- и геосистемы. Такие критерии часто называют индикаторами, индексами состояния системы и ее эмерджентных свойств, маркерами системы, трассерами траекторий развития.

Одним из основных индикаторов состояния и трансформации природных экосистем традиционно выступает соотношение скоростей процессов продуцирования и деструкции органического вещества в системе. Например, кризисное состояние природной системы связывают с утратой ее способности продуцировать органическое вещество в экосистеме, а «злокачественное увеличение продуктивности» обуславливает антропогенное эвтрофирование водных экосистем [1]. Отношение «продукция / деструкция» показывает, какие процессы в данный момент преобладают в экосистеме: новообразование и биосинтез нового органического вещества или разрушение и разложение мортмассы, деструкция и минерализация взвешенного и растворенного органического вещества. При этом, как правило, в практике оценивания рассматривается отношение валовой первичной продукции к суммарной деструкции органического вещества на временном интервале функционирования экосистемы. Деструкция и минерализация органического вещества осуществляются в водной экосистеме организмами-деструкторами (свободноплавающими и агрегированными с детритом бактериями), а также другими гидробионтами (фито-, зоопланктон, бентос, рыбы и др.) в процессе их трат на обмен (единый дыхательно-выделительный процесс, присущий всем живым организмам), а первичная продукция создается первичными продуцентами (фитопланктон, макрофиты, фитобентос). В последние годы появились новые обобщения и модельные представления, описывающие эти и другие процессы в водной среде и оценку факторов, их обуславливающих [2, 3]. Реже разрабатывались модели факториальной экологии, описывающие влияние какого-либо одного или нескольких факторов на указанные процессы. Параллельно решались проблемы совместного учета факторов по типу (Л-моделей или М-моделей), совершенствовался мониторинг, разрабатывались модели функционирования водных экосистем в целом [4–6].

На основе обобщения результатов мониторинговых наблюдений за межгодовой изменчивостью  $D/P$ -отношений в летнее время и моделирования мелководной экосистемы оценить влияние факторов среды и биоты на внутригодовое изменение  $D/P$ .

#### Материалы и методы исследования

Модели  $P/D$  или  $D/P$ -отношений применяются в процессе анализа результатов

моделирования экосистемы в целом, и это оправдано, поскольку и числитель, и знаменатель этих отношений являются функциями многих факторов, их учет сопоставим с созданием отдельных блоков имитационной модели водной экосистемы в целом. Первый вариант ( $P/D$ ) чаще присутствует в биологических или экосистемных исследованиях, выполненных с позиций био- или экоцентризма. В водоеме это отношение изменяется в течение суток, по глубине и по сезонам года. Второй вариант ( $D/P$ ) чаще встречается в системном моделировании, поскольку дает возможность оценить вклад различных гидробионтов в суммарную деструкцию и способность системы к самоочищению. В целом  $D/P$  является одним из важнейших индикаторов «устойчивого развития» водных экосистем. Его незначительное изменение при внешнем воздействии на экосистему свидетельствует об устойчивости экосистемы к оказанному воздействию. Его направленное изменение в сторону снижения  $D/P$  иллюстрирует результат естественного или антропогенного эвтрофирования водной экосистемы. При этом на моделях может быть определена антропогенная составляющая этих изменений на фоне естественного изменения продукционно-деструкционных отношений в экосистеме.

1. Наблюдения за первичной продукцией и деструкцией органического вещества в водной экосистеме. Наблюдения осуществлялись в летнее время (июль) на малом озере Суури (Большое Волковское) в северо-западном Приладожье методом светлых и темных склянок [5, 7]. Ниже приводится обсуждение результатов исследований 2016–2018 гг. Значения  $D:P_{\text{вал}}$  в открытом районе озера, в большинстве случаев оказались  $> 1,0$ . Это свидетельствует о том, что в это время процессы деструкции органического вещества превышали его новообразование.

В 2016 г. исследования в центральном районе оз. Суури проводились пять раз [3, 5]. Средняя глубина прозрачности в период суточной станции составила 1,57 м. Среднее значение  $P_{\text{вал}} = 0,55$  мг  $O_2$ /л\*сут;  $D = 1,13$  мг  $O_2$ /л\*сут;  $D/P_{\text{вал}} = 2,36$ . Отношение  $D:P_{\text{вал}}$  для верхнего горизонта наблюдений составило 2,05. Сравнение данных 2016 и 2015 гг. позволило сделать вывод о том, что увеличение примерно на 0,5 м уровня воды в озере в 2016 г. уменьшило продукционную способность озерной экосистемы в период наблюдений примерно в 1,5–2 раза.

Подтвердился вывод о том, что повышение уровня воды в водоеме является значимым фактором в борьбе с его эвтрофированием. Деструкция органического вещества в озере снизилась в 1,1–1,3 раза, что указывает на разные темпы продукции и деструкции органического вещества [7].

В 2017 г. наблюдения выполнялись на шести станциях [7]. Среднее значение  $P_{\text{вал}}$  составило 0,83 мг  $O_2$ /л сут, при разбросе данных от 0,4 до 1,2 мг  $O_2$ /л сут. Среднее значение  $D = 1,73$  мг  $O_2$ /л сут при разбросе данных от 0,8 до 2,6 мг  $O_2$ /л сут. В целом деструкция превышала образование нового органического вещества в период работ в 2,37 раза. Получено, что в 2017 г. в слое средней прозрачности воды за 1 сутки образовалось 149 кг С сут<sup>-1</sup>. В этом же слое подверглось деструкции 311 кг С сут<sup>-1</sup>.

Исследования 2018 г. показали, что средняя глубина прозрачности в период исследований составила 1,48 м. Среднее значение  $P_{\text{вал}} = 0,38$  мг  $O_2$ /л\*сут;  $D = 1,41$  мг  $O_2$ /л\*сут;  $D/P_{\text{вал}} = 4,02$ . Полученные значения  $D/P_{\text{вал}}$  подтвердили вывод о том, что исследуемый водоем способен к самоочищению и справляется с нагрузками на него. Расчет количества органического вещества, образовавшегося за одни сутки (с 10 по 15.07.18) в слое средней прозрачности воды показал, что по величине валовой продукции фитопланктоном было синтезировано 66,53 кг С сут<sup>-1</sup>. Также было показано, что за одни сутки в оз. Суури подверглось деструкции 241,27 кг С сут<sup>-1</sup>. Параллельно с основными наблюдениями был проведен эксперимент для исследования влияния объема склянок на результаты экспериментов. По сравнению с традиционным (0,25 л) объем был увеличен до 2 л. Это позволило оценить чистую планктонную продукцию в озере, которая составила 0,64 мг  $O_2$ /л\*сут.

2. Моделирование  $D/P_{\text{вал}}$  – отношений. Первичную продукцию и деструкцию оценим на основе следующих модельных расчетов [5]. Для упрощения задачи будем считать, что основными гидробионтами в водоеме являются: фитопланктон ( $F$ ), зоопланктон ( $Z$ ), бактерии ( $B$ ), ассоциированные с детритом ( $D$ ). Найдем валовую первичную продукцию:

$$P_{\text{вал}} = (\mu_F + r_F)F, \quad (1)$$

где  $\mu_F$  – интенсивность чистого первичного биосинтеза фитопланктона,  $r_F$  – интенсивность трат на обмен фитопланктона,  $F$  – биомасса фитопланктона.

Деструкцию ( $D$ ) органического вещества в воде представим как

$$D = R_F + R_Z + R_B, \quad (2)$$

где  $R_F$ ,  $R_Z$ ,  $R_B$  – скорости трат гидробионтов на обмен.

Расчет  $\mu_F$  выполним по М-модели:

$$\mu_F = f(t^0) * f(I) * f(P) * f(N), \quad (3)$$

где  $t^0$  – температура воды,  $I$  – освещенность в слое толщиной  $H$ ;  $f(P)$ ,  $f(N)$  – функции влияния биогенов (фосфора и азота) на рост планктонных водорослей.

Функцию влияния температуры воды зададим по [5]:

$$f(t^0) = \exp(a * (t^0) - b). \quad (4)$$

Функцию влияния освещенности зададим по [4]:

$$f(I) = I / I_{\text{опт}} * \exp(1 - I / I_{\text{опт}}). \quad (5)$$

Среднюю интегральную освещенность  $I$  в слое толщиной  $H$  рассчитаем по [5] по формуле

$$I = \{I_0 * k * k_n * [1 - \exp(-\gamma H)]\} / \gamma H. \quad (6)$$

В (6):  $I_0$  – поступающая на поверхность воды суммарная за сутки солнечная радиация;  $k$  – коэффициент экстинкции,  $k_n$  – коэффициент влияния льда (и снега на поверхности льда) на ослабление света,  $\gamma$  – показатель ослабления света взвесью. Параметры  $k_n$  и  $\gamma$  найдем из эмпирических уравнений:  $k_n = \alpha - \beta \Delta$ , где  $\alpha = 0,797$ ;  $\beta = 0,014$ ;  $\Delta$  – толщина льда в см [5]. В случае отсутствия льда  $k_n = 1,0$ . Коэффициент ослабления света взвесью  $\gamma$  рассчитаем по формуле

$$\gamma = a(Bs + M) + b, \quad (7)$$

где  $a = 0,141$ ;  $b = 0,164$ ;  $B_s$  – суммарная взвесь ( $F + Z + B + D$ );  $M$  – мутность воды, (мг/л) по [5] является функцией скорости ветра  $W$ :

$$M = (aW)^b + c, \quad (8)$$

где  $a = 0,368$ ;  $b = 2,22$ ;  $c = 7,0$ .

Влияние биогенов рассчитаем по модели Михаэлиса – Ментен – Монó [4]:

$$f(P) = \frac{P}{(K_P + P)}; f(N) = \frac{N}{K_N + N};$$

где

$$N = NH_4 + n(NO_2 + NO_3),$$

$$n = 1 / \left(1 + \left(\frac{NH_4}{NH_{4\text{крит}}}\right)\right). \quad (9)$$

Параметры полунасыщения по биогенам:  $K_P = 20$  мкг P/л,  $K_N = 35$  мкг N/л; критическая концентрация аммонийного азота  $NH_{4\text{крит.}} = 17$  мкг N/л. Дополнительно может быть учтено влияние загрязняющих веществ, например тяжелых металлов, на  $\mu_F$  [5].

Скорость трат на обмен у фитопланктона  $R_F$  рассчитаем по формуле

$$R_F = r_F F, r_F = a_F \mu_F + \Delta_F. \quad (10)$$

Доля  $a_F$  трат на обмен фитопланктона от величины  $\mu_F$  задана по эмпирическому уравнению

$$a_F = a \exp(-0,0023 * I_0). \quad (11)$$

Параметр  $\Delta_F$  задан равным 5% от величины  $a_F * \mu_F$  для января.

Скорость трат на обмен зоопланктона  $R_Z = r_Z Z$ , где  $r_Z$  – интенсивность трат на обмен зоопланктона, зависящая от среднего веса организмов ( $W_Z$ ) и температуры воды [5]:

$$r_Z = a_Z W_Z^b \exp(c(t^0 - 20)). \quad (12)$$

Скорость трат на обмен бактерий ( $R_B$ ), ассоциированных с детритом принята равной 60% от валовой бактериальной продукции  $B_{\text{вал}}$ , рассчитываемой по эмпирической формуле из [4]:  $B_{\text{вал}} = 0,0087 * (t^0)^2 * B$ .

### Результаты исследования и их обсуждение

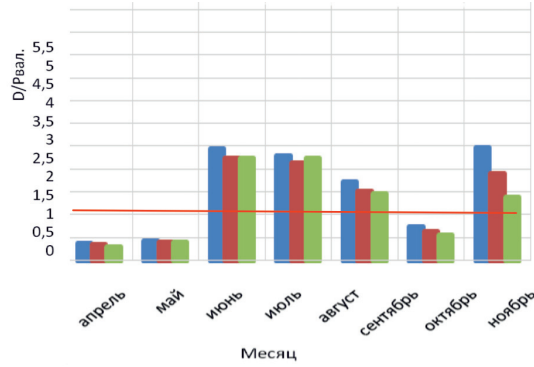
Рассчитаем  $D:P_{\text{вал}}$  по формулам (1–12) для месяцев года с различными вариантами задания мощности (толщины) продукционного слоя: 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 м. Значения температуры воды ( $t^0$ ) по месяцам года зададим по наблюдениям в Невской губе по ГМП «Лисий нос». Значения  $I_0$  и скорости ветра ( $W$ ) зададим по средним многолетним данным для широты г. Санкт-Петербурга. Зададим расчетные параметры функций (3)–(8):  $k = 0,5$ ;  $I_{\text{онт}} = 1,5$  МДж/м<sup>2</sup>сут. Для расчета  $r_z$  зададим:  $W_Z = 10^{-4}$  мг сух. веса;  $a_z = 0,06$ ;  $b = -0,25$ ;  $c = 0,1$ . Биомассу фитопланктона ( $F$ ), зоопланктона ( $Z$ ), бактерий ( $B$ ), ассоциированных с детритом ( $D$ ) зададим рекогносцировочно по результатам моделирования мелководной экосистемы [5]. Концентрацию минерального фосфора ( $P$ ), аммонийного азота ( $NH_4$ ); нитритов ( $NO_2$ ); нитратов ( $NO_3$ ) по месяцам года также зададим по результатам моделирования. Оценим возможности самоочищения водной экосистемы на годовом интервале ее функционирования по величине  $D:P_{\text{вал}}$ . Приведенный алгоритм дает возможность оценить также вклад в самоочищение компонентов биоты по отдельности. Для этого необходимо рассчитать отношения  $R_F/P_{\text{вал}}$ ;  $R_Z/P_{\text{вал}}$ ;  $R_B/P_{\text{вал}}$  [5].

На рисунке приведены некоторые результаты моделирования изменчивости  $D/P$  в расчетных сценариях 1 и 2:

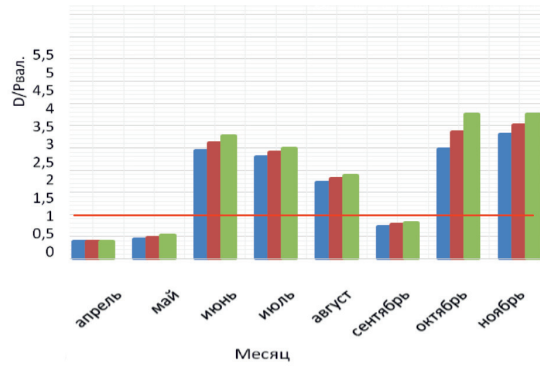
1. Влияние  $H$  и температуры воды на  $D/P$ . Рассчитывается средняя интегральная освещенность  $I$  в слое толщиной  $H = 1,5$  м. Параметр  $a$  в функции (11) задан равным 0,25. Толщина льда зимой 30 см. Результаты по изменению параметра  $H$  приведены на рисунке, *a*, изменение  $H$ :  $H = 1,5$  м (синий); 2 м (коричневый); 3 м (зеленый). На рисунке, *б*: представлены результаты изменения  $D/P$  при изменении температуры воды в безледный период: исходный ряд температуры воды (синий); температура воды в безледный период увеличена на 1 °С (коричневый); температура воды в безледный период увеличена на 2 °С (зеленый). Рисунок, *в*, иллюстрирует вклад отношений  $R_F/P_{\text{вал}}$  (синий);  $R_Z/P_{\text{вал}}$  (коричневый);  $R_B/P_{\text{вал}}$  (серый) в суммарное  $D/P$ .

2. Влияние  $H$ , температуры воды и концентраций минерального азота и фосфора на  $D/P$ . Рассчитывается средняя интегральная освещенность  $I$  в слое толщиной  $H = 2,0$  м. Параметр  $a$  в функции (11) задан равным 0,59 (имитируется гипотетический переход фитопланктона на активный обмен, который может быть обусловлен загрязнением экосистемы). Толщина льда зимой нарастает от 30 см в декабре до 50 см в феврале, затем снижается до 30 см в апреле. Рисунок, *з*, отражает изменение  $H$ :  $H = 2,0$  м (квадраты); 1 м (ромбы); 4 м (треугольники). Рисунок, *д*, отражает изменение температуры воды: исходный ряд температуры воды (квадраты); температура воды в безледный период уменьшена на 2 °С (ромбы); температура воды в безледный период увеличена на 2 °С (треугольники). Рисунок, *е*, отражает увеличение концентрации биогенов (минеральный азот и фосфор) в 2 раза (треугольники) на фоне внутригодового изменения  $D/P$  при исходной концентрации биогенов (квадраты).

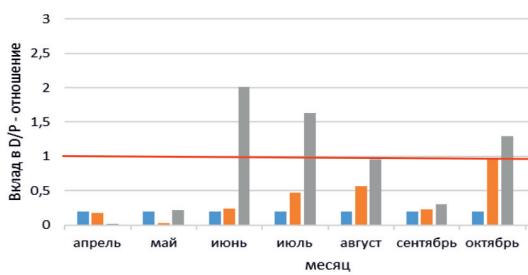
Во всех экспериментах выявлена ведущая роль бактерий в деструкции органического вещества в экосистеме. Динамика  $D/P$  – отношения при  $H = 5,0$ ; 3,0; 2,5 м характеризуется максимумом  $D/P$  в июне – июле (2,2–1,6), который обусловлен усилением деструкции с ростом температуры воды на фоне роста продукции.  $D/P < 1$  отмечено на временных промежутках январь (февраль) – май и август – ноябрь (декабрь) (до 0,4). Отличительной особенностью этих периодов является то, что значения  $D/P < 1$  вызваны сравнительно низкой деструкцией на фоне роста продукции.



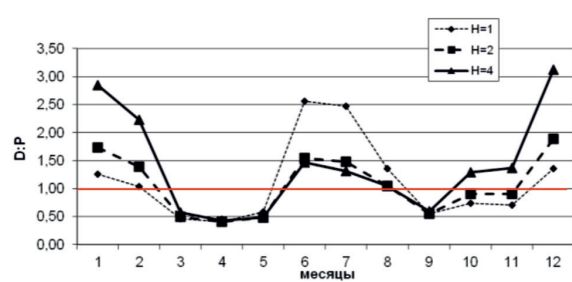
а)



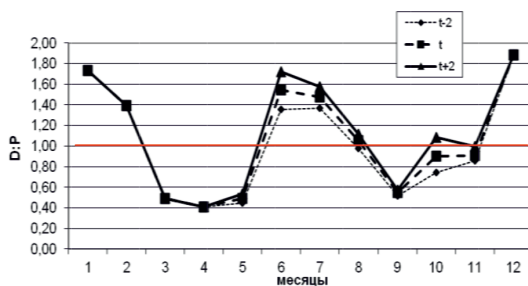
б)



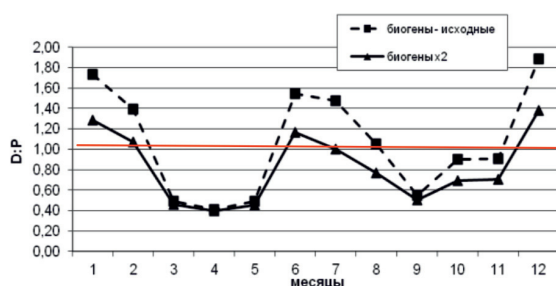
в)



г)



д)



е)

*Внутригодовая изменчивость D/P в расчетных сценариях (пояснение в тексте)*

В эксперименте с  $N = 2,5; 2,0; 1,5$  м весной (апрель – май) отмечены  $D/P < 1$  (порядка 0,4), летом  $D/P > 1$  (1,7–2,45), осенью выявлены значения  $D/P < 1$  (0,6–0,7), которые приходятся на сентябрь (октябрь). Зимние значения  $D/P > 1$  обусловлены снижением скорости продуцирования органического вещества на фоне низкой скорости деструкции. Летние  $D/P > 1,0$  характеризуются опережающим ростом деструкции на фоне увеличения первичной продукции в водоеме. Осенние  $D/P < 1$  обусловлены

возрастанием продукционной способности на фоне общего постепенного снижения деструкции в водной экосистеме.

Также был выполнен эксперимент, характеризующий возможный недоучет суммарного разложения органического вещества в экосистеме за счет минерализации растворенного органического вещества. Скорость минерализации растворенного органического углерода, азота, фосфора в расчетах зависела от температуры воды [5]. Таким образом, скорость деструкции бакте-

риями взвешенного органического вещества и скорость минерализации растворенного органического вещества ( $M$ ) оценивались суммой  $M + R_F + R_Z + R_B$  или  $(M + D)$ .

Анализ изменчивости  $(M+D)/P$  при  $N = 2,5$  м выявил  $(M + D)/P > 1$  на промежутке июнь – июль (до 1,75) и в декабре (до 2,2). Значения  $(M + D)/P < 1$  отмечены на промежутке январь – май (0,35), август – ноябрь (0,55). Отмечен максимум  $(M + D)/P$  в январе (2,2), который обусловлен не усилением процесса деструкции и минерализации, а снижением продуктивности фитопланктона. Минимум  $(M + D)/P$  в апреле – мае (0,35) связан с увеличением продукции в водоеме (весенний максимум вегетации фитопланктона). Анализ результатов показывает, что дополнительный учет при расчете  $D/P$  скоростей минерализации растворенных органических углерода, азота, фосфора не сильно сказывается на результатах моделирования  $D/P$ -отношения.

### Заключение

Разработка методов мониторинга скоростей массообмена между компонентами водных экосистем, моделирование процессов массообмена, зависимости скоростей процессов от влияющих на них факторов является актуальной задачей современной водной экологии, системного моделирования и системного нормирования. Мониторинг наземных и водных экосистем целесообразно развивать за счет оценки скоростей процессов, характеризующих массообмен в экосистемах и экосистемные функции.

Оценка внутригодовой изменчивости скоростей массообмена и соотношений между ними дает исследователю необходимую информацию для оценки экологического состояния водного объекта, его простых и сложных свойств и может использоваться для доказательства адекватности моделей водных экосистем. Современные акценты исследований: 1 – разработка индикаторов оценки экологического состояния водных экосистем; 2 – интегральная оценка эмергентных свойств водных объектов (экосистем): устойчивость, экологический статус, экологическое благополучие, экологическая напряженность и др.; 3 – разработка индикаторов системных свойств.

Информация о скоростях массообмена в экосистеме может использоваться для

принятия управленческих решений при планировании воздействия на водные объекты и их экосистемы.

*Исследования выполнялись при поддержке гранта РФФИ №18-05-60291 а.*

### Список литературы / References

1. Одум Ю. Основы экологии / Пер. с 3-го англ. изд. под ред. Н.П. Наумова. М., 1975. 740 с.

Odum Y. Fundamentals of Ecology / Trans. from 3rd ed. by ed. N.P. Naumov. M., 1975. 740 p. (in Russian).

2. Ostroumov S.A. Biocontrol of water quality: Multifunctional role of biota in water self-purification. *Rus. J. Gen. Chem.* 2010. № 80 (13). P. 2754–2761. DOI: 10/1134/51070363210130086.

3. Абакумов В.А. Новое в изучении современных проблем наук об окружающей среде и экологии, включая исследования водных экосистем и организмов // *Успехи наук о жизни.* 2012. № 5. С. 121–126.

Abakumov V.A. New in the study of modern problems of environmental sciences and ecology, including studies of aquatic ecosystems and organisms // *Advances in life sciences.* 2012. № 5. P. 121–126 (in Russian).

4. Гречушникова М.Г., Гончаров А.В. Масштабы внутрисуточных изменений продукционно-деструкционных процессов в Можайском водохранилище // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова / Под ред. О.М. Макарьевой. СПб.: Издательство: «Наукоемкие технологии», 2018. С. 333–337.

Grechushnikova M.G., Goncharov A.V. The extent of intraday changes in production and destruction processes in the Mozhaik Reservoir // Third Vinogradov reading. Edge of hydrology. Collection of reports of the International Scientific Conference in memory of the outstanding Russian hydrologist Yuri Borisovich Vinogradov. Edited by O.M. Makarieva. St. Petersburg: Publisher: «High Technologies», 2018. P. 333–337 (in Russian).

5. Дмитриев В.В. Гармония продукционно-деструкционных отношений в водной экосистеме // Международная научно-практическая конференция: Вторые Виноградовские чтения. Искусство гидрологии. Памяти выдающегося русского ученого Ю.Б. Виноградова. 18–22 ноября 2015 г., Санкт-Петербургский государственный университет. СПб.: «Арт-Экспресс», 2015. С. 173–177.

Dmitriev V.V. Harmony of production-destruction relations in the aquatic ecosystem // International Scientific and Practical Conference: The Second Vinogradov Readings. The Art of Hydrology. In memory of the outstanding Russian scientist Yu.B. Vinogradov. November 18–22, 2015, St. Petersburg State University. SPb.: «Art Express», 2015. P. 173–177 (in Russian).

6. Меншуткин В.В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск – Санкт-Петербург, 2010. 419 с.

Menshutkin V.V. The Art of Modeling (Ecology, Physiology, Evolution). Petrozavodsk – St. Petersburg, 2010. 419 p. (in Russian).

7. Дмитриев В.В., Зуева Н.В., Лубенцова А.С., Валатин Д.И., Васякина А.В., Непомнящая А.В., Никонов И.А., Осташов А.А., Подшивалова Д.О., Прокопеня А.Д., Соколова Д.П., Черненко Ю.И. Экологическое состояние водных объектов карельского Приладожья: традиционный взгляд и современные акценты // *Ученые записки РГГМУ.* 2017. № 47. С. 126–144.

Dmitriev V.V., Zueva N.V., Lubentsova A.S., Valatin D.I., Vasjakina A.V., Nepomnyashchaya A.V., Nikonov I.A., Ostashov A.A., Podshivalova D.O., Prokopenya A.D., Sokolova D.P., Chernenko Yu.I. Ecological state of water bodies of the Karelian Ladoga area: the traditional look and modern accents // *Scientific notes RGGMU.* 2017. № 47. P. 126–144 (in Russian).