

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
ОЗЕР КУРИЛЬСКОЕ И ПАЛАНСКОЕ (КАМЧАТКА),
ЕГО СВЯЗЬ С ЭЛЕМЕНТАМИ БИОТЫ**

Е.В. Лепская, Т.К. Уколова, И.Б. Калинина, В.Д. Свириденко

*Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(КамчатНИРО), Набережная, 18, Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия.
E-mail: Lepskaya@kamniro.ru*

Показано, что в оз. Курильское летом растворенное органическое вещество (РОВ) выделяется за счет внеклеточной продукции фитопланктона, а осенью является продуктом разложения отмирающих клеток водорослей и погибшей после нереста рыбы и, независимо от природы, обеспечивает энергетические и пластические потребности бактериопланктона. В 80-е годы и начале 90-х годов прошлого века в оз. Курильское общий запас РОВ был ниже, чем во второй половине 90-х годов и 2000–2002 гг. Органическое вещество (ОВ) в виде взвеси накапливается в придонном слое и верхних слоях донного грунта. Однонаправленность сезонной динамики взвешенного органического вещества (ВОВ) и биомассы бактериопланктона свидетельствует о тесной ассоциированности последнего с частицами детрита. Относительное постоянство концентрации ВОВ в совокупности с высокой прозрачностью воды (7–13 м по диску Секки) может говорить как о стабильном собственном запасе органического вещества в экосистеме озера, так и о постоянном неизменном его притоке из внешних источников. Доля ВОВ в озерном ОВ колеблется от 6 до 27 %. Среднегодовая доля фитопланктона в ОВ составляет 9–22 %, а бактериопланктона – 2–6 %. Согласно генерализованной классификации Секи (1986) эти значения соответствуют уровню мезотрофного водоема.

Источником РОВ в оз. Паланское во второй половине сентября 2004 г. являлось фитопланктонное сообщество. Начиная с глубины 20 м накопление органических форм фосфора ($P_{орг}$) и азота ($N_{орг}$) происходит одновременно с накоплением детритных частиц.

**THE ORGANIC SUBSTANCE
OF THE KURILSKOYE AND PALANSKOYE LAKES (KAMCHATKA),
ITS CONNECTION WITH BIOTA ELEMENTS**

E.V. Lepskaya, T.K. Ukolova, I.B. Kalinina, V.D. Sviridenko

Kamchatka Institute for Fisheries Research and Oceanography, Naberezhnaya str. 18, Petropavlovsk-Kamchatsky 683000 Russia. E-mail: lepskaya@kamniro.ru

The appearance of dissolved organic substance in Kurilskoye Lake has been demonstrated to take place at the expense of the phytoplankton outer-cell production in summer and as a result of decomposition of dead cells of weeds and obviously fish post-spawners in autumn, what, provides energy and plastic requirements of bacterioplankton environment-independently. In 1980th and early 1990th the total stock of dissolved organic substance in Kurilskoye Lake was less, being compared to that in late 1990th and in 2000–2002. The organic substance has been stocked as a suspension near the bottom and in the upper layer of bottom ground. The mono-direction in the bacterioplankton biomass and suspended organic substance seasonal dynamics indicates of a close association between the bacterioplankton and particles of detritus. Relative stability of the suspended organic substance concentration and high transparency of water (7–13 m according to the Seki disk test) can indicate as of a stable resource of organic substance in this lake ecosystem itself, as of a stable sustainable input of the organic substance from the outside sources. The percent of suspended organic substance in the lake organic substance varies from 6 to 27. Average annual contribution of phytoplankton and of bacterioplankton to the organic substance is

9–22 % and 2–6 % respectively. These volumes fit the level of a mesotrophic watershed on the generalized classification by Seki (1986).

The source of dissolved organic substance in Palanskoye Lake in the second half of September 2004 was phytoplankton community. From the depth 20m stocking the organic morphs of phosphorous (P_{org}) and nitrogen (N_{org}) goes simultaneously to stocking the particles of detritus.

Исходя из современных представлений, под органическим веществом в водоемах подразумевается как вещество в составе живых организмов, так и то, которое образуется или в результате прижизненных выделений микроорганизмов, растений и животных, или при их отмирании. Кроме этого, существенным источником ОВ в водных системах является поступление его с водосбора, а в нерестово-нагульных лососевых озерах – с нерестующей рыбой. В природных водах ОВ по степени дисперсности делится на истинно растворенное (размер частиц менее 0,001 мкм); коллоидное (размер частиц 0,001–0,1 мкм) и взвешенное (размер частиц более 0,1 мкм) (Агатова и др., 1991). Однако при исследовании ОВ природных вод, как правило, выделяют две фракции. Это ВОВ – микрофито- и микрозоопланктон, бактериопланктон, органические агрегаты и органические вещества, сорбированные на поверхности частиц неорганической взвеси размером более 0,1 мкм. Их концентрируют на стекловолокнистых фильтрах с диаметром пор 0,5 мкм. И РОВ, остающееся в фильтрате, которое содержит коллоидное и истинно растворенное ОВ.

Общий пул ОВ и его сезонная и межгодовая динамика в каждом конкретном водоеме различны, они зависят от гидрологических условий и биологической продуктивности рассматриваемого водоема и биогеохимических условий его водосбора. Соотношение размерных фракций в ОВ водоемов также различно, оно зависит от тех же факторов.

При проведении мониторинга экосистемы оз. Курильское с 1980 г. по настоящее время был получен массив разнородных данных, для которых настало время систематизации и обобщения. Для оз. Паланское приведены предварительные результаты определения растворенного органического углерода, а также органических форм фосфора (P_{org}) и азота (N_{org}).

Материалы и методы

Материалом для исследования ВОВ, РОВ, N_{org} и P_{org} в озерах Курильское и Паланское послужили как собственные данные (табл. 1), собранные в разные годы, так и данные, полученные сотрудниками ВНИРО в сентябре 2000 г. и августе 2001 г. В работе также использованы данные по биомассе фито- и бактериопланктона в оз. Курильское с 1980 по 2003 гг., результаты по перманганатной окисляемости воды в 1980–1995 гг. и архивные данные по прозрачности воды; данные определения биомасс фито- и бактериопланктона, РОВ, P_{org} и N_{org} и концентрации детритных частиц в оз. Паланское 18–19 сентября 2004 г.

Пробы воды для определения всех вышеперечисленных компонентов отбирали пластиковыми батометрами Молчанова или Рутгнера на стандартной станции «Центр» (Лепская и др., 2004) в центральной глубоководной части оз. Курильское (рис. 1) с горизонтов 0, 2, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 150, 200, 250 м.

Пробы воды из оз. Паланское отбирали 18–19 сентября 2004 г. на станции «Центр» с горизонтов 0, 5, 10, 15, 20 и 22 м. РОВ дополнительно определяли в пробах, отобранных с поверхности озера на станциях 9, 17 и 18 (рис. 2) в это же время.

Содержание ВОВ определяли методом бихроматного сожжения взвеси, осевшей на стекловолокнистые фильтры при фильтрации пробы воды объемом 2–3 л (Остапеня, 1965).

Т а б л и ц а 1

Количество обработанных проб

Водоем	Компонент			
	ВОВ	РОВ	P_{org}	N_{org}
Оз. Курильское	86	60	60	58
Оз. Паланское	0	10	10	10

Концентрацию РОВ оценивали по результатам высокотемпературного каталитического сжигания на ТЭС-500, а также по величине перманганатной окисляемости, которую определяли по О.А. Алекину с соавторами (1973). Концентрацию $P_{орг}$ (сумма растворенных и взвешенных органических соединений фосфора) и $N_{орг}$ (сумма взвешенных и растворенных соединений азота) вычисляли как разницу между их валовым содержанием и фосфатами в случае с фосфором и суммой неорганических форм в случае с азотом. Валовое содержание азота и фосфора определяли минерализацией фосфор- и азотсодержащих органических соединений под воздействием реактива Вальдerraма-Королева при высоких температурах и дальнейшим определением с помощью методов для их неорганических форм (Агатова и др., 1991). Концентрацию РОВ, ВОВ, биомасс фито- и бактериопланктона выражали в количестве углерода на единицу объема.

Биологическое разнообразие оценивали по индексу Шеннона (Одум, 1986).

Характеристику межгодовой динамики РОВ, ВОВ, биомасс фито- и бактериопланктона проводили по средним за вегетационный период (июнь–сентябрь) значениям.

Описание озер Курильское и Паланское даны в статье Е.В. Лепской с соавторами (2003), поэтому нет необходимости останавливаться на этом в настоящей работе. Подчеркнем только, что и оз. Паланское (северо-запад Качатки), и оз. Курильское (юг Камчатки) являются нерестово-нагульными водоемами тихоокеанского лосося нерки.

Для обработки данных использовали корреляционный анализ и метод кусочно-линейной регрессии.

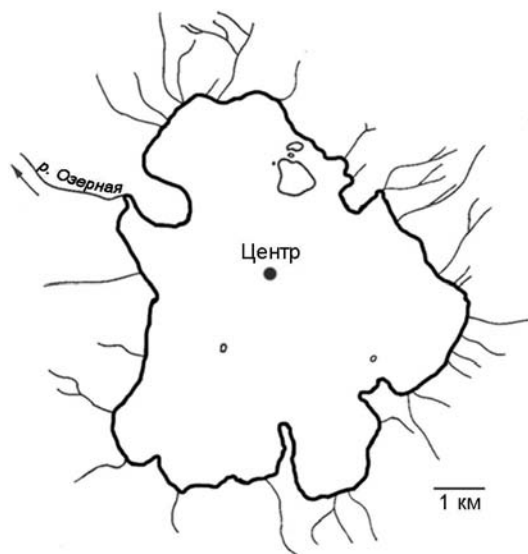


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб на оз. Курильское

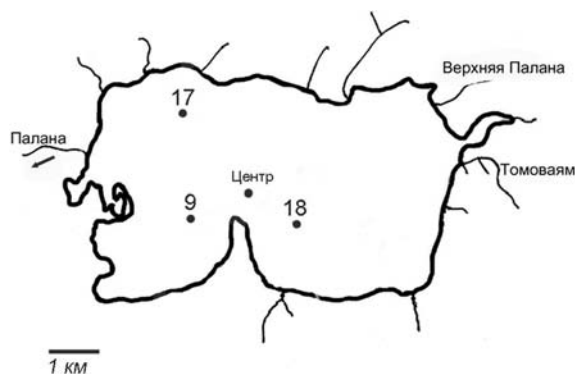


Рис. 2. Карта-схема станций отбора проб на оз. Паланское 18–19 сентября 2004 г.

Результаты и обсуждение

Органическое вещество в оз. Курильское

Растворенное органическое вещество. Экспериментальные исследования с применением радиоуглеродного метода показали, что РОВ продуцируется фитопланктоном в виде так называемой внеклеточной продукции, природа которой не совсем ясна (Бульон, 1983). Помимо прижизненного выделения фитопланктонными клетками РОВ может образовываться и при их отмирании. Предполагается, что по абсолютному запасу полезной для бактериопланктона энергии РОВ из этих источников примерно равнозначно.

Вертикальное распределение РОВ относительно фито- и бактериопланктона. Предварительный анализ вертикального распределения растворенного органического углерода приведен в статье И.Б. Калининой (2004). Она указывает на относительную однородность его концентрации по вертикальному разрезу и сопоставляет его распределение с концентрацией неорганического растворенного углерода.

Сравним вертикальное распределение РОВ, биомасс фито- и бактериопланктона, а также концентраций органического азота ($N_{\text{орг}}$) и органического фосфора ($P_{\text{орг}}$). Данные по РОВ в объеме, достаточном для анализа, собраны в 2003 г. (рис. 3). О равномерном распределении РОВ можно говорить в двух случаях. Во-первых, оно наблюдалось в первой декаде июля и совпадало с максимальным за сезон развитием фитопланктона и в октябре при минимальных значениях фитопланктонной биомассы на всех протестированных глубинах. Примечательно, что ход кривых вертикального распределения биомассы фитопланктона и РОВ, как в первой, так и во второй половине июля в общем совпадает, хотя корреляционный анализ и не выявил достоверной связи этих параметров. Такое совпадение говорит о том, что в июле, когда идет бурное развитие планктонных водорослей, их внеклеточная продукция является основным источником РОВ. В начале «цветения» фитопланктона (конец июня) при его относительно равномерном распределении в слое 0–70 м РОВ концентрируется в поверхностном слое и на глубине 10 м. Скопление РОВ в слое 7–10 м отмечается не только в июне, но и в конце июля, и в августе. Очевидно, что в эвфотическом слое в вегетационный период активизируется прижизненное выделение РОВ клетками планктонных водорослей. Отдельно следует остановиться на значительных концентрациях РОВ на глубине 100–150 м в июне и августе. Если в первом случае можно предположить, что источником РОВ являются разрушающиеся клетки планктонных водорослей, то во втором – источник РОВ – это, вероятно, органическое вещество придонных слоев.

Обратное распределение бактериопланктона, главного потребителя РОВ, относительно последнего можно наблюдать в октябре практически во всей двухсотметровой толще. В начале и конце июля и августе обратный ход кривых вертикального распределения биомассы бактериопланктона относительно РОВ наблюдается в слоях 20–100, 20–200 и 20–150 м соответственно. В верхнем двадцатиметровом слое, где создается внеклеточная продукция фитопланктона, взаимное распределение РОВ и бактерий носит прямой характер. То же наблюдается в первой четверти июля и августе в слое 100–200 м.

Вертикальное распределение РОВ относительно органических форм азота и фосфора. Анализ вертикального распределения $N_{\text{орг}}$ показал, что в июне наблюдается противофазная динамика этого компонента относительно РОВ до глубины 40 м. То же отмечается в первой четверти июля и октябре в слое 0–200 м при относительно равномерном распределении РОВ в столбе воды. Более явно выражено обратное распределение РОВ и $N_{\text{орг}}$ в августе (рис. 3).

О вертикальном распределении $N_{\text{орг}}$ и биомассы фитопланктона ничего определенного сказать нельзя (рис. 3). Что касается биомассы бактериопланктона, то в течение всего периода наблюдений ее распределение по вертикали за редким исключением носило обратный характер относительно распределения $N_{\text{орг}}$ (рис. 3).

В вертикальном распределении $P_{\text{орг}}$ отмечается его повышенная концентрация в слое 0–10 м в июне, июле и октябре, а в августе он распределен довольно равномерно во всем двухсотметровом слое (рис. 3). В каждую дату наблюдений характерно также некоторое повышение его содержания в слое 150–200 м. Ход кривых распределения РОВ, $P_{\text{орг}}$ и фитопланктонной биомассы по большей части не совпадает (рис. 3). Во взаимном распределении $P_{\text{орг}}$ и биомассы бактериопланктона в июне и августе, напротив, наблюдается значительное совпадение. То же характерно и для слоя 0–40 м в октябре (рис. 3). Вероятно, это обусловлено интенсивным микробиологическим рециклингом. В июле в слое 0–200 м и в октябре на глубинах ниже 70 м взаимное распределение $P_{\text{орг}}$ и бактериальной биомассы носит обратный характер.

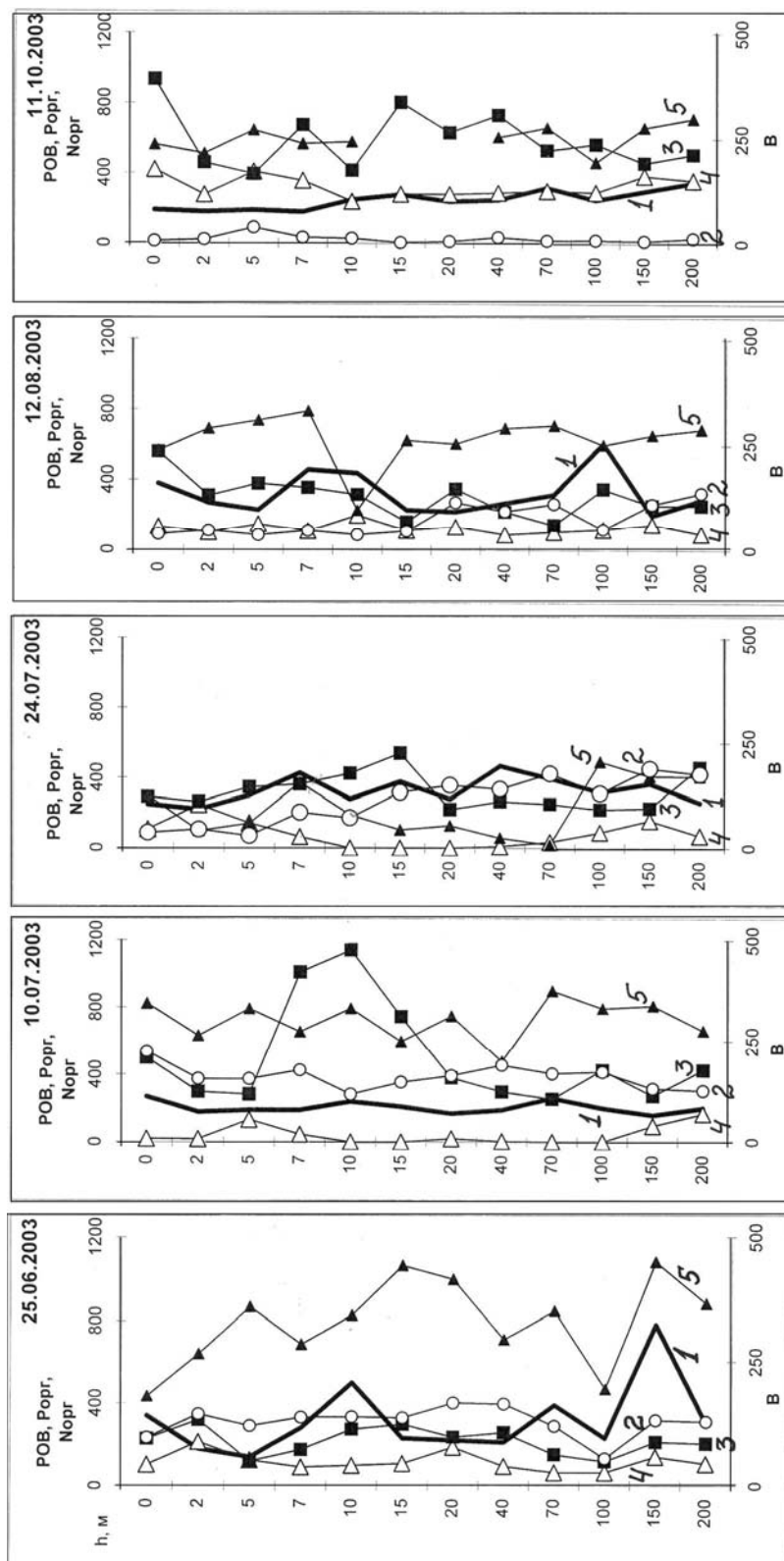


Рис. 3. Вертикальное распределение растворенного органического вещества (POB¹⁰⁰ – 1), биомасс (V) фито- – 2 и бактериопланктона (V¹⁰⁰) – 3, общего органического фосфора (P_{орг}¹⁰ – 4) и общего органического азота (N_{орг} – 5) в слое 0–200 м в оз. Курильское в 2003 г.

В работе сотрудников ВНИРО (Агатова и др., 2004) указано на равномерное распределение РОВ по вертикали. Однако, по нашим данным, такое распределение характерно только для первой половины июля и октября. В период активного развития фитопланктона наблюдали повышенную вдвое концентрацию РОВ в эвфотическом слое. Отмечено также превышение в 3 раза концентрации РОВ на глубине 100–150 м по сравнению с остальными слоями в июне и августе. Таким образом, вывод о равномерном распределении РОВ в слое 0–200 м в оз. Курильское, сделанный на основании тестирования ограниченного количества глубин (0, 15, 40, 160, 290 м) в одну единственную дату, представляется не совсем верным.

Сезонная динамика РОВ, $N_{орг}$ и $P_{орг}$. Для анализа сезонной динамики РОВ, а также $N_{орг}$ и $P_{орг}$ был применен формализованный подход, который позволил совместить немногочисленные данные, полученные в разные годы (табл. 2). Такой способ представления данных был применен также при анализе сезонного распределения ОБ по акватории оз. Курильское исследователями ВНИРО (Агатова и др., 2004).

Т а б л и ц а 2

Средневзвешенные концентрации РОВ, $N_{орг}$ и $P_{орг}$, а также биомассы фито- (V_{ph}) и бактериопланктона (V_b) в оз. Курильское в разные даты наблюдений в 2000, 2001 и 2003 гг.

Дата	Месяц	РОВ, мгС/л	$N_{орг}$, мкг/л	$P_{орг}$, мкг/л	V_{ph} , мгС/м ³	V_b , мгС/м ³
25.06.2003	2-VI	4,0	10,5	825	120,8	0,8
10.07.2003	1-VII	2,0	4,9	748	156,3	1,5
24.07.2003	2-VII	3,5	7,9	287	156,4	1,2
12.08.2003	1-VIII	3,3	11,9	654	93,7	1,1
23.08.2001	2-VIII	1,5	–	–	28,5	1,6
21.09.2000	2-IX	2,3	5,4	252	23,9	3,0
11.10.2003	1-X	2,8	32,7	611	9,1	2,3

П р и м е ч а н и е. В графе «Месяц» первая цифра означает первую (1) или вторую (2) половину месяца, вторая цифра – номер месяца.

По нашим данным, максимальная концентрация РОВ отмечена в июне. В первой половине июля его содержание уменьшается вдвое, к концу месяца увеличивается и сохраняется на том же уровне в первой половине августа. Во второй половине августа концентрация РОВ снова уменьшается почти в 2 раза, а осенью наблюдается постепенное увеличение его содержания от сентября к октябрю (табл. 2).

Высокое содержание РОВ в первой половине лета сопровождается мощным развитием фитопланктонной биомассы (табл. 2), которое, очевидно, сопровождается интенсивной внеклеточной продукцией, что выражается в накоплении РОВ в этот период. Резкое уменьшение РОВ в первой половине июля может быть следствием активизации бактериопланктона, главного потребителя лабильного РОВ, о чем косвенно свидетельствует увеличение его биомассы в этот момент (табл. 2). Во второй половине августа процесс продуцирования фитопланктонной биомассы затухает и одновременно с этим падает концентрация РОВ. Осенью природа РОВ должна быть иной, так как главным его источником становится не внеклеточная продукция живого фитопланктона, а продукты разложения клеток водорослей и тел погибшей после нереста нерки. Это подтверждается увеличением $P_{орг}$ и $N_{орг}$ в осенний период (табл. 2). Провал в содержании $N_{орг}$ во второй половине июля является, на наш взгляд, следствием того, что к этому моменту покатная молодь нерки уходит из озера, а сеголетки только начинают откочевку в пелагиаль из литорали и притоков. Следовательно, в это время доля прижизненных азотсодержащих выделений мальков, основу которых составляет мочевины, минимальна, что отражается и на общем содержании $N_{орг}$. Наши представления о сезонной динамике РОВ во второй половине лета и начале осени совпадают с полученными ранее сотрудниками ВНИРО (Агатова и др., 2004).

Межгодовая динамика РОВ. Для характеристики межгодовой динамики РОВ наряду с данными определения растворенного органического углерода, которые получены в 2000–2003 гг., мы также посчитали возможным использовать имеющийся репрезентативный ряд данных по перманганатной окисляемости. О недостатках этого метода можно спорить, однако его применение в мониторинге водных объектов, не подверженных непосредственному антропогенному влиянию, вполне оправданно из-за его простоты и хорошей воспроизводимости результатов. Сравнение данных по содержанию РОВ, полученных разными методами, для оз. Курильское показало хорошую их сопоставимость (рис. 4).

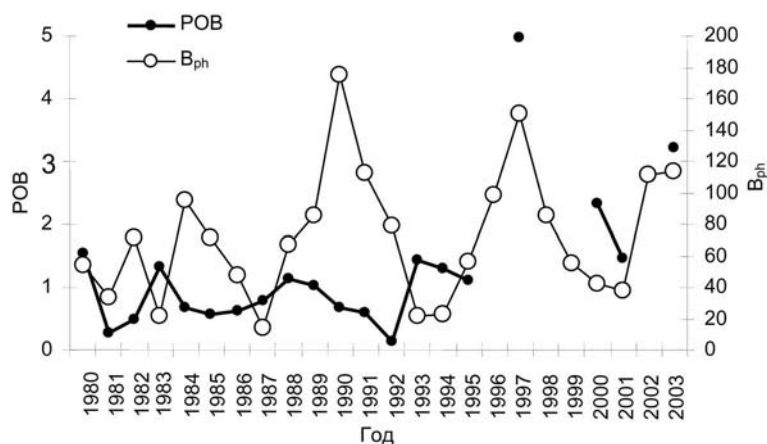


Рис. 4. Межгодовая динамика РОВ и биомассы фитопланктона (B_{ph}) в оз. Курильское в 1980–2003 гг.

В 80-е годы прошлого века колебания РОВ незначительны. Минимальная его концентрация (0,28 мгС/л) отмечена в 1981 г., когда планктонное сообщество испытывало угнетающее действие вулканического пепла, извергнутого вулканом Алаид. В 90-е годы того же века размах колебаний концентрации РОВ почти вдвое превосходил крайние значения предыдущего десятилетия. Наименьшая концентрация РОВ (0,13 мгС/л) за все годы наблюдений отмечена в 1992 г., а максимальная (4,97 мгС/л) – в 1997 г. С 2000 по 2002 г. наблюдается снижение концентрации РОВ вдвое, а в 2003 г. последующее увеличение (рис. 4). В 80-е годы и в первой половине 90-х годов XX в. РОВ в озерной экосистеме содержалось относительно немного (среднее за 1980–1995 гг. – 2,09 мгС/л). В последующие годы его среднееголетняя концентрация увеличилась на единицу (3,0 мгС/л).

В многолетней динамике РОВ прослеживается определенная цикличность (рис. 4). Однако эти «циклы» не совпадают с динамикой биомассы фитопланктона, для которой цикличность достоверно установлена (Лепская, 2004 а, б). Можно предположить, что главная причина этого несовпадения заключается в соотношении лабильной фракции РОВ, продуцируемой фитопланктоном, и консервативной его части, источниками которой является как биотический комплекс озерной экосистемы в целом, так и приток аллохтонного органического вещества.

В то же время, анализ совместного влияния температуры воды и биомассы фитопланктона в слое 0–200 м на концентрацию РОВ показал, что максимальные значения последнего приурочены к области «холодных» (Лепская, 2004 а, б) температур менее 3,4 °С и биомассе фитопланктона более 80 мгС/м³, формируемой *Aulacoseira subarctica* (рис. 5). Средние и минимальные значения РОВ характерны как для «холодных» – низкая биомасса фитопланктона, созданная *A. subarctica*, так и для «теплых» лет – средняя биомасса фитопланктона, сформированная помимо *A. subarctica* группой субдоминантных видов (*Stephanodiscus alpinus*, *Cyclotella tripartita*). Таким образом, максимум РОВ продуцирует фитопланктонное сообщество с невысоким разнообразием, что подтвер-

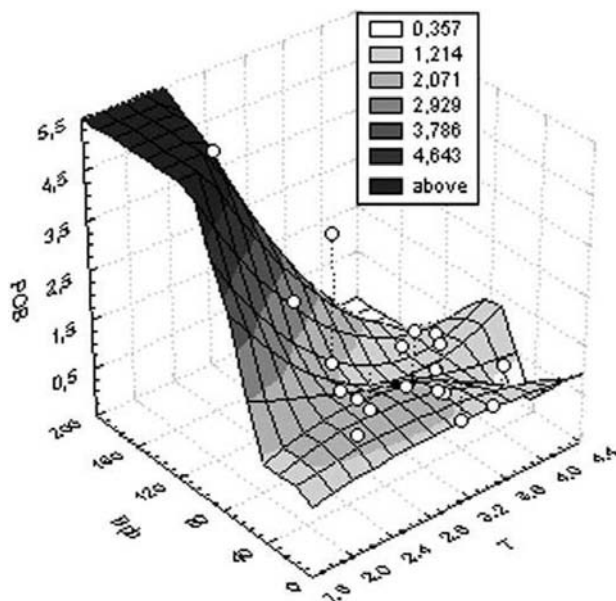


Рис. 5. Связь POV с температурой воды (Т) и биомассой фитопланктона (V_{ph}) в слое 0–200 м оз. Курильское

носится ему в озеро, в общем невелико ($r = -0,5$ при $P < 0,05$ для $n = 20$). Оно проявляется в год его поступления и сохраняется также для суммы поступлений фосфора за 2 и 3 предыдущих года.

Взвешенное органическое вещество. Взвешенное органическое вещество – это важный компонент экосистемы любого водоема. Его состав сложен и динамичен, он зависит от комплекса абиотических и биотических факторов. В оз. Курильское в состав ВОВ входят фито- и бактериопланктон, сообщество планктонных простейших, зоопланктон, органические частицы различной природы, вносимые озерными притоками, и конгломераты «мертвого» органического вещества, называемого детритом. Наибольший вклад в формирование ВОВ принадлежит автохтонному планктону и, вероятно, аллох-

ждает достоверная отрицательная связь концентрации POV и индекса Шеннона ($r = -0,5$ при $P < 0,05$ для $n = 20$).

Сравнение трендов многолетней динамики POV и биомассы бактериопланктона выявило существование обратной зависимости между этими параметрами (рис. 6). Вероятно, бактериопланктон является активным потребителем POV независимо от природы последнего. Скорее всего, пелагическое бактериальное сообщество многообразно и физиологически отлично приспособлено к утилизации как внеклеточной продукции фитопланктона, так и элементов водного гумуса.

Влияние погибающей после нереста рыбы, а точнее фосфора, который ежегодно привносится

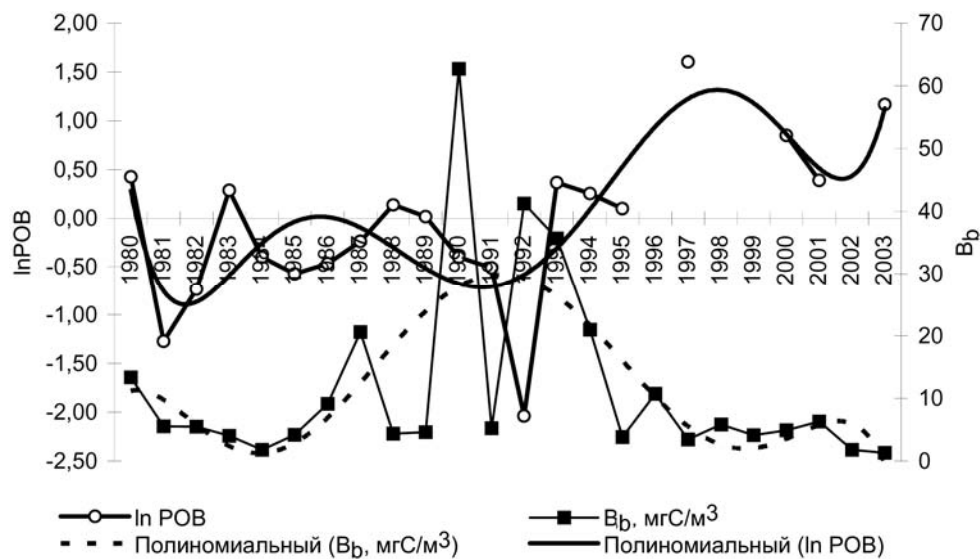


Рис. 6. Межгодовая динамика POV и биомассы бактериопланктона (V_b) в оз. Курильское в 1980–2003 гг.

тонному органическому веществу. Второе следует из результатов определения бактериальной деструкции, которая на порядок превышает первичную продукцию в оз. Курильское (Павельева, Ларионов, 1979; Лепская, 1983, 1986). Таким образом, «живая» часть ВОВ – это в большей степени фитопланктон, а другой важный компонент – это детрит. Как правило, под детритом подразумевают взвешенные частицы мертвого органического вещества совместно с обитающими на них микроорганизмами (грибами, бактериями, простейшими) (Общие основы изучения водных экосистем, 1979). Частицы детрита образуют самостоятельные микроэкосистемы, которые состоят из живых и неживых компонентов. Такие системы функционируют на границе раздела фаз при разной степени трансформации входящих в нее органических веществ. Пищевая ценность детрита зависит от его происхождения и в значительной степени определяется его возрастом, т. е. степенью трансформированности ОВ. В планктоне озер Курильское и Паланское детрит можно наблюдать в виде детритных хлопьев или комплексов, осевших на мембранные фильтры при фильтрации проб воды для подсчета фито- или бактериопланктона. Вероятно, в зависимости от состава и, следовательно, от степени трансформированности ОВ детритные частицы окрашиваются карболовым раствором эритрозина в различный цвет, от ярко-розового до темно-бурого с соответствующими переходными оттенками желтого и коричневого цветов. Как правило, ярко-розовую окраску имеют частицы ВОВ из эвфотического горизонта, с глубины 150 м их окраска приобретает бурый оттенок, усиливающийся в придонных слоях.

Вертикальное распределение ВОВ. Если оперировать понятием «величины одного порядка», тогда, несомненно, следует признать, что ВОВ в столбе воды от 0 м до 250 м распределено равномерно (табл. 3). Такой вывод сделан в работе А.И. Агатовой с соавторами (2004) по результатам однократной съемки четырех разноглубинных слоев, включавших 0 и 290 м. Мы не можем согласиться с таким подходом. По нашим данным, концентрация ВОВ в поверхностном слое в 2–4 раза ниже, чем в придонном на глубине 250 м (табл. 3).

Таблица 3

Содержание ВОВ (мгС/м³) в оз. Курильское в 1980 и 1981 гг.

Глубина, м	1980 г.				1981 г.			
	03.06	17.06	04.07	18.09	24.04	19.06	06.07	03.09
0	176	225	143	197	336	177	187	299
2	–	–	–	–	244	175	184	–
5	–	–	–	–	218	118	198	324
7	–	–	–	–	230	115	228	–
10	130	350	333	287	280	263	204	271
15	–	–	–	–	315	505	183	275
20	223	310	592	445	242	298	249	277
30	174	160	513	460	298	283	217	300
40	265	118	375	310	292	255	200	–
50	152	137	337	382	500	228	180	271
100	200	368	60	302	308	188	212	330
150	–	–	–	–	199	185	327	–
200	113	275	314	268	227	190	238	182
250	310	527	600	321	–	–	–	–

О накоплении ОВ в придонном слое говорит сильный запах сероводорода, исходящий от донного ила, взятого с глубины 290 м. При прокаливании образцов ила из верхнего (5 см) слоя керна, высушенных до постоянного веса, сгорает до 50 % вещества. Таким образом, ОВ консервируется в донных илах и может пребывать в них длительное время. Об этом же говорят найденные в верхних слоях керна кусочки древесины.

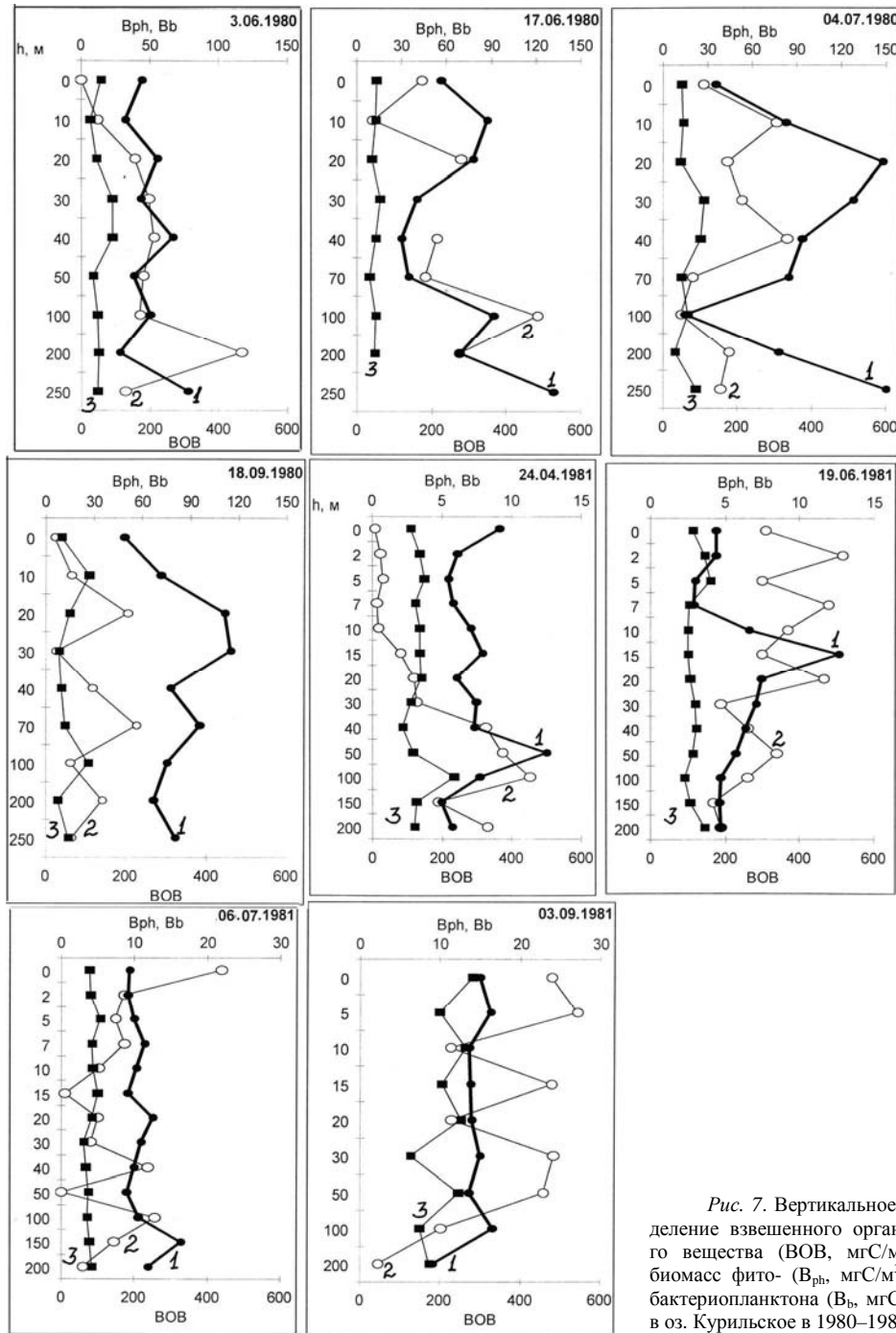


Рис. 7. Вертикальное распределение взвешенного органического вещества (BOB, мгС/м^3 – 1), биомассы фито- (B_{ph} , мгС/м^3 – 2) и бактериопланктона (B_{b} , мгС/м^3 – 3) в оз. Курильское в 1980–1981 гг.

Подо льдом распределение BOB по вертикали в основном совпадает с таковым фитопланктона (рис. 7). Скопления BOB наблюдаются в поверхностном слое воды и на глубине 100 м. Такое же совпадение прослеживается в начале «цветения» фитопланктона (03.06.1980 г.) до глубины 100 м, в середине июня–начале июля – в слое 40–200 м и во второй половине сентября – от поверхности до глубины 100 м. В эвфотическом слое в период активной вегетации фитопланктона (середина июня–начало июля) распределение биомассы фитопланктона и BOB носит обратный характер, при этом наблюдается уве-

личение концентрации ВОВ в 2–3 раза по сравнению с остальными глубинами, не считая придонного слоя. Накопление ВОВ в придонном слое не сопровождается увеличением фитопланктонной биомассы. О вертикальном распределении ВОВ относительно фитопланктона летом 1981 г. после выпадения на его акваторию и водосбор вулканического пепла ничего определенного сказать нельзя. Однако следует отметить, что в начале июля и начале сентября распределение ВОВ по вертикали было в большой степени равномерным (табл. 3).

Распределение бактериопланктона, как правило, хорошо совпадает с вертикальным распределением ВОВ. Исключение составляют слой 0–30 м в середине июня 1980 г. и в апреле 1981 г., а также слой 0–200 м в сентябре того же года (рис. 7)

Сезонная динамика ВОВ. Максимальная концентрация ВОВ отмечена подо льдом в апреле 1981 г. (табл. 4). Низкое содержание ВОВ характерно для первых чисел июня (170 мгС/м³), начала развития фитопланктона. В 1980 и 1981 гг. наблюдается накопление ВОВ, что вполне объяснимо притоком его из рек, впадающих в озеро, где в это время происходит интенсивный нерест нерки. Содержание ВОВ в летние месяцы колеблется незначительно (табл. 4). О причинах минимума ВОВ в конце сентября 2000 г. (137 мгС/м³) сказать что-либо трудно.

Таблица 4

Сезонная динамика ВОВ (мгС/м³) в слое 0–200 м в оз. Курильское

ВОВ	1980 г.				1981 г.				2000 г.	2001 г.
	3.06	17.06	4.07	18.09	24.04	19.06	6.07	3.09	21.09	23.08
	170	280	246	318	315	213	239	275	137*	230*

* Данные ВНИРО.

Сезонная динамика ВОВ и биомассы фитопланктона в слое 0–200 м (рис. 8, А) в основном однонаправленна. Некоторое расхождение в направленности кривых в конце вегетационного периода 1980 г. может происходить из-за влияния ВОВ глубинных слоев, не фитопланктонной природы (табл. 3).

Развитие бактериального планктона в начале лета 1980 г. идет в противофазе с динамикой ВОВ, в дальнейшем эти процессы становятся однонаправленными (рис. 8, Б).

Значительно лучше синхронизированы сезонная динамика ВОВ и биомассы фитопланктона в эвфотическом слое (0–40 м) (рис. 9, А).

То же справедливо и для сезонной динамики ВОВ относительно биомассы бактериопланктона (рис. 9, Б). Тем не менее полного совпадения процессов продуцирования фитопланктонной биомассы и накопления ВОВ не происходит. Коэффициенты линейной корреляции положительные, но недостоверные ($r = 0,4$).

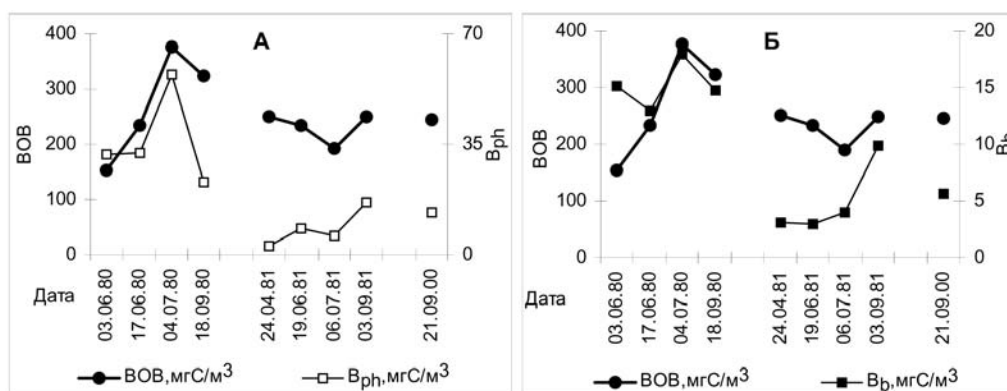


Рис. 8. Сезонная динамика ВОВ и биомассы фитопланктона (B_{ph}) (А), а также ВОВ и B_b (Б) в слое 0–200 м в оз. Курильское

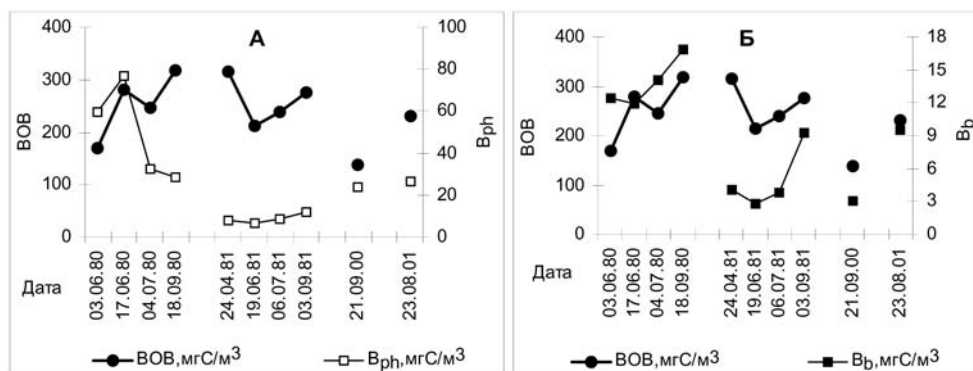


Рис. 9. Сезонная динамика BOB и биомассы фитопланктона (V_{ph}) (А), а также BOB и V_b (Б) в слое 0–40 м в оз. Курильское

Доля планктонных водорослей в BOB в среднем за сезон незначительна. Она колеблется от 1 до 20 %, составляя в среднем 8 %. Таким образом, фитопланктон хоть и значительный, но не основной источник BOB как в трофогенном слое, так и в слое 0–200 м. Поскольку BOB исследовали только в годы с низкой биомассой фитопланктона, вопрос о роли последнего в формировании BOB остается открытым. Нельзя также не учитывать накопление BOB из других источников (поступление с нерестовой рыбой, приток из рек, смыв с литорали, а также с окружающих берегов).

Таблица 5

Средние за летний период концентрации BOB (mgC/m^3) и отношение POB к BOB в оз. Курильское

Компонент	1980 г.	1981 г.	2000 г.	2001 г.
BOB	266	261	137	230
POB : BOB	6 : 1	1 : 1	17 : 1	6 : 1

ностью воды (7–13 м по диску Секки) может говорить как о стабильном собственном запасе органического вещества в экосистеме озера, так и постоянном неизменном его притоке из внешних источников.

Соотношение компонентов OB. Известно, что среднее отношение растворенного углерода к взвешенному как в океанах, так и в озерах обычно составляет 10:1 (Wetzel, 1984). В оз. Курильское отношение POB к BOB изменяется в общем незначительно (табл. 5), но в среднем является меньше общепринятой – 7,5 : 1.

Доля BOB в озерном OB колеблется от 6 до 27 %, причем максимум отмечен в экстремальной для озерной экосистемы ситуации, вызванной действием вулканического пепла. Среднегодовая доля фитопланктона в OB составляет 9–22 %, а бактериопланктона – 2–6 %. Согласно генерализованной классификации Секи (Секи, 1986) эти значения соответствуют уровню мезотрофного водоема. Отметим, что минимальные доли как фито-, так и бактериопланктона соответствуют также времени воздействия вулканического пепла.

Озеро Паланское

Первые данные о содержании растворенного органического углерода (POB) общего органического азота (N_{org}) и фосфора (P_{org}) приведены в табл. 6, а их связи с фитопланктонной биомассой и количеством детрита – на рис. 10.

Межгодовые колебания BOB. Исследования BOB в оз. Курильское проводили в течение 4 лет (табл. 5), поэтому о его межгодовой динамике можно говорить с известной долей условности. Примечательно, что содержание BOB в начале 80-х годов прошлого века и через 20 лет практически не изменилось. Относительное постоянство концентрации BOB в совокупности с высокой прозрачностью

Вертикальное распределение РОВ и биомассы фитопланктона однонаправлено, из чего следует, что источником РОВ в оз. Паланское во второй половине сентября 2004 г. являлось фитопланктонное сообщество. При этом в толще воды от поверхности до дна это, скорее всего, внеклеточная продукция фитопланктона, так как живые, хорошо наполненные клетки диатомовых в массе встречались и у дна. Максимум РОВ, сопровождаемый наибольшим развитием фитопланктонной биомассы, отмечен в трофогенном слое на глубине 5 м (рис. 10, А).

По мере заглубления планктонных водорослей в придонных слоях появляются скопления детрита. Его распределение в столбе воды носит обратный характер относительно РОВ и фитопланктона (рис. 10, А).

Вертикальное распределение $N_{орг}$ и $P_{орг}$ четко синхронизировано за исключением поверхностного слоя (рис. 10, Б). На поверхности максимуму $P_{орг}$ соответствует минимум $N_{орг}$. На глубине 5 м содержание $P_{орг}$ резко снижается, а $N_{орг}$ увеличивается, и далее их накопление в протестированных слоях происходит параллельно, приближаясь к максимальным значениям, начиная с 20-метровой глубины (рис. 10, Б).

В столбе воды распределение РОВ в общем обратно распределению $N_{орг}$ и $P_{орг}$. Начиная с глубины 20 м накопление $P_{орг}$ и $N_{орг}$ происходит одновременно с накоплением детритных частиц (рис. 10).

Исследования РОВ в поверхностном слое воды в северо-западной части озера показали, что его распределение в этой части озерной акватории неравномерно. Мини-

Таблица 6

Содержание РОВ (мгС/л), $N_{орг}$ и $P_{орг}$ (мкг/л) в оз. Паланское 18 и 19 сентября 2004 г.

Станция	Глубина, м	РОВ	$N_{орг}$	$P_{орг}$
Центр	0	6,3	883,5	30,5
	5	7,5	995,4	17,7
	10	4,6	988,9	17,7
	15	5,0	993,5	18,1
	20	2,8	1198,1	25,7
	22	3,4	1225,2	24,3
9	0	5,0	–	–
17	0	6,4	–	–
18	0	2,8	–	–

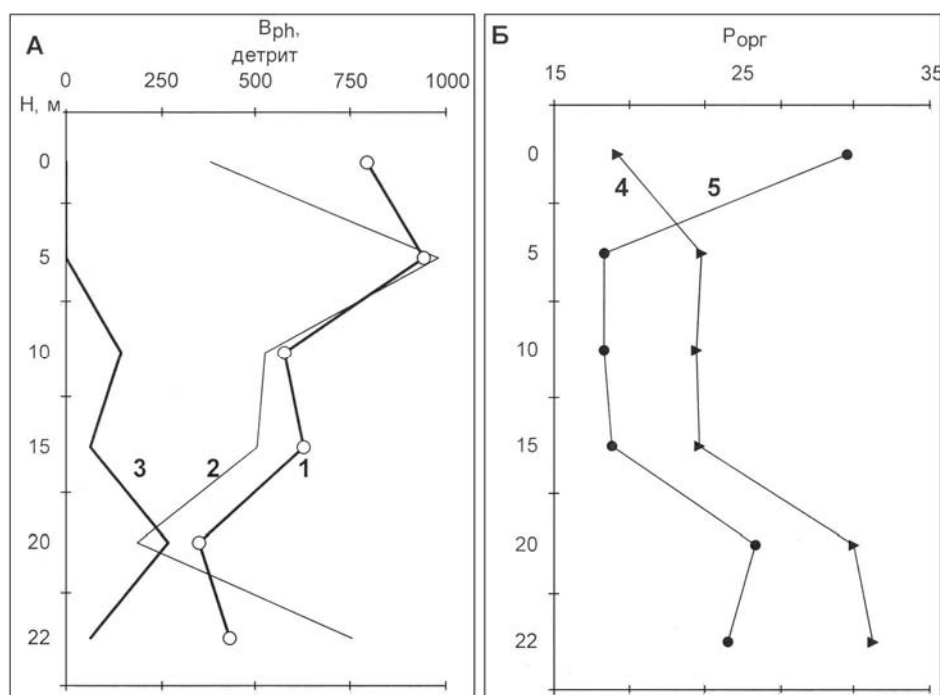


Рис. 10. А – вертикальное распределение РОВ, мгС/л (1); биомассы фитопланктона – V_{ph} , мгС/м³ (2); детрита, частиц/м³ (3); Б – $N_{орг}$, мкг/л (4) и $P_{орг}$, мкг/л (5) в оз. Паланское

мальное содержание РОВ отмечено на крайней восточной ст. 18 в глубоководной части озера (рис. 1, табл. 7), на глубоководной станции «Центр» и станциях с меньшими глубинами концентрация РОВ в поверхностном слое в 2–2,5 раза выше.

Таким образом, источником РОВ в сентябре 2004 г. в оз. Паланское являлась внеклеточная продукция фитопланктона. Распределение по вертикали РОВ не совпадало с распределением $P_{орг}$ и $N_{орг}$. Накопление последних на глубинах ниже 20 м происходило синхронно с накоплением детритных частиц.

Заключение

РОВ в оз. Курильское равномерно распределяется в слое 0–200 м только при крайних (максимальных и минимальных) значениях биомассы фитопланктона. Скопление РОВ в трофогенном слое связано с внеклеточной продукцией фитопланктона, которая, в свою очередь, потребляется бактериопланктоном.

О характере зависимостей в вертикальном распределении РОВ, $N_{орг}$ и $P_{орг}$ в настоящий момент ничего определенного сказать нельзя. Это тем более непросто будет сделать и в дальнейшем, если не вычленишь из $N_{орг}$ и $P_{орг}$ их растворенную и взвешенную составляющие.

Обратный характер распределения $N_{орг}$ относительно бактериопланктонной биомассы может свидетельствовать о потреблении белковой составляющей ОВ бактериями для обеспечения энергией процессов фосфорного рециклинга, что подтверждается прямым характером вертикального распределения бактерий относительно $P_{орг}$.

Летом РОВ выделяется за счет внеклеточной продукции фитопланктона, а осенью является продуктом разложения отмирающих клеток водорослей и, очевидно, погибшей после нереста рыбы, что подтверждается увеличением в сентябре–октябре содержания $N_{орг}$ и $P_{орг}$.

В 80-е годы и начале 90-х годов прошлого века в оз. Курильское общий запас РОВ был ниже, чем во второй половине 90-х годов и 2000–2002 гг. РОВ в озере независимо от природы обеспечивало энергетические и пластические потребности бактериопланктона.

Органическое вещество в виде взвеси накапливается в придонном слое и верхних слоях донного грунта. Вопрос о вкладе фитопланктона в формирование ВОВ остается открытым, так как исследования проводили в годы с низкой биомассой водорослей.

Однонаправленность сезонной динамики ВОВ и биомассы бактериопланктона свидетельствует о тесной ассоциированности последнего с частицами детрита. Относительное постоянство концентрации ВОВ в совокупности с высокой прозрачностью воды (7–13 м по диску Секки) может говорить как о стабильном собственном запасе органического вещества в экосистеме озера, так и о постоянном неизменном его притоке из внешних источников.

Доля ВОВ в озерном ОВ колеблется от 6 до 27 %. Среднегодовая доля фитопланктона в ОВ составляет 9–22 %, а бактериопланктона – 2–6 %. Согласно генерализованной классификации Секи (1986) эти значения соответствуют уровню мезотрофного водоема.

Источником РОВ в оз. Паланское во второй половине сентября 2004 г. являлось фитопланктонное сообщество. Максимум РОВ, сопровождаемый наибольшим развитием фитопланктонной биомассы, отмечен в трофогенном слое на глубине 5 м. Распределение детритных частиц в столбе воды носит обратный характер относительно РОВ и фитопланктона. Распределение РОВ в общем обратно распределению $N_{орг}$ и $P_{орг}$. Начиная с глубины 20 м накопление $P_{орг}$ и $N_{орг}$ происходит одновременно с накоплением детритных частиц.

Распределение РОВ в поверхностном слое в западной части акватории оз. Паланское неравномерное. Минимальное содержание РОВ отмечено на крайней восточной ст. 18, а на станциях, расположенных западнее, концентрация РОВ в поверхностном слое в 2–2,5 раза выше.

Литература

- Агатова А.И., Аржанова Н.В., Владимирский С.С., Зубаревич В.Л., Мордасова Н.В., Налетова И.А., Сапожников В.В., Торгунова Н.И. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. М.: Агропромиздат, 1991. 224 с.
- Агатова А.И., Лапина Н.М., Торгунова Н.И., Сапожников В.В., Миловская Л.В. Органическое вещество и скорости его трансформации в нерестово-нагульных озерах Камчатки // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 6. С. 691–701.
- Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 269 с.
- Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.
- Калинина И.Б. Материалы по содержанию растворенного углерода и его форм в нерковых водоемах Камчатки и Корякского нагорья // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский, 2004. Вып. 7. С. 51–58.
- Лепская Е.В. Соотношение продукционно-деструкционных процессов в пелагиали озера Курильского // Биол. ресурсы шельфа, их рациональное использование и охрана: тез. докл. 2-й регион. конф. молодых ученых и специалистов Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский, 1983. С. 43–44.
- Лепская Е.В. Фитопланктон оз. Курильского в связи с проблемой фертилизации // Комплексные исследования озера Курильского. Владивосток: Изд-во ДВГУ, 1986. С. 67–71.
- Лепская Е.В., Лутикина Е.Г., Маслов А.В., Уколова Т.К., Свириденко В.Д. К характеристике альгофлоры пелагиали некоторых озер Камчатки // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Владивосток: Дальнаука, 2003. Вып. 2. С. 272–286.
- Лепская Е.В., Миловская Л.В., Шапоров Р.А. Методические аспекты мониторинга фитопланктонного сообщества оз. Курильское (Южная Камчатка) // Ботанические исследования на Камчатке: материалы I и II сессий Камчатского отд-ния Рус. ботан. об-ва. 2004. С. 115–121.
- Лепская Е.В. Многолетняя динамика численности и биомассы фитопланктона озера Курильского и определяющие ее факторы // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Петропавловск-Камчатский, 2004а. Вып. 7. С. 79–87.
- Лепская Е.В. Фитопланктон в экосистеме озера Курильское: автореф. дис. канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2004б. 24 с.
- Общие основы изучения водных экосистем. Л.: Наука, 1979. 273 с.
- Одум Ю. Экология. М.: Мир, 1986. Т. 2. 376 с.
- Остапеня А.П. Полнота окисления органического вещества водных беспозвоночных методом бихроматного окисления // ДАН БССР. 1965. Т. 9, № 4. С. 273–276.
- Павельева Е.Б., Ларионов Ю.В. Продукция органического вещества в оз. Курильском // Журн. общ. биол. 1979. Т. 40, № 5. С. 689–697.
- Секи Х. Органические вещества в водных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 199 с.
- Wetzel R.G. Detrital dissolved and particulate organic carbon functions in aquatic ecosystem // Bull. Mar. Sci. 1984. V. 35. P. 503–509.