

ПРОДУКЦИОННО-ДЕСТРУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ПЛАНКТОННОМ СООБЩЕСТВЕ ОЗ. МАНЫЧ-ГУДИЛО

**В.В. Саяпин, В.Г. Сойер,
М.С. Милутка, А.В. Клещенко**

Аннотация. Приводятся результаты исследования продукционных и деструкционных процессов в планктонном сообществе озера Маныч-Гудило, в 2014–2018 гг. Представлены количественные показатели первичной продукции и деструкции. Проведено сравнение с аналогичными характеристиками водоемов в сходных климатических условиях. Выполнено сопоставление продукционно-деструкционных процессов с накоплением органических веществ, регистрируемых по углероду. Установлено, что повышенная минерализация исследуемых водоемов обуславливает существенно пониженную активность бактериальной деструкции генерируемого в водной толще органического вещества, что приводит к его накоплению.

Ключевые слова: озеро Маныч-Гудило, планктонное сообщество, валовая первичная продукция, чистая первичная продукция, деструкция, органический углерод.

Изучение первичной продукции является важной составляющей комплексных исследований водоемов. Ни численность (плотность) организмов, ни их биомасса не дают полного представления о скорости оборота органического вещества и потока энергии через сообщества гидробионтов. К настоящему времени накоплен значительный объем данных по первичной продукции пресных водоемов, в первую очередь озер и водохранилищ; немногим менее подробно изучены продукционные процессы в морских водоемах [Биологическая продуктивность ... 1975; Бульон, 1983; Алимов, 1989; Макаревич, 2012; Суханова и др., 2010]. В то же время продукция фитопланктона гипергалинных континентальных водоемов практически не изучена, при том что продукционный процесс имеет здесь ряд особенностей, обусловленных как гидрологическими и гидрохимическими особенностями таких водоемов, так и биотическими факторами.

Озеро Маныч-Гудило является крупным гипергалинным водоемом, для которого характерна высокая вариабельность гидрологических и гидрохимических характеристик: сезонные флуктуации солености достигают в настоящее время 15 ‰, уровня – до 1,5–2 м; сильны и пространственные градиенты солености. Мелководность озера при большой площади водяного зеркала

определяет преобладание испарения над поступлением воды, хорошую прогреваемость водной толщи в летние месяцы, практическое отсутствие стратификации и низкой прозрачности (благодаря ветровому перемешиванию). Благодаря большому количеству аллохтонного вещества и взмучиванию донных осадков вода насыщена взвешенной и растворенной органикой. В фитопланктоне преобладает небольшое число эвригалинных видов пресноводного происхождения. Все это создает специфические условия для первичного продуцирования органики.

Исследование продукционно-деструкционных процессов, происходящих в планктонном сообществе оз. Маныч-Гудило, проводилось в зимний, весенний и летний сезоны 2014 и 2016 гг., а также в апреле 2015 и 2018 гг. и в сентябре 2017 г.

Места постановки экспериментов показаны на рисунке 1.



Рис. 1. Район работ и места постановки экспериментов

Определение первичной продукции проводилось кислородной модификацией скляночного метода [Абакумов, 1983; Алимов, 1989]. Фиксировалось начальное содержание кислорода на каждой станции. Определение кислорода в воде проводилось по стандартной методике [Абакумов, 1983]. На каждой станции непосредственно в водоеме экспонировались 4 склянки (2 темные и 2 светлые). Экспонирование проводилось в разные периоды исследований от 4 до

10 часов. Опыт начинался не ранее чем через час после восхода солнца и заканчивался не позднее, чем за час до его захода. По завершении опыта проводилась фиксация содержания кислорода и его определение по стандартной методике.

Расчет проводился по следующим формулам:

$$P_{\text{вал}} = C_{\text{с}} - C_{\text{т}} / t \quad (1)$$

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{вал}} - D \quad (2)$$

$$D = C_{\text{с}}^{\text{н}} - C_{\text{т}} / t; \quad (3)$$

где $P_{\text{вал}}$ – валовая продукция фитопланктона ($\text{мг O}_2 / \text{л} \cdot \text{ч}$), $P_{\text{чист}}$ – чистая продукция ($\text{мг O}_2 / \text{л} \cdot \text{ч}$), D – деструкция ($\text{мг O}_2 / \text{л} \cdot \text{ч}$), $C_{\text{с}}^{\text{н}}$ – концентрация O_2 в начальной склянке ($\text{мг O}_2 / \text{л}$), $C_{\text{с}}$ – концентрация O_2 в светлой склянке после конца экспозиции ($\text{мг O}_2 / \text{л}$), $C_{\text{т}}$ – концентрация O_2 в темной склянке после конца экспозиции ($\text{мг O}_2 / \text{л}$), t – время экспозиции в часах.

Наиболее показательными оказались эксперименты, проводившиеся в районе бывшего пионерлагеря, в проливе между островом Водный и коренным берегом. На этом участке склянки экспонировались на глубине 0,4–1 м в условиях относительно слабого волнения. В других точках имели место такие искажающие картину факторы, как сильные волны при относительно небольшой глубине, что приводило к постоянным вертикальным перемещениям гирлянды склянок. Также в некоторых точках во взвеси присутствовали вещества (предположительно частички гипса), интенсивно реагирующие с химикатами, используемыми в эксперименте.

Величины продукции для суточного цикла рассчитывались путем экстраполяции величины, полученной для одного часа экспозиции, на продолжительность светового дня для данной широты в данное время года за вычетом двух часов (1 час после восхода и 1 час до захода, исходя из положения, что в течение часа после восхода солнца и за 1 час до захода угол падения солнечных лучей на водную поверхность очень мал и количество проникающей в водную толщу солнечной радиации практически равно нулю, и фотосинтез не происходит [Абакумов, 1983]. Величины деструкции для суточного цикла рассчитывались путем умножения величин, полученных для одного часа эксперимента, на 24 часа. При пересчете в мг C использовался коэффициент 0,36 [Абакумов, 1983]. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Во время большинства экспериментов в реперной точке (р-н пионерлагеря) в планктонном сообществе озера продукционные процессы преобладали над деструкционными, это касается светлого времени суток. Исключением являлись февраль 2014 и апрель 2015 гг., когда чистая продукция была отрицательной. В суточном цикле доминирование деструкционных процессов над продукционными наблюдалось, помимо вышеназванных периодов, также и в июле 2016 г. (табл. 1, рис. 2–5).

Таблица 1

Продукционно-деструкционные процессы в планктонном сообществе
оз. Маныч-Гудило в 2014–2018 гг.

Время про- ведения эксперимента	Параметры продукционно-деструкционного цикла		
2014 г.			
24–26.02.2014	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С /л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	0,189	–0,086	0,275
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/ м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$
	1,607	–4,993	6,6
19–24.05.2014	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С/л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	0,063	0,036	0,027
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$
	0,835	0,187	0,648
03–08.07.14	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С/л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	0,216	0,176	0,04
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/ м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/ м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/ м}^3\text{*сут}$
	2,951	1,991	0,96
2015			
20–24.04.15	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С/л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	–0,004	–0,029	0,025
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$
	–0,048	–0,648	0,6
2016			
16–20.02.16	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С /л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	0,009	0,001	0,008
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$
	0,077	–0,115	0,192
16–21.05.2016	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С/л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	0,335	0,177	0,158
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/ м}^3\text{*сут}$
	4,422	0,63	3,792
18–22.07.2016	$P_{\text{вал}}, \text{ мг С/л*ч}$	$P_{\text{чист}}, \text{ мг С/л*ч}$	$D, \text{ мг С/л*ч}$
	0,157	0,012	0,145
	$P_{\text{вал}}, \text{ г С/ м}^3\text{*сут}$	$P_{\text{чист}}, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$	$D, \text{ г С/м}^3\text{*сут}$
	2,072	–1,408	3,48

Продолжение таблицы 1

Время про- ведения эксперимента	Параметры продукционно-деструкционного цикла		
2017			
28.09.2017	P _{вал} , мг С /л*ч	P _{чист} , мг С/л*ч	Д, мг С/л*ч
	0,0241	0,0194	0,0047
	P _{вал} , г С/м³*сут	P _{чист} , г С/м³*сут	Д, г С/м³*сут
	0,2328	0,12	0,1128
2018			
26.04.2018	P _{вал} , мг С/л*ч	P _{чист} , мг С/л*ч	Д, мг С/л*ч
	0,06	0,041	0,019
	P _{вал} , г С/м³*сут	P _{чист} , г С/м³*сут	Д, г С/м³*сут
	0,726	0,27	0,456

Максимальные значения валовой продукции в светлое время суток наблюдались в мае 2016 г. Несколько меньшие значения отмечались в феврале и июле 2014 г., а также в июле 2016 г. В остальные исследованные периоды валовая продукция была значительно меньше. Сходная картина наблюдалась и в суточном цикле. Минимальные (отрицательные) значения наблюдались в апреле 2015 г. Максимальные значения деструкции наблюдались в феврале 2014 г. как в светлое время суток, так и в суточном цикле, что приводило, несмотря на высокие значения валовой продукции, к доминированию деструкционных процессов над продукционными в планктонном сообществе озера. Несколько меньшая интенсивность деструкционных процессов наблюдалась в мае и июле 2016 г. (табл. 1, рис. 2–5).

Максимальные значения чистой продукции как в светлое время суток, так и в суточном цикле отмечались в июле 2014 г. В мае 2016 г. в светлое время суток также наблюдались высокие показатели чистой продукции, но в суточном цикле за счет высокоинтенсивной деструкции ее значения были невелики. Минимальные (отрицательные) значения чистой продукции в светлое время суток наблюдались в апреле 2015, а в суточном цикле – в феврале 2014 г.

Общая интенсивность продукционно-деструкционных процессов в планктонном сообществе оз. Маныч-Гудило в 2014 г. была выше, чем во все остальные периоды исследований. При этом наблюдалась их значительная интенсивность в позднелетний период (февраль), снижение интенсивности в поздней весной (май) и новое повышение к середине лета (июль). В 2016 г. картина сильно отличалась: в феврале наблюдалась минимальная интенсивность, затем пик интенсивности в мае и ее снижение к июлю (табл. 1, рис. 2–5).

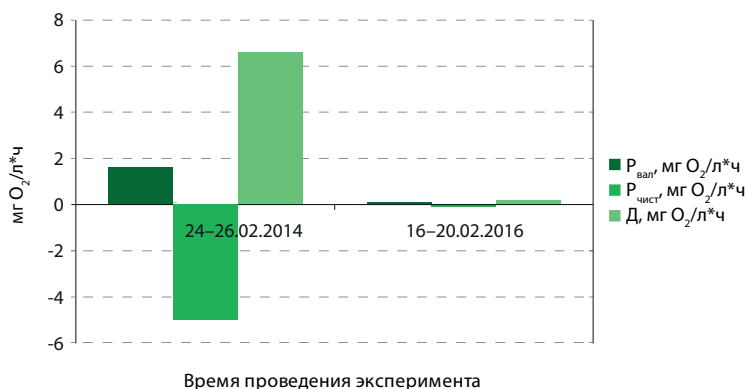


Рис. 2. Соотношение продукционных и деструкционных процессов в оз. Маныч-Гудило в светлое время суток в феврале 2014 и 2016 гг.

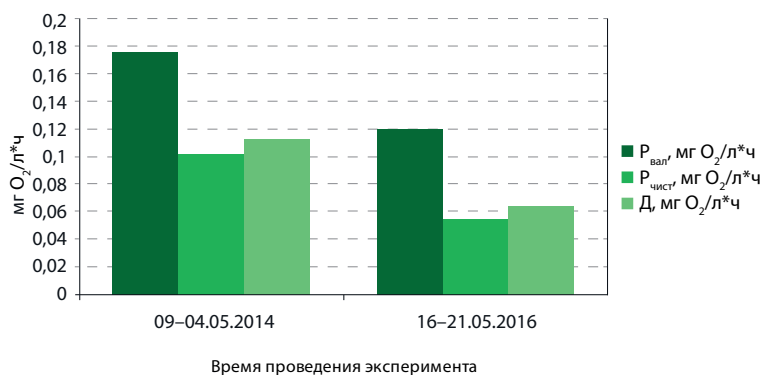


Рис. 3. Соотношение продукционных и деструкционных процессов в оз. Маныч-Гудило в светлое время суток в мае 2014 и 2016 гг.

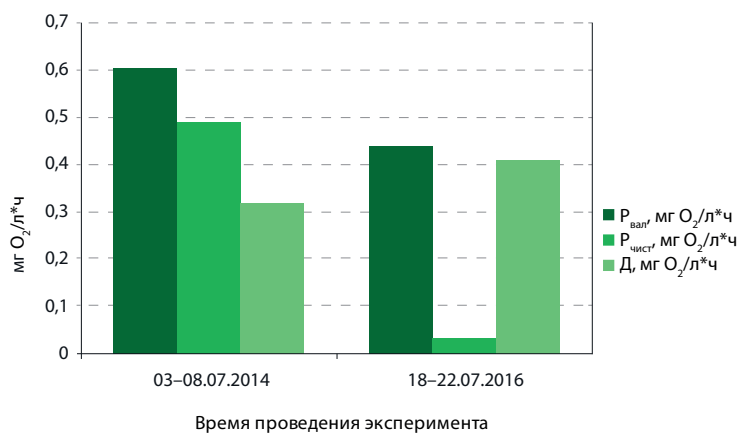


Рис. 4. Соотношение продукционных и деструкционных процессов в оз. Маныч-Гудило в светлое время суток в июле 2014 и 2016 гг.

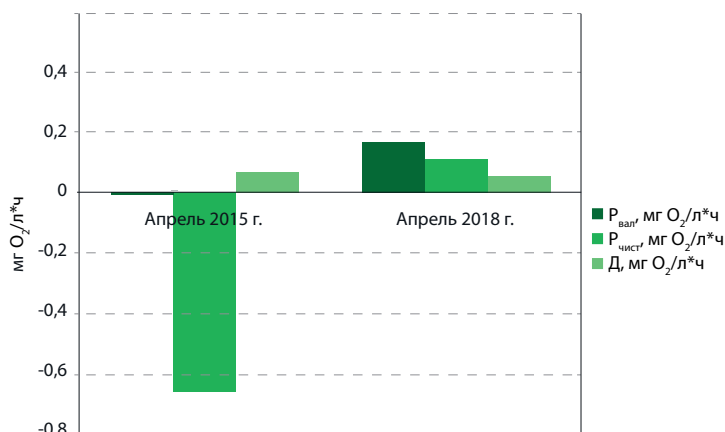


Рис. 5. Соотношение продукционных и деструкционных процессов в оз. Маныч-Гудило в светлое время суток в апреле 2015 и 2018 гг.

Полученные нами результаты несколько отличаются от результатов, полученных В.В. Поважным при изучении продукционно-деструкционных процессов на оз. Маныч-Гудило в августе 2008 г. В тот период на всех изученных участках было отмечено преобладание деструкционного процесса над продукционным. Валовая первичная продукция органического вещества составляла в среднем $182 \text{ мг С/м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$. Деструкция планктонного сообщества изменялась в пределах $412\text{--}479 \text{ мг С/м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$ и составила в среднем $456 \text{ мг С/м}^2 \cdot \text{сут}^{-1}$. Валовая первичная продукция органического вещества в оз. Маныч-Гудило в исследованный период соответствовала уровню, характерному для мезотрофных морских водоемов в летний период, и была весьма незначительна по сравнению с большинством континентальных водоемов зоны ($132\text{--}393 \text{ мг С/м}^2 \cdot \text{сут}$).

В 2014 г. величины первичной продукции превосходили значения августа 2008 г. в 2–10 раз, достигая $2,928 \text{ гС/м}^2 \cdot \text{сут}$, при том, что деструкционные процессы шли значительно менее активно. Для летнего периода 2016 г. получены значения деструкции, аналогичные 2008 г., при гораздо больших значениях валовой продукции. По данным 2008 г. величины первичной продукции в оз. Маныч-Гудило находились в общем ряду величин, отмеченных в водоемах сходного типа в различных районах мира: соленые озера крымского полуострова – $\Sigma P_{вал} = 0,19\text{--}14,9 \text{ гС/м}^2 \cdot \text{сут}$ (июль 2005) [Голубков, 2012]; оз. Мариут (Египет) – $P_{вал} = 48 \text{ г С/м}^3 \cdot \text{сут}$; оз. Ред Рок – $P_{вал} = 58 \text{ г С/м}^3 \cdot \text{сут}$; соленые озера Африки – $0,8\text{--}1,74 \text{ г С/м}^2 \cdot \text{сут}$; Австралии – $P_{вал} 0,46\text{--}58,0 \text{ г С/м}^3 \cdot \text{сут}$; соленые озера Канады и США – $P_{вал} 0,09\text{--}11,1 \text{ г С/м}^3 \cdot \text{сут}$ и т. д. [Hummer, 1981].

В 2014 и 2016 гг. значения, полученные при исследовании продукционно-деструкционных процессов в планктонном сообществе оз. Маныч-Гудило, мы сравнили с аналогичными показателями для дельты р. Дон и лиманов Восточного Приазовья (рис. 6, 7).

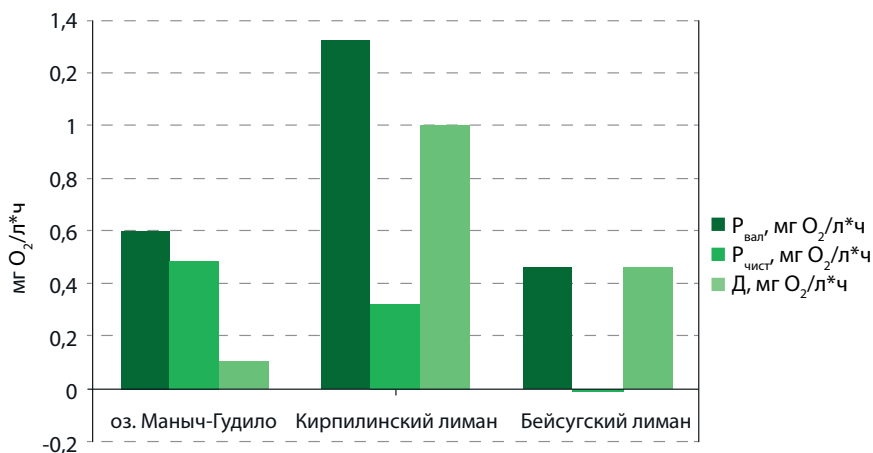


Рис. 6. Соотношение интенсивности продукционно-деструкционных процессов в планктонных сообществах оз. Маныч-Гуди́ло и лиманов Восточного Приазовья летом 2014 г.

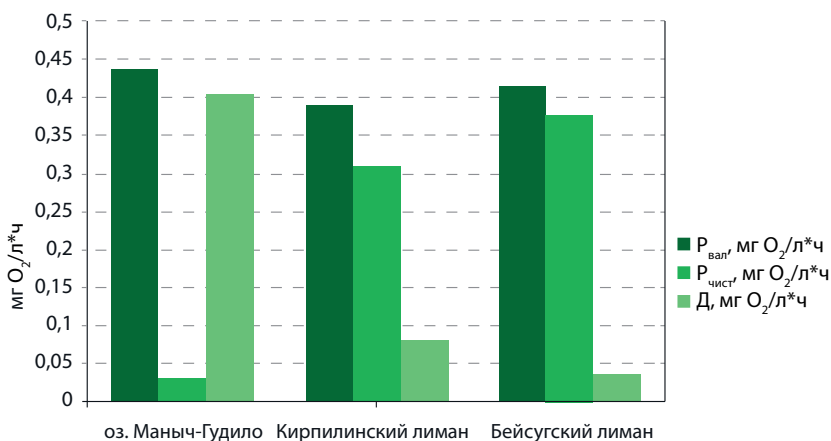


Рис. 7. Соотношение интенсивности продукционно-деструкционных процессов в планктонных сообществах оз. Маныч-Гуди́ло и лиманов Восточного Приазовья летом 2016 г.

Таким образом, в 2014 г. интенсивность продукционно-деструкционных процессов в озере была меньше, чем в лиманах, в особенности интенсивность деструкции. В 2016 г. валовая продукция в Маныч-Гуди́ло находилась на том же уровне, деструкция же превосходила таковую в лиманах, за счет чего чистая продукция была значительно ниже.

В апреле 2015 г. и феврале 2016 г. значения первичной продукции и деструкции, полученные для озера, мы сравнили с аналогичными данными для небольшого сволоноватоводного водоема, расположенного в районе ис-

следований (пруд Виноградный). В апреле 2015 г. как в оз. Маныч-Гудило, так и в пруду Виноградном деструкционные процессы доминировали над продукционными, причем в пруду это было значительно более выражено ($P_{\text{чист}} = -0,317$ мг O_2 /л*ч – в пруду, и $-0,080$ мг O_2 /л*ч – в озере). В феврале 2016 г. доминирование продукционных процессов над деструкционными также было более ярко выражено в малом водоеме, чем в оз. Маныч-Гудило ($P_{\text{чист}} = 0,2475$ мг O_2 /л*ч – в пруду и $0,0033$ – в озере).

В апреле 2018 г. значения первичной продукции в водоеме сопоставимы с таковыми в нижнем течении р. Дон, несколько уступая значениям, полученным для кутовой части Таганрогского залива (и устья р. Маныч), полученным в аналогичный период.

Таким образом, для продукционно-деструкционных процессов, происходящих в планктонном сообществе оз. Маныч-Гудило, характерен резкий разброс значений в различные периоды исследований, что, видимо, связано с быстрой реакцией биоты озера на смену погодно-климатических условий и, как следствие, гидролого-гидрохимических характеристик водоема.

С внутриводоемными биологическими процессами продукции и деструкции наряду с биогенными элементами тесно связано накопление органических веществ, регистрируемых по углероду, входящему в их состав, – органическому углероду ($C_{\text{орг}}$). По полученным данным, представленным в таблице 2, концентрация органического углерода в водах низовьев р. Маныч, в Веселовском и нижней части Пролетарского водохранилища варьировала в пределах 8,51–12,1 мг С/л, что характерно для вод Дона и его притоков. Минерализация вод на этих участках сравнительно невысока и также характерна для водотоков южного региона России (1–3 г/л). Следует, однако, отметить повышенный уровень минерализации в нижней части Пролетарского водохранилища.

Явно повышенная минерализация зарегистрирована в водах пруда Виноградный, в то же время здесь отмечено повышенное содержание органического углерода (17,7 г/л). Существенно более высокое содержание органического углерода характерно для водоемов с высокоминерализованными водами – оз. Маныч-Гудило и лиман Чепрак. Здесь концентрации органического углерода превышают 50 мг/л, что, как правило, не встречается в водоемах южного региона. Такие необычно высокие концентрации были отмечены также в ходе предыдущих обследований оз. Маныч-Гудило, начиная с 2008 г.

Ранее в наших исследованиях в водах соленого озера Маныч-Гудило отмечено высокое содержание органических веществ – около 50 мгС/л, обычно не встречающееся в природных водах и даже редко регистрируемое в загрязненном стоке. Высокая минерализация вод озера обусловлена вымыванием солей из соленосных глин его ложа и испарительным концентрированием при практически бессточном режиме вод, приводящим к почти двукратному ее повышению к концу теплого времени года.

Таблица 2

Результаты определения органического углерода и других параметров, характеризующих химический состав изучаемых природных вод

№ п/п	Место отбора	Т воды, °С	Минерализация, г/л	Органический углерод, мгС/л	рН
1	Маньч-Гудило, водомер. пост	5,2	45	53,6	8,23
2	Маньч-Гудило, пионерлагерь	3,6	44	52,6	8,36
3	Пролетарский гидроузел	4,0	3	8,51	8,0
5	Пруд Виноградный	0,6	6,5	17,7	8,1
6	балка Чепрак, Пролетарское вдхр.	3,9	62	64,2	8,5
9	р. Маньч, ст. Маньчская	0,9	2	12,1	7,6
13	Веселовский гидроузел	0,4	1	9,46	6,1

Оценка влияния испарительного концентрирования на динамику органических веществ водоема выявила, что сезонный ход их концентрации, регистрируемой по органическому углероду ($C_{\text{орг}}$), отличается от режима минеральных компонентов. Изучение продукционных процессов выявило сезонные проявления высокой активности фитопланктона и макрофитов, способных в течение вегетационного периода сгенерировать большие массы нового органического вещества. Содержание органического углерода в водной толще – функция равновесия скоростей продукции и деструкции. Продукционно-деструкционные характеристики наряду с температурной зависимостью по расчетным формулам В.В. Бульона [Бульон, 1983] подвержены влиянию растворенных минеральных солей.

В пресноводных водоемах концентрация органического углерода варьирует в пределах 10 ± 2 мг С/л, не проявляя определенной зависимости от уровня минерализации. При повышенном содержании солей – выше 6 г/л – наблюдается увеличение концентрации органического углерода. Подтверждением замедления деструкции и накопления органического вещества с увеличением минерализации являются данные по биомассе микрофитопланктона. Так, в оз. Маньч-Гудило при содержании солей 48–52 г/л отмечена концентрация органического вещества 53 мг С/л и биомасса микрофитопланктона – 3000 мг/м³. В оз. Грузское при содержании солей свыше 100 г/л зафиксировано повышение концентрации органического углерода до 64 мг С/л и десятикратное снижение биомассы микрофитопланктона – 300 мг/м³. Линейное графическое представление полученных результатов, показанное ниже (рис. 8), свидетельствует о довольно тесной связи $C_{\text{орг}}$ и минерализации ($R^2 = 0,989$).

Следует, однако, обратить внимание на замедление роста концентрации с повышением минерализации вод, что, скорее всего, свидетельствует не только об угнетении бактериальной деструкции новообразованного органического вещества, но и о прогрессирующем снижении фотосинтетической активности продуцентов при дальнейшем росте солености.

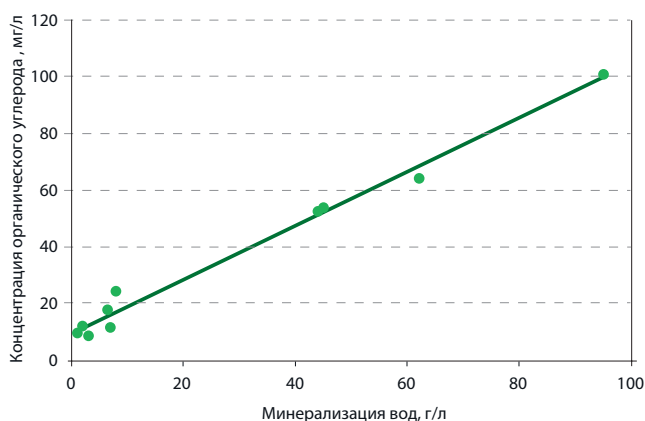


Рис. 8. Зависимость концентрации органического углерода от минерализации вод (линейная аппроксимация)

В водах высокоминерализованного оз. Маныч-Гудило (соленость 40–50 г/л) и в многочисленных более мелких озерах манычской группы повсеместно отмечалось аномальное накопление органического вещества с концентрацией порядка 50 мгС/л. Важно отметить, что в водах озера Манычской долины в основном сохраняется корреляция между $C_{\text{орг}}$ и биогенными элементами. Это, несомненно, свидетельствует о том, что в водах манычских озера активны процессы продукции-деструкции, возможно, с измененными скоростями продукции и деструкции. Действительно, как показано выше, наши продукционно-деструкционные исследования показали умеренную скорость продукции, но заметно пониженную скорость деструкции (рис. 4–7). Таким образом, высокая концентрация органического углерода в манычских водах объясняется существенно пониженной активностью бактериальной деструкции генерируемого в водной толще органического вещества и естественным его накоплением.

Описанное явление накопления органического углерода в водной толще высокоминерализованных вод характерно не только для вод Маныча. По данным химического анализа вод Мертвого моря (пробы воды переданы нам израильскими учеными в январе 2018 г.), концентрация органического углерода составила 36,5 мгС/л. Это несколько пониженный результат в сравнении с данными по манычским озерам, но состояние манычских вод и Мертвого моря довольно неодинаково: соленость вод Мертвого моря в 6–7 раз больше и составляет 300–350 промилле, что угнетает развитие обычных видов фитопланктона. Слабые продукционно-деструкционные процессы идут на бактериальном уровне древних экстремально галофильных архей [Мертвое море ... 2018].

Обширные исследования биохимических процессов в водоемах с высокой соленостью выполнял Зоологический институт РАН (г. Санкт-Петербург). Показано, что при возрастании солености выше 40 ‰ существенно изменяется состояние структуры и функционирования водных экосистем, в том числе

автотрофных организмов. В частности, эти исследования выполнялись на озерах Крымского полуострова с соленостью от 24 до 340 ‰ [Голубков, 2010]. Было показано, что в гиперсоленых озерах в зимний период создается значительная часть годовой первичной продукции фитопланктона. В эстуарной зоне Невской губы отмечено изменение продукции и деструкции органического вещества вдоль увеличения солености от 0,1 до 7,5 ‰.

Таким образом, можно сделать вывод, что повышенная минерализация в водах маньчжских озер обуславливает существенно пониженную активность бактериальной деструкции генерируемого в водной толще органического вещества на фоне приемлемых условий его продуцирования. В результате этого происходит накопление органического вещества в воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абакумов В.А. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л.: Гидрометеиздат, 1983. С. 91–97.

Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 146 с.

Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Кривое и Круглое. Тр. Зоол. Ин-та. Л.: Наука (Ленинградское отделение), 1975. Т. LVI. 228 с.

Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука, 1983. 150 с.

Голубков М.С. Первичная продукция планктона и деструкция органических веществ в соленых озерах Крымского полуострова. Биология внутренних вод. М.: Наука, 2012. № 4. С. 31–38.

Голубков М.С. Первичная продукция планктона вдоль градиента солености: автореф. канд. ... биол. наук. СПб., 2010. С. 25.

Макаревич П.Р. Первичная продукция Баренцева моря. Вестник МГТУ. 2012. Т. 15. № 4. С. 786–793.

Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А., Сергеева В.М. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилежащем Карском шельфе // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 785–800.

Hummer U.T. Primary production in saline lakes // *Hydrobiologia*. 1981. V. 81. P. 47–57.

Мертвое море: почему оно так называется и чем оно знаменито. URL: <http://fb.ru/article/186435/mertvloe-more> (дата обращения 12.05.2018).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Саяпин Владимир Викторович – канд. биол. наук, н. с. ЮНЦ РАН, gammarus75@mail.ru

Сойер Вячеслав Григорьевич – канд. хим. наук, с. н. с. ЮНЦ РАН, soier@ssc-ras.ru

Милутка Максим Сергеевич – аспирант ЮФУ, milutka.maxim@yandex.ru

Клещенков Алексей Владимирович – канд. геогр. наук, в. н. с. ЮНЦ РАН, geo@ssc-ras.ru