

ТРОФИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СОЛЕННЫХ РЕК БАСЕЙНА ОЗЕРА ЭЛЬТОН

© 2013 В.И. Номоконова, Т.Д. Зинченко, Т.В. Попченко

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти

Поступила 29.08.2013

Обсуждаются результаты исследования трофического состояния рек (по содержанию хлорофилла «а», общего фосфора, скорости фотосинтеза, первичной продукции фитопланктона) и условий ее формирования (глубина, температура, прозрачность, химический состав вод) в притоках оз. Эльтон.

Ключевые слова: хлорофилл «а», скорость фотосинтеза водорослей, первичная продукция, деструкция органического вещества, притоки оз. Эльтон.

Оз. Эльтон и реки, его питающие, входят в состав Прикаспийского бессточного бассейна и являются частью природного парка «Эльтонский». Это реликт морских условий, когда-то существовавших на Прикаспийской низменности, и одно из крупнейших соляных озер Европы [1]. В озеро впадает 7 соленых рек. По периферии оно имеет обнаженные от рапы полосы соленой грязи, расположенные преимущественно в устьях рек. Минеральные богатства озера востребованы с середины XVI века, когда в озере интенсивно начали добывать соль. С 1747 по 1882 г. добыча соли велась государственными монополиями. Соленая минеральная грязь издавна считалась целебной и в 1910 г. на восточном берегу озера была открыта грязелечебница. Минеральные источники также обладают лечебными свойствами. Так, в некоторых реках обнаружено высокое содержание брома [2]. Огромная хозяйственная роль оз. Эльтон и уникальность природы его окрестностей положили начало изучению этого региона еще во второй половине XVIII в.

В настоящее время, начиная с 2006 г., сотрудниками лаборатории экологии малых рек ИЭВБ РАН ведутся комплексные исследования экологического состояния высокоминерализованных рек с акцентом на исследование биоразнообразия рек Приэльтона [3, 4, 5 и др.]. Подробной оценки трофического и гидрохимического состояния рек не проводилось. Целью данного исследования является определение продуктивности фитопланктона и установление трофического состояния рек, впадающих в оз. Эльтон в условиях градиента уровня минерализации.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Трофическое состояние исследуемых рек оценивали по величине первичной продукции фитопланктона, содержания хлорофилла «а» (Chl a) и

общего фосфора ($P_{\text{общ.}}$) в соответствии с классификациями Г.Г. Винберга [6] и R.A. Vollenweider, J. Kerekes [7].

Наблюдения проводили в 2008 г. (12-14.08; 25-26.09), в 2010 г. (19-21.08), в 2011 г. (24-27.05) и в 2012 гг. (17-21.05; 13-16.08). Было исследовано 6 рек: Хара, Ланцуг, Чернавка, Солянка, Малая и Большая Саморода. Пробы отбирали на двух участках: в нижнем приустьевом (в 1000-2000 м от впадения в озеро) и в районе среднего течения рек (средний участок). В реках Хара, Большая Саморода и Солянка – пробы отбирались в отдельные даты и в верхнем течении. В течение всего периода исследований определяли содержание Chl a, $P_{\text{общ}}$ и PO_4^{3-} , в 2012 г. – определяли первичную продукцию и деструкцию органического вещества (в приустьевых участках рек Хара, Чернавка и Ланцуг), фотосинтетические пигменты в донных отложениях и химический состав вод всех рек.

Пробы воды отбирали в основном в медиали рек пластиковой емкостью или 2-х литровым батометром Рутгнера. Для определения фотосинтетических пигментов в сестоне воду (объемом до 250 мл) концентрировали путем фильтрации через мембранные фильтры (марки Владипор № 10 диаметром пор 1 мкм). Фильтры с осадком, высушенные на воздухе в темном месте, до анализа хранились в холодильнике.

Для определения фотосинтетических пигментов в донных отложениях пробы из верхнего 0-2 см слоя отбирали в пластиковые или алюминиевые контейнеры объемом до 30 мл. Отбор проб осуществляли в местах донных отложений, типичных для данного участка реки (исключая обрастания водорослей и маты). Для анализа брались навеска грунта массой 1-3 г. Одновременно определялась масса сухого осадка [8]. До проведения анализа все пробы хранились в морозильной камере.

Определение Chl a в сестоне и в донных отложениях проводили спектрофотометрическим методом, измеряя на спектрофотометре СФ-46 оптическую плотность ацетоновых экстрактов.

Номоконова Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, vnomokonova@mail.ru; *Зинченко Татьяна Дмитриевна*, доктор биологических наук, профессор; *Попченко Тимур Викторович*, научный сотрудник

Концентрацию Chl a рассчитывали по формулам [9], для донных отложений – с пересчетом на массу сухого осадка. Относительное содержание феопигментов (% от суммы с содержанием Chl a) определяли по методике [10].

Скорость фотосинтеза, первичную продукцию фитопланктона и деструкцию органического вещества измеряли методом Г.Г. Винберга [11] в кислородной модификации. Пробы отбирали в мае и августе в реках Хара (на глубине 0,5 м) и Чернавка (0,15 м) из поверхностного слоя воды, в р. Ланцуг (1,5 м) – в мае с горизонтов: 0; 0,3-0,5; 0,6; 1,0 и 1,5 м; в августе – 0; 0,3; 0,6; 1,0; 1,2 м. По две светлых и темных склянки экспонировали в течение суток в месте их отбора.

Содержание химических показателей определяли в соответствии с методами, принятыми в гидрохимических исследованиях [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие фитопланктона и его продукция определяются доступностью солнечного света, питательных веществ, температурой воды, скоростью течения, перемешиванием водных масс и морфологическими особенностями водных экоси-

стем. Оз. Эльтон и реки, его питающие, расположены в ландшафте пустынных степей с сухим континентальным климатом, относительно суровой и малоснежной зимой, жарким летом и малым количеством осадков. Реки небольшие, максимальная длина 40 км (в засушливый период в верхнем течении пересыхают); глубина в месте отбора проб в весенний период составляла 40-80 см, снижалась до 10 см – в летнюю межень (табл. 1). На основном протяжении они неширокие, местами разливаются с образованием небольших плесов. По берегам интенсивно развита высшая водная растительность.

Термический режим рек определяется климатическими особенностями региона, их небольшими глубинами, подтоком грунтовых вод и соленостью воды. В мае 2011 и 2012 гг. среднесуточная температура приземного слоя воздуха составляла 19,1 и 21,6°C (среднемесячная) и 24,1-27,6 и 20,3-23,1°C (в даты наблюдений) [13]. При этом температура воды, зарегистрированная в даты отбора проб варьировала в широких пределах: от 15 до 27,3°C (табл. 1).

Таблица 1. Краткая гидрологическая и гидрофизическая характеристика участков соленых рек (места отбора проб)

Показатель	Участок реки	Река					
		Чернавка	Солянка	Хара	Ланцуг	Б. Саморода	М. Саморода
Длина реки, км	-	2,0	5,0	40	14	13,5	-
Ширина реки в месте отбора проб, м	верхний	-	1,0-5,0	3,0	-	-	-
	средний	1,7-2,0	3,0	80	5-10	5-7	7-20
	нижний	1,1-2,0	2,0-5,0	20-50, (4)	15-30	6-30	20-100
Характеристика станций в даты наблюдений							
Глубина, см	верхний	-	10-15	5-10	-	10	-
	средний	10-15	10-80	270	30-60	45-70	25-50
	нижний	10-25	10-50	10-50 (40-70)	10-40	10-60	10-15
Скорость течения*, м/с	средний	0,2	0,4	0,3	0,2	-	-
	нижний	0,4	0,4	0,3 (2,0)	0,2	0,2	-
Прозрачность, см	верхний	-	до дна	до дна	-	-	-
	средний	до дна	до дна	-	до дна	до дна	-
	нижний	до дна	до дна	до дна	до дна	до дна	до дна
Т, °С май 2011, 2012 гг.	верхний	-	25,3	19,8	-	12,4	-
	средний	-	-	16,6	21,6	19,2-19,3	26,5
	нижний	22,5-26,9	27,3	15-26,3	16,0-22,6	21,0	24,3
Т, °С август. 2008, 2010, 2012 гг.	верхний	-	30,2	21,6-32,0	-	16,5	-
	средний	18,5-23,0	20,0-23,7	22,8-24,0	19,2-21,2	18,6-25,6	25,8
	нижний	21,8-31,5	21,2-28,3	22,5-33,0 (16,0)	21,0-23,9	22,3-26,5	24,6
Т, °С сентябрь 2008 г.	верхний	-	15,8	17,8	-	-	-
	средний	15,2	14,7	12,7	12,1	10,7	-
	нижний	12,5	15,1	15,5	12,7	12,3	-

Примечание. Здесь и в аналогичных таблицах прочерк – отсутствие данных; в скобках - характеристика дополнительной станции в нижнем районе р. Хара (в 4 км от устья); * - по [3].

В августе исследованных лет среднемесячная температура воздуха изменялась от 25,3°C (2008, 2012 гг.) до 28,8°C (2010 г.). В период наблюдений она равнялась 26,5-30,7°C (12-14 августа 2008 г.), 29,4-17,3°C (19-21 августа 2010 г.) и 26,1-32,5°C (13-16 августа 2012 г.). Температура воды

при отборе проб так же варьировала в широких пределах: от 16,0 до 33,0°C (табл. 1). Максимальные величины регистрировали в устьевых участках рек. В местах, где приток грунтовых вод значительный, температура воды снижается до 16°C (в р. Хара на расстоянии 4 км от устья). В относи-

тельно глубоких участках рек отмечена термическая стратификация. Так, в приустьевом участке р. Ланцуг при глубине 1,9 м 14 августа 2012 г. температура воды у поверхности равнялась 22,1°С, на глубине 0,5 м – 17,9°С, на глубине 1,5 м – 15,5°С.

В сентябре при снижении температуры воздуха (среднемесячная температура в 2008 г. была 15,7°С) наблюдается охлаждение водных масс. В период наших исследований температура воды была 10,7-17,8°С.

Химический состав вод формируется в основном в результате их взаимодействия с почвами и породами окружающего ландшафта, климатическими условиями и жизнедеятельностью гидробионтов. Максимальный объем водных масс наблюдается в период весеннего половодья (март). В это время происходит и основное поступление различных веществ с водосборной площади. Летом в результате малого количества осадков уровень воды в реках в отдельные годы снижается, и в формировании химического состава воды возрастает роль грунтового питания.

На формирование химического состава устьевых участков отдельных рек оказывает влияние и нагон рапы из озера, который может простираться на несколько километров от устья. И.Б. Фейгельсон с соавторами описывал это явление так [2]: «загон облегчается особенно в случае речек, впадающих в озеро открытым прямым рукавом, наоборот, Чернавка, русло которой извили-

стое, как в грязевой полосе, так и в коренных берегах, этого явления не показывает» (стр. 41). Сгонно-нагонные явления с заносом рапы озера в устья рек наблюдались в мае 2012 г. В результате содержание растворенных солей (по сухому остатку) в рапе озера было 300 г/л, в устьевых участках рек: Большая Саморода 135 г/л (в среднем течении 8,8 г/л), Хара – 218 г/л. В р. Ланцуг отмечено расслоение водных масс по минерализации: при глубине 1,5 м в поверхностном слое воды она равнялась 230 г/л, на глубине 0,5 м – 365 г/л, 1,0 м – 383 г/л, у дна – 399 г/л. То есть в этот период устьевые участки рек являются гипергалинными. По содержанию солей в августе – 9,8-20 г/л реки Ланцуг, Большая Саморода и Хара относятся к мезогалинным.

В августе 2012 г. отмечено увеличение минерализации от истока (2 г/л) к устью (10 г/л) в р. Большая Саморода, в р. Ланцуг - от 2,4 г/л (в источнике среднего участка реки) до 6,6 г/л в самой реке и 13 г/л в устье. В реках Чернавка и Солянка, количество растворенных солей изменяется от 29 г/л до 31 г/л и соответствует полигалинным водам. Особое положение занимает Малая Саморода, где нет четкой границы между рапой озера и ее водами [3]. Так, содержание солей (по сухому остатку) в мае 2012 г. было в среднем течении 321 г/л, в устье – 335 г/л, в августе, соответственно, 77 и 230 г/л. По их содержанию вода является гипергалинной.

Таблица 2. Характеристика химического состава воды притоков оз. Эльтон в мае и августе 2012 г.

Показатель / месяц	Участок реки	Река					
		Чернав-ка	Солян-ка	Хара	Ланцуг	Большая Саморода	Малая Саморода
O ₂ , мг/л август	средний	8,4	19,0	4,9	5,3	11,1	0,63
	нижний	18,2	26,6	22,1	7,7	7,3	5,1
CO ₂ , мг/л август	средний	48,4	52,8	68	13,2	-	нет
	нижний	нет	нет	нет	6,6	нет	нет
Минерализация, г/л	средний	29-31	28	12	12	9	-
	нижний	30	29	14-19	17	10	-
Сухой остаток, г/л, август	средний	29	40	13	6,6	9	77
	нижний	30	30	20	13	10	231
Тип По: [12]	средний	Cl ^{Mg,Na}	Cl ^{Na,Mg}	Cl,S ^{Mg,Na}	S,Cl ^{Na}	Cl,S ^{Na,Mg}	Cl ^{Mg}
	нижний	Cl ^{Mg,Na}	Cl ^{Mg}	Cl,S ^{Mg}	Cl,S ^{Na,Mg}	Cl,S ^{Na,Mg}	Cl ^{Mg}
Si, мг/л, май	средний	1,3	0,4	1,6	3,4	3,9	2,3
	нижний	0,6	0,5	5,5	2,6	4,5	2,6
Si, мг/л, август	средний	8,8	6,1	11,9	7,8	7,9	4,6
	нижний	4,2	3,4	4,0	7,1	5,5	3,0
N _{мин} , мг/л, май	средний	39,5	53,1	0,13	0,71	1,13	4,79
	нижний	34,3	-	12,3	7,34	1,60	3,15
N _{мин} , мг/л, август	средний	42,9	46,5	12,5	-	3,49	2,28
	нижний	39,6	34,6	11,6	10,5	1,88	-
NH ₄ ⁺ , мгN/л, май	средний	35,9	49,2	0,11	0,53	1,06	4,66
	нижний	30,8	13,1	9,8	6,0	1,48	2,97
NH ₄ ⁺ , мгN/л, август	средний	42,4	45,3	11,4	3,2	2,33	2,28
	нижний	38,7	22,8	10,1	9,5	1,80	-

Можно констатировать, что в результате родникового питания, вымывания солей из почв, сгонно-нагонных ветровых переносов рапы из озера происходит увеличение содержания солей в реках по мере продвижения водных масс к устью.

Преобладающими анионами в воде рек Чернавка, Солянка, Малая Саморода являются ионы хлора, рек Хара, Ланцуг и Большая Саморода – ионы хлора и сульфатные ионы (табл. 2). Во второй группе рек от истока к устью увеличивается доля хлоридных ионов, и наблюдается смена класса вод. Так, в р. Большая Саморода вода в истоке сульфатно-карбонатная, к среднему участку и устью становится хлоридно-сульфатной. Вода в источнике среднего участка р. Ланцуг – сульфатного класса, в самой реке – сульфатно-хлоридного, а в устье – хлоридно-сульфатная. По преобладающим катионам вода в реках относится к натриевой, нарий-магниевой или магниевой группе (табл. 2).

Представляет интерес распределение наиболее важных для развития фитопланктона минеральных соединений кремния, азота и фосфора. Содержание кремния в реках изменялось от 0,5 до 11,9 мг/л (табл. 2) и является типичным для поверхностных вод Волжского бассейна. Динамика его концентрации в пространстве и в отдельные месяцы может быть обусловлена разной ролью грунтовых вод в питании рек и развитием диатомовых водорослей.

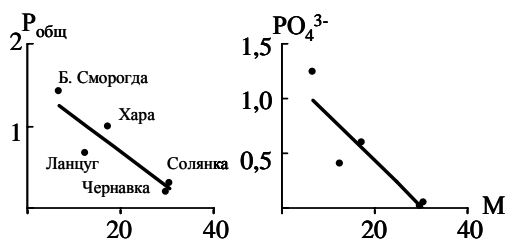


Рисунок 1. Соотношение содержания средних величин общего фосфора (Р_{общ}, мг Р/л) и фосфатов (Р_{О₄³⁻}, мг Р/л) с минерализацией воды (М, г/л). (август 2008, 2010 и 2012 гг.)

Воды рек отличаются высоким содержанием фосфора и минерального азота (табл. 2, 3). Содержание минерального азота в полигалинных водах рек Чернавка и Солянка было в пределах 43,3-53,1 мг N/л, фосфора общего 0,03-0,42 мг Р/л, фосфатов 0,002-0,247 мг Р/л. В мезогалинных реках Большая Саморода, Хара и Ланцуг значения минерального азота равнялись 7,3-12,5 мг N/л, общего фосфора в основном 0,5-2,5 мг Р/л, фосфатов 0,002-1,55 мг Р/л. В гипергалинной р. Малая Саморода эти показатели колебались в пределах 1,13-4,79 мг N/л, 1,17-3,0 мг Р/л и 0,07-1,72. В сравнении с количеством азота и фосфора в поверхностных водах различных географических зон, где характерно содержание минераль-

ного азота до 1 мг N/л, фосфора общего до 0,5 мг Р/л [14], соленые реки Приэльтона по среднему содержанию общего фосфора и минерального азота [15] являются гипертрофными (табл. 3). Содержание общего фосфора в реках находится в обратной зависимости от уровня минерализации (рис. 1). Различие в содержании фосфора в реках по всей вероятности объясняется разным генезисом подземных вод, питающих исследованные водотоки.

При низкой антропогенной нагрузке высокое содержание фосфора и минерального азота может быть обусловлено поступлением их из донных отложений и с грунтовыми водами, которые ими обогащаются в результате деятельности бактерий при разложении органического вещества и физико-химических процессов, протекающих в толще осадочных пород. На это указывают и результаты определения фосфора (август 2012 г.) в р. Большая Саморода на разных участках от истока (родника) к устью и в источнике Смородинский (август 2008 г.):

	исток (родник)	верхний	средний	устье	Источник Смородинский
Р _{общ} , мг Р/л	1,54	2,01	1,53	1,43	1,85
Р _{О₄³⁻} , мг Р/л	1,33	1,55	1,30	1,33	-

Пространственное распределение Р_{общ} и Р_{О₄³⁻} в мезогалинной р. Б. Саморода свидетельствует о незначительных изменениях биогенных элементов в диапазоне солёности от 2 до 10 г/л. Близкие величины фосфора обнаружены в августе 2012 г. и в источнике р. Ланцуг (Р_{общ} - 1,18 мг Р/л, Р_{О₄³⁻} - 1,17 мг Р/л). Можно констатировать, что в оз. Эльтон, кроме накопления хлоридных и сульфатных солей натрия и магния, происходит аккумуляция фосфора, приносимого водами рек, особенно р. Большая Саморода. Так, в мае и августе 2012 г. концентрация общего фосфора в рапе оз. Эльтон была 2,27 и 1,29 мг Р/л.

Относительная доля минерального фосфора, как и азота (преимущественно аммонийного), необходимого для развития фитопланктона, за редким исключением оставалась высокой (табл. 3). Таким образом, притоки оз. Эльтон отличаются высоким биогенным потенциалом, который по-разному реализуется в их продуктивности.

Содержание Chl a - одного из показателей продуктивности водных экосистем и основного, в оценке их трофического состояния, изменялось в широких пределах - от 2,8 до 341 мг/м³ в различных реках и их участках (табл. 3). Концентрацию Chl a в сестоне, соответствующую уровню гипертрофных водоемов (>100 мг/м³), регистрировали во всех реках, кроме р. Большая Саморода.

В мае максимальное содержание Chl a наблюдали в р. Малая Саморода (375 мг/м³) и приустьевом участке р. Ланцуг (162 мг/м³). В период на-

блюдений в других реках его концентрация варьировала от 7 до 18 мг/м³ (табл. 3).

В августе значительное содержание Chl а - от 185 до 535 мг/м³ регистрировали при наибольшем прогреве водных масс в приустьевом участке всех рек, за исключением р. Большая Саморода. Выше по течению его величина не превышала 20 - 50 мг/м³. В р. Большая Саморода содержание Chl а было в пределах 4,5-17 мг/м³. Морфологические и

гидрологические особенности отдельных участков рек отражались на их продуктивности. Например, вблизи плотины среднего участка р. Хара содержание Chl а в поверхностном слое равнялось 341 мг/м³ (август 2008 г.), тогда как в 4 км от устья, где отмечены выходы грунтовых вод и скорость течения составляла 2 м/с – содержание Chl а не превышало 7,4 мг/м³.

Таблица 3. Содержание хлорофилла «а» (Chl а), фосфора общего (Р_{общ}) и фосфатов (PO₄³⁻) в разные месяцы 2008-2012 гг.

Показатель	Участок	Река						
		Чернавка	Солянка	Хара	Ланцуг	Большая Саморода	Малая Саморода	
май (2011, 2012 гг.)								
Chl а, мг/м ³	верхний	-	13,0-13,2	3,1-13,2	-	2,8	-	
	средний	13,0	7,0	5,1	15,4-40,3	7,1	29,6-274	
	нижний	31,8	8,9-18,1	9,3-12,1	47,6-162	18,4	3,7-375	
	август (2008, 2010, 2012 гг.)							
	верхний	-	50,7	23,4-55,6	-	49,8	-	
	средний	20,0-34,9	4,7	341	10,5-20,0	9,0-17,0	73,8	
	нижний	62,0-221	25,8-341	16,1-185	13,6-220	4,5-9,6	535	
	сентябрь (2008 г.)							
	верхний	-	12,9	10,0	-	-	-	
	средний	9,5	27,2	-	5,3	19,1	-	
	нижний	36,4	38,5	19,9	7,0	10,2	-	
	май-сентябрь							
среднее	41,3±21,5	41,8±20,6	81,9±38,6	34,8±13,9	12,3±5,3	-		
май (2011, 2012 гг.)								
Р _{общ} , мгР/л	верхний	-	0,09	0,02-0,11	-	1,15	-	
	средний	0,08-0,09	0,03	0,61-0,68	1,52-2,00	3,18	1,80-2,36	
	нижний	0,14-0,23	0,11-0,13	0,11-0,67	0,54-2,36	0,93-2,025	1,81-2,38	
	август (2008, 2010, 2012 гг.)							
	верхний	-	0,34	1,64-2,41	-	2,01	-	
	средний	0,09-0,25	0,16-0,37	1,93	1,29-1,86	1,10-1,69	1,17-1,76	
	нижний	0,16-0,25	0,19-0,42	0,12-0,40	0,14-0,28	1,06-1,43	3,0	
	сентябрь (2008 г.)							
	верхний	-	0,19	2,97	-	-	-	
	средний	0,13	0,22	1,99	1,75	1,53	-	
	нижний	0,08	0,11	0,10	0,13	1,57	-	
	май-сентябрь							
среднее	0,14±0,03	0,19±0,03	0,93±0,33	1,00±0,27	1,65±0,14	-		
май (2011, 2012 гг.)								
PO ₄ ³⁻ , % от Р _{общ}	верхний	-	53	18-66	-	99	-	
	средний	32-74	41	52	77-94	60	-	
	нижний	60-74	68-87	50-85	36-47	52-98	-	
	август (2008, 2010, 2012 гг.)							
	верхний	-	2,0	70-81	-	77	-	
	средний	2-47	3-66	1	66-79	85-87	84	
	нижний	0-21	5-40	10-30	0-13	89-99	58	
	сентябрь (2008 г.)							
	верхний	-	25	57	-	-	-	
	средний	57	31	71	76	99	-	
	нижний	14	18	51	2	95	-	

В сентябре при понижении температуры воды содержание Chl во всех реках снижалось до 5,3-38,5 мг/м³ (в р. Малая Саморода наблюдения не проводились). Наибольшие величины, так же как и в августе, регистрировали в приустьевых участках рек Чернавка, Солянка, Хара.

Содержание Chl а в среднем за период (май-сентябрь) в притоках оз. Эльтон соответствует уровню эвтрофных водотоков, в р. Большая Саморода – ближе к границе мезотрофно-эвтрофных водных масс (табл. 3). Одной из причин меньшей

продуктивности фитопланктона р. Большая Саморода (12,3 мг/м³), по-видимому, может быть большое содержание фосфора (1,74 мг Р_{общ}/л), при котором, по наблюдениям М.С. Голубкова, в соленых озерах скорость фотосинтеза снижается [16].

Полученные нами данные высокой продуктивности (по содержанию Chl а) в р. Малая Саморода, вероятно, связаны с развитием водорослей из отдела Chlogophyta, в том числе представителей рода *Dunaliella*. Например, известно, что ин-

тенсивное развитие *Dunaliella salina* наблюдается в озерах с экстремальной соленостью и высокой температурой воды [17]. Было установлено, что концентрация β каротина, играющего защитную функцию водорослей в экстремальных условиях, повышается, маскируя тем самым зеленый хлорофилл, и окрашивая водоросль в красный цвет [18, 19]. Наши предположения пока не подтверждены достоверными данными и нуждаются в дальнейших альгологических исследованиях.

Скорость фотосинтеза и первичная продукция определялись в 3 реках: Хара, Чернавка и Ланцуг. Их показатели варьировали от уровня евтрофных до гипертрофных и соответствовали содержанию Chl a в приустьевых участках (табл. 4). Отмечена

положительная связь между скоростью фотосинтеза и количеством Chl a (рис. 2).

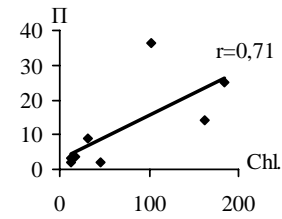


Рисунок 2. Зависимость скорости фотосинтеза (П, мг O₂/ л·сут) от содержания Chl a (мг/м³) в поверхностном слое воды устьевых участков рек Хара, Ланцуг и Чернавка.

Таблица 4. Первичная продукция (П), деструкция органического вещества (Д) и содержание хлорофилла «а» (Chl a) в устьевых участках рек Ланцуг, Хара, Чернавка (май, август 2012 г.)

Показатель	р. Ланцуг			р. Хара			р. Чернавка		
	17-18 мая	19-20 мая	14-15 августа	17-18 мая	19-20 мая	14-15 августа	20-21 мая	14-15 августа	
П, мг O ₂ /л · сут.	14,2	1,95	3,64	2,18	3,20	24,96	8,81	36,2	
П, г C/м ³ · сут.	4,26	0,58	1,09	0,65	0,96	7,48	2,64	10,9	
П, г C/м ² · сут.	1,45	0,38	1,15	0,46	0,67	2,99	0,53	3,27	
Д, мг O ₂ /л · сут.	0,79	0,93	1,39	1,16	1,61	5,23	1,78	6,14	
Д, г C/м ² · сут.	0,19	0,25	0,72	0,24	0,34	0,63	0,11	0,55	
П/Д (по 1м ²)	7,8	1,5	1,6	1,9	2,0	4,8	4,9	5,9	
Chl a, мг/м ³	52,4	24,8	17,4	12,1	13,2	185,0	32,2	103,0	
Chl a, мг/м ²	40,7	21,9	102	8,5	9,2	74	6,4	30,9	
Глубина, м	1,5	1,5	1,9	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	
Т, °С у поверхности	15,4	16-21	22,2	16-21	16-21	33,0	21	31,5	
Прозрачность, м	0,5	0,3	0,6	до дна	до дна	до дна	до дна	до дна	
O ₂ , мг/л у поверхности	4,9	2,3	7,7	5,6	5,6	22,1	8,6	18,2	
Сухой остаток, г/л	230			218			19,6	-	30,0

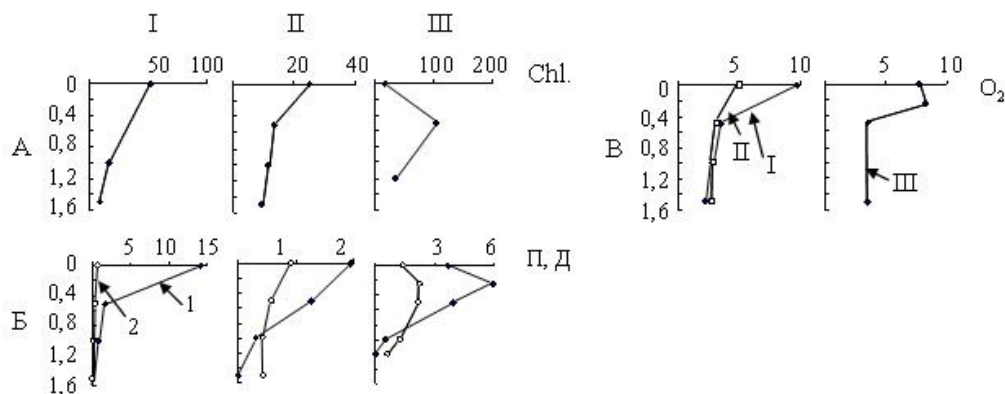


Рисунок 3. Вертикальное изменение содержания Chl a (А – Chl a, мг/м³), первичной продукции (П), деструкции органического вещества (Д) (Б, – 1 – П; 2 – Д, мг O₂/л · сут.), кислорода (В – O₂, мг/л) в р. Ланцуг в 2012 г. I - 17-18 мая, II - 19-20 мая, III - 14-15 августа.

Ниже приводятся данные вертикального распределения скорости фотосинтеза, деструкции органического вещества и содержания хлорофилла в р. Ланцуг (рис. 3). Установлено, что при глубине 1,5-1,9 м и прозрачности воды от 0,3 до 0,6 м основной фотосинтез наблюдается до глубины, равной 1-2 прозрачности воды (рис. 3). Интен-

сивный фотосинтез в реках сопровождался полным поглощением CO₂ и обогащением воды O₂ (см. табл. 2, 4).

Сравнительный анализ скорости фотосинтеза в исследованных нами реках (табл. 4) и в соленых озерах, изученных другими авторами в разных географических районах (табл. 5), свидетельст-

вует о близких пределах изменения полученных величин. В притоках оз. Эльтон интенсивность фотосинтеза варьировала от 0,58 до 10,9 г С/м³·сут., в озерах – от 0,09 до 11,3 г С/м³·сут. Выде-

ляются только континентальные водоемы, где интенсивность фотосинтеза достигала 67,1 г С/м³·сут. [20].

Таблица 5. Первичная продукция (П) и содержание хлорофилла «а» (Chl a) в озерах разной солености

Местоположение, название водоема		Минерализация, г/л	П, г С/м ³ ·сут	Chl, мг/м ³	Источник
Крым	Прибрежные	100 и более	0,31-6,87	0,3-4,59	[20]
	Континентальные	до 100	3,45-67,1	6,68-301	
	Сакское	58-140	0,22-10,9	-	[21]
	Сасык	77-203	0,12-3,32	-	
	Западный Севаш	200-228	0,94-1,87	-	
	Чокракское	228-259	4,89-5,49	-	
Алтайский край	Пресное	25,4	-	3,8-8,6	[22]
	Без названия	89,3	-	33,1-33,9	
	Кулундинское	122-140	-	4,8-31,0	
	Река Солонька	2,7	-	145-168	
Забайкалье	Верхнее Белое	9,4	0,57-1,02	3,6-7,4	[23]
	Белый ключ	2,1	0,15-0,69	4,8-5,9	
	Сульфатное	5,6	0,27-3,0	0,5-3,2	
	Хилганта	47-170	0,91	14,7	
	Доронинское		0,18	10,7-40,5	
Северная Америка – Канада	Humboldt	4,5*	11,13	116	[24]
	Little Maniton	10,4*	0,47	14,1	
	Manito	74,5*	1,64	-	
	Waldsen	9,0*	0,09	2,1	

* - жесткость в мг-экв/л

Таблица 6. Содержание хлорофилла «а» (мкг/г с.о.) и феопигментов (за чертой, %) в 0-2 см слое донных отложений в притоках оз. Эльтон

Участок	Чернавка	Солянка	Хара	Ланцуг	Б. Саморода	М. Саморода	оз. Эльтон
май 2012 г.							
Средний	692 / 76	405 / 45	-	8,3 / 48	26,5 / 6	15,0 / 30	25,4 / 46
Нижний	85,6 / 62	30,5 / 48	64,1 / 60	40,8 / 64	121 / 47	15,9 / 17	
август 2012 г.							
Средний	554 / 44	192 / 85	134 / -	22,5 / 48	-	32 / 46	10,4 / 58
Нижний	188 / 50	123 / 74	-	708 / 24	252 / 42	32 / 30	

В дополнение к вышесказанному, особое внимание следует обратить на полученные данные по соотношению величин первичной продукции и деструкции (см. табл. 4). Было установлено, что в воде рек первичная продукция органического вещества в 1,5-7,8 раз превышает деструкцию, т.е. основная масса синтезированного органического вещества поступает в донные отложения. В верхнем слое донных отложений содержание Chl a изменялось в мае и августе 2012 года от 8,3 мкг/г с.о. до 708 мкг/г с.о. (табл. 6), тогда как относительное содержание феопигментов, продуктов распада Chl a, не достигало 76 мкг/г с.о., что говорит о том, что значительная часть Chl a находится в фотосинтетически активном состоянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованиями, проведенными в 2008, 2010, 2011, 2012 гг., установлено, что в соленых реках, с минерализацией воды от мезо- до гипергалинной (Хара, Чернавка, Ланцуг, Солянка, Большая и Малая Саморода) содержание общего фосфора и

минерального азота соответствует уровню гипертрофных водоемов.

Содержание общего фосфора в соленых реках Приэльтона находится в обратной зависимости от уровня минерализации.

Продуктивность фитопланктона по содержанию хлорофилла «а» изменяется от мезотрофного до гипертрофного состояния (2,8-535 мг/м³). В пространственной динамике отмечается увеличение содержания Chl a в устьевых участках рек. Среднее его содержание в реках Хара, Чернавка, Ланцуг, Солянка и Малая Саморода соответствует уровню эвтрофных водоемов (41,3-81,9 мг/м³), в р. Большая Саморода - ближе к границе мезотрофно-эвтрофных (12,3 мг/м³).

Интенсивность фотосинтеза и первичная продукция, определенные в приустьевых участках рек Хара, Чернавка и Ланцуг в 2012 г., так же как и содержание Chl a, варьируют от уровня эвтрофных (0,38-0,67 г С/м²·сут) до гипертрофных (1,15-3,27 г С/м²·сут). Наблюдается положительная связь между скоростью фотосинтеза и содержанием Chl a.

Установлено, что в устьевых участках рек Хара, Ланцуг, Чернавка первичная продукция в воде превышает деструкцию. Основное разложение синтезированного органического вещества происходит в донных отложениях.

Благодарности. Авторы благодарят А.О. Плотникова, к.б.н., ведущего научного сотрудника ФГБУ Института клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН за помощь при отборе проб и постановке опытов по определению первичной продукции.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ 13-04-10119К; № 13-04-00740А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Borowitzka L.J.* The microflora. Adaptations to life in extremely saline lakes // *Hydrobiologia*. 1981. Vol. 81/82. P. 33-46.
2. Determination of photosynthetic pigments in sea water // *Monographs on oceanographic methodology*. Paris. UNESCO, 1966. P. 9-18.
3. *Hammer U.T.* Production in Saline Lakes: A Review // *Hydrobiologia*. 1981. Vol. 81/82. P. 47-57.
4. *Lorenzen G.J.* Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equation // *Limnol. Oceanogr.* 1967. Vol. 12, N 2. P. 343-346.
5. *Vollenweider R.A., Kerekes J.* The loading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary results of the OECD programme on eutrophication // *Progr. Water Technol.* 1980. Vol. 12. N 2. P. 3-38.
6. *Алексин О.А.* Гидрохимические основы. Л.: Гидрометеоролог. Изд-во, 1970. 444 с.
7. *Алексин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоздат, 1973. 270 с.
8. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. Изд-во Московского университета, 1961. 491 с.
9. *Винберг Г.Г.* Опыт изучения фотосинтеза и дыхания в водной массе озера. К вопросу о балансе органического вещества (Сообщение I) // *Труды лимнологической станции в Косине*. М., 1934. № 18. С. 5-22.
10. *Винберг Г.Г.* Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во СН БССР, 1960. 329 с.
11. *Голубков М.С.* Первичная продукция планктона вдоль градиента солености. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2010. 25 с.
12. *Голубков М.С.* Первичная продукция планктона и деструкция органического вещества в соленых озерах Крымского полуострова // *Биология внутренних вод*. 2012, № 4. С. 31-37.
13. Данные Росгидромета по температуре воздуха <http://meteo.ru/tech/aisori.php>
14. *Добрынин Э.Г.* Характеристика круговорота органического вещества в гипергалинных водоемах Крыма // *Тр. ИБВВ РАН*. Вып. 37 (40). Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. Л.: Наука, 1979. С. 60-74.
15. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В.* Макрозообентос высокоминерализованных рек аридной зоны юга России (Приэльтонье) // *Экология водных беспозвоночных*. Сб. материалов Международной конференции, посвященной 100-ю со дня рожд. Ф.Д. Мордухай-Болтовского. Борок, ИЭВВ РАН, 30 октября – 2 ноября 2010. С. 108-111.
16. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Абросимова Э.В.* Экологическая характеристика *Cricotopus salinophilus* (Diptera, Chironomidae) из соленых рек бассейна оз. Эльтон // *Изв. СамНЦ РАН*, 2010. Т. 12, №1. С. 196-200.
17. *Зинченко Т.Д., Головатюк Л.В., Выхристюк Л.А., Шумиков В.К.* Разнообразие и структура сообществ макрозообентоса высокоминерализованной р. Хара (Приэльтонье) // *Поволжский экологический журнал*. 2010. №1. С. 14-30.
18. *Исаченко Б.Л.* Несколько наблюдений над *Dunaliella salina* и над розовой солью // Б.Л. Исаченко. Избранные труды. М-Л: АН СССР, 1957. С. 86-89.
19. *Исаченко Б.Л.* О получении искусственной лечебной грязи // *Избранные труды*. М-Л: АН СССР, 1957. С. 258-260.
20. *Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Зарубина Е.Ю.* и др. Состав и структура экосистем степных озер Алтайского края в 2008 г. // *Наука – Алтайскому краю*. 2008 год / Сборник научных статей по результатам НИР, выполненных за счет средств краевого бюджета. Выпуск 2. Барнаул: Азбука, 2008. С. 237-254.
21. *Китаев С.П.* Экологические основы для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
22. *Монников С.Н., Судаков А.В.* Историко-географическая уникальность озера Эльтон // *Псковский регионологический журнал*. Псков, 2011. С. 113-126.
23. *Работнова И.Л., Милько Е.С.* Влияние условий культивирования на образование каротина водорослью *Dunaliella salina* // *Труды Московского общества испытателей природы*. Том XXIV. 1966. С. 115-122.
24. Солоноватые и соленые озера Забайкалья: гидрохимия, биология / отв. Ред. Б.Б. Намсараев. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2009. 340 с.
25. *Фейгельсон И. Б., Бефорт Е.И., Ларина А.П.* Характеристика фильтрационной способности Эльтонских соляных грязей, расположенных в устьях рек // *Проблемы озера Эльтон*. Сталинград: Сталинградское краевое книгоиздательство. 1936. С. 64-81.
26. *Фейгельсон И.Б., Шлезингер Н.А., Ларина А.П.* О составе воды рек, питающих Эльтон и их опресняющем влиянии на озеро // *Проблемы озера Эльтон*. Сталинград: Сталинградское краевое книгоиздательство. 1936. С. 30-43.

TROPHIC STATE OF SALINE RIVERS OF THE LAKE ELTON BASIN

© 2013 V.I. Nomokonova T.D. Zinchenko, T.V. Popchenko

Institute of ecology of the Volga River basin of the Russian Academy of Sciences, Togliatti

Results of research of trophic state of the rivers (on the content chlorophyll "a", the total phosphorus, rate of photosynthesis, primary production of a phytoplankton) and conditions of its formation (depth of stations, temperature, a transparency and a chemical compound of waters) in inflows of the lake Elton are discussed.

Key words: chlorophyll "a", rate of photosynthesis, primary production, destruction organic substance, inflows of the lake Elton.

Nomokonova Valentina Ivanovna, Candidate of Biology, Senior Research Fellow, vnomokonova@mail.ru; *Zinchenko Tatyana Dmitrievna*, Doctor of Biology, professor, Head of laboratory of small rivers ecology; *Popchenko Temyr Viktorovich*, Research Fellow