

46733

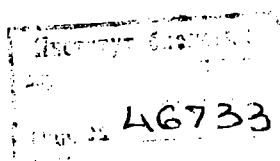
КАРЕЛЬСКИЙ ФИЛИАЛ АН СССР  
ОТДЕЛ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО  
И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
В ВОДАХ КАРЕЛИИ

ПЕТРОЗАВОДСК 1985

556.44.6  
556.44.7

Научные редакторы:  
Е.П. Васильева, Н.А. Дозовик



Карельский филиал АН СССР. 1985.

## Введение

В Карелии насчитывается свыше 60 тыс. озер. Более 60% водной поверхности образовано водоемами площадью не менее 10 км<sup>2</sup>. Климатические особенности региона, его обширная озерность и заболоченность обусловили большое разнообразие вод по содержанию органического вещества (ОВ) и биогенных элементов (БЭ). Крупные водоемы, как правило, олиготрофные с низким содержанием ОВ и БЭ. Вместе с тем значительная часть водных систем с заболоченным водосбором относится к мезо-поликумуляционному типу. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия в ряде водоемов или на отдельных их участках содержание ОВ и БЭ характеризует начальную стадию их эвтрофирования.

Исслед. возник проблем Карельского филиала АН СССР на протяжении многих лет проводит комплексное изучение внутренних водоемов Карелии в целях рационального использования вод в народном хозяйстве и их охраны. Большое внимание уделяется изучению ОВ и БЭ в водных экосистемах как важнейших элементов экологической характеристики.

В союнии излагаются результаты многолетних исследований режима, сезонной динамики, деградации, компонентного состава и круговорота ОВ и БЭ в различных по трофии и антропогенному воздействию водоемах Европейского Севера.

На примере 17 различных водных объектов изучен групповой состав гуминовых веществ: истинно растворенные ОВ, гуминовые и фульвокислоты. Приведены данные по содержанию органической серы в природных водах, которые дают представление о фоновом содержании ее в незагрязненных водоемах.

Дается характеристика ОВ и БЭ в воде и донных отложениях крупных олиго- и мезотрофных водоемов Карелии: Онежском

оз., Сямозере, Выгозере, озерах Куйто. В последних изучены лабильные ОБ: аминокислоты, углеводы и липиды. Показана их пространственно-временная изменчивость в зависимости от различных условий формирования вод, а том числе от природных и антропогенного факторов. Определены изменения в режиме малых водотоков под действием сельскохозяйственной мелководии, зависимость их выноса от водности года. Представлены материалы по содержанию ОБ и БВ в подземных водах Карелии.

Ряд работ посвящен изучению деградации ОБ, влияния фитопланктона, высшей водной растительности и донных отложений на состав ОБ и БВ в водоемах северных широт. Дается описание фотохимического метода определения в воде  $\text{O}_2$  в системе непрерывного газового потока.

Сборник представляет интерес для гидрохимиков, гидробиологов, ихтиологов, токсикологов и для специалистов в области охраны и использования водных ресурсов.

## СОСТАВ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД КАРЕЛИИ

В Карелии широко распространены гумусные воды. По нашим предварительным подсчетам, до 35% ее территории занято среднегумусными водами (перманганатная окисляемость 10–20 мгО/л) и около 20% высоко- и очень высокогумусными (перманганатная окисляемость 20–50 мгО/л и более). Обуславливается это большой заболоченностью территории (средняя 30%) и процессами подзолообразования в кислых почвах, способствующими вымыванию гумусовых веществ из растительных остатков и почв в водоемы.

Влияние гумусовых веществ на качество вод изучено слабо. Известно, что они находятся в воде главным образом в коллоидном состоянии, со временем частично выпадают из раствора [1], способны к образованию органо-минеральных комплексов, окрашивают воду в желтый и коричневый цвет, а цветность воды, как известно, является одним из показателей качества питьевой воды, нормируемых ГОСТом. Гумусовые вещества хорошо окисляются перманганатом, но трудно поддаются микробальному разложению [4]. Однако при высоком содержании гумусовых веществ на их медленное окисление расходуется значительное количество кислорода, что неблагоприятно сказывается на газовом режиме водоемов [1].

Уже этот небольшой перечень свойств гумусовых веществ и наличие значительного количества гумусных вод в Карелии побудили провести исследования группового состава гумусовых веществ по опубликованным методикам [1, 2, 5]. Метод, изложенный в этих работах, дает приближенные результаты, однако они представляют научный интерес и имеют, как указывает Ю.К. Дурье [5], практическое значение для водопроводных станций, на

которых применяется очистка сточных вод методом коагуляции.

Органические вещества (ОВ) разделяли на 3 фракции: 1) группу гуминовых кислот, которую, по данным П.И. Воронкова и С.К. Соколовой [1, 2], в гумусных водах Карельского перешейка представляет ульминовая кислота (соответственно гуминовая кислота в них отсутствует); 2) группу фульвокислот (кремовая и апокреновая кислоты); 3) истинно растворенных ОВ. В последнюю группу входят часть находящихся в истинном растворе гуминокислот и все другие ОР (белки, аминокислоты, углеводы, сахара и т.д.).

Значительная группа, часть состава гуминовых веществ выделены в группу Вендлерско-Вохтозерской группы озер и рек из Вендлерского бассейна рек Юны и Итца, летом - в водосборном бассейне Юны и из нижних участков (по одному бассейну) в течение года бассейнов (осень, зима, весна) рек Приладожьи, Лангана, Меланга, Т-

Вод. Водосборным бассейном охватывая в своем составе водосборными бассейнами Юны, Юны и Итца, летом - в водосборном бассейне Вендлерско-Вохтозерской группы озер и рек Юны и Итца, летом - в водосборном бассейне Юны и из нижних участков (по одному бассейну) в течение года бассейнов (осень, зима, весна) рек Приладожьи, Лангана, Меланга, Т-

Вод. Водосборным бассейном охватывая в своем составе водосборными бассейнами Юны, Юны и Итца, летом - в водосборном бассейне Вендлерско-Вохтозерской группы озер и рек Юны и Итца, летом - в водосборном бассейне Юны и из нижних участков (по одному бассейну) в течение года бассейнов (осень, зима, весна) рек Приладожьи, Лангана, Меланга, Т-

Σ и, мг/л	Исходные данные *				Группа гуминовых кислот				Группа фульвокислот				Группа истинно рас- творенных ОЗ						
	Сумма после разде- ния				ЦВ	% от суммы	ПО	% от суммы	БО	% от суммы	ЦВ	% от суммы	ЛО	% от суммы	ЦВ	% от суммы	ЛО	% от суммы	
	ЦВ, град.	ПО, мг/л	БО, мг/л	Σ, мг/л															
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13						
14,5	8*	2,8	8,7		3	0,4	0,9	7	0,5	2,3	2	1,8	4,0						
	12	2,7	7,2		25	15	13	58	16	32	17	67	55						
25,6	30	6,5	12,7		4	0,6	1,8	19	2,9	4,5	4	2,4	5,6						
	27	5,9	12,0		15	10	15	70	50	38	15	40	47						
20,3	55	10,0	17,9		7	1,0	1,6	26	5,1	7,7	7	3,7	8,6						
	40	9,7	17,9		17	10	9	65	52	43	18	38	48						
43,2	230	41,3	59,2		36	2,0	3,1	160	23,4	-	20	9,5	-						
	216	35,0	56,9		17	6	5	74	67		9	27							



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1950-1951											

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

1950-1951

22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33

1950-1951

34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45

46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69

70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81

Характеристика фазной гуминовой веществ воды озер и рек Саратовской  
обл. в июне и июле в летний период (июль)

$\Sigma$ и, мг/л	Результаты анализа				Группа гуминовых веществ				Группа фульвокислот				Сумма органико веществ (вс)			
	Взвешивание		Иррадиация		Иррадиация		Иррадиация		Иррадиация		Иррадиация		Иррадиация		Иррадиация	
	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.	Взв.	Ирра.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																

1. ЯСОНЕЦЬ Г.СЛЫ

оз. Койкиновское

11,8	$\frac{20}{69}$	$\frac{9,2}{13}$	$\frac{16,8}{13,6}$	$\frac{1,1}{13}$	$\frac{1,4}{8}$	$\frac{42}{61}$	$\frac{4,8}{56}$	$\frac{9,6}{53}$	$\frac{12}{13}$	$\frac{2,7}{31}$	$\frac{1,9}{10}$
------	-----------------	------------------	---------------------	------------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	-----------------	------------------	------------------

оз. Гимольское

13,7	$\frac{50}{61}$	$\frac{9,4}{8,5}$	$\frac{17,7}{-}$	$\frac{1,1}{13}$	$\frac{4,4}{-}$	$\frac{26}{43}$	$\frac{4,0}{46}$	$\frac{20}{43}$	$\frac{3,5}{41}$	$\frac{2,9}{41}$
------	-----------------	-------------------	------------------	------------------	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	------------------	------------------

оз. Кудомлубское

11,3	$\frac{65}{64}$	$\frac{9,4}{9,2}$	$\frac{20,2}{22,9}$	$\frac{1,7}{18}$	$\frac{4,4}{20}$	$\frac{47}{73}$	$\frac{5,4}{59}$	$\frac{12,6}{57}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{2,1}{23}$	$\frac{1,2}{34}$
------	-----------------	-------------------	---------------------	------------------	------------------	-----------------	------------------	-------------------	---------------	------------------	------------------

<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>
от нуля												
9,0	$\frac{75}{78}$	$\frac{10,1}{8,6}$	$\frac{22,0}{19,1}$	$\frac{22}{29}$	$\frac{1,3}{15}$	$\frac{2,12}{10}$	$\frac{22}{60}$	$\frac{5,6}{40}$	$\frac{10,6}{51}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{2,3}{27}$	$\frac{6,6}{36}$
от Ронгозеро												
12,9	$\frac{50}{56}$	$\frac{7,9}{7,9}$	$\frac{19,4}{18,7}$	$\frac{11}{19}$	$\frac{1,0}{13}$	$\frac{2,12}{12}$	$\frac{12}{78}$	$\frac{1,6}{64}$	$\frac{15,1}{15}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1,6}{23}$	$\frac{6,1}{33}$
от Алабуги												
10,2	$\frac{70}{69}$	$\frac{6,9}{8,6}$	$\frac{19,3}{21,6}$	$\frac{18}{26}$	$\frac{1,1}{13}$	$\frac{2,8}{13}$	$\frac{12}{71}$	$\frac{1,6}{65}$	$\frac{11,1}{37}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1,2}{22}$	$\frac{1,1}{20}$
от Ронгозера												
12,3	$\frac{60}{-}$	$\frac{9,1}{9,9}$	$\frac{18,6}{19,9}$	$\frac{12}{-}$	$\frac{2,2}{23}$	$\frac{3,12}{17}$		$\frac{1,1}{61}$	$\frac{11,1}{67}$		$\frac{1,6}{16}$	$\frac{1,2}{21}$
от Алабуги												
21,1	$\frac{74}{82}$	$\frac{13,9}{12,0}$	$\frac{27,8}{26,8}$	$\frac{12}{15}$	$\frac{1,3}{10}$	$\frac{2,8}{13}$	$\frac{11}{91}$	$\frac{1,6}{40}$	$\frac{12,1}{13}$	$\frac{2}{11}$	$\frac{3,7}{30}$	$\frac{1,19}{41}$

П. Ронгозеро

от Алабуги

14,3	$\frac{90}{93}$	$\frac{22,6}{11,3}$	$\frac{24,8}{23,4}$	$\frac{26}{30}$	$\frac{1,8}{16}$	$\frac{2,8}{12}$	$\frac{61}{66}$	$\frac{7,3}{65}$	$\frac{12,6}{51}$	$\frac{4}{1}$	$\frac{2,2}{10}$	$\frac{24,7}{10}$
Северный приток оз. Ветарус												
8,8	$\frac{210}{230}$	$\frac{23,9}{21,1}$	$\frac{-}{41,2}$	$\frac{66}{36}$	$\frac{3,3}{16}$	$\frac{7,5}{17}$	$\frac{140}{60}$	$\frac{14,7}{70}$	$\frac{25,2}{50}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{2,4}{11}$	$\frac{25,4}{11}$
оз. Саломьярви												
9,8	$\frac{110}{-}$	$\frac{11,7}{10,5}$	$\frac{-}{31,3}$	-	$\frac{1,0}{9}$	$\frac{2,9}{9}$	-	$\frac{6,5}{62}$	$\frac{19,6}{64}$		$\frac{8,4}{10}$	$\frac{19,6}{10}$
оз. Ушесзеро												
45,5	$\frac{14}{-}$	$\frac{4,7}{4,7}$	$\frac{-}{14,3}$	-	$\frac{0,4}{8}$	$\frac{0,6}{4}$	-	$\frac{2,8}{60}$	$\frac{7,2}{60}$		$\frac{1,5}{60}$	$\frac{6,9}{60}$

Таблица 3

Характеристика фракций гуминовых веществ почвы в районе территории Грога  
северо-восточного Прииртышья в районе территории Грога

Месяц	Исходные данные														Группа гуминовых				Группа фульво-				Группа истинно																	
	Сумма после разделения														кислот				кислот				растворенных ОВ																	
	Сумма	ЦВ	ПО	БО	ИТОГ	ЦВ	ПО	БО	ИТОГ	ЦВ	ПО	БО	ИТОГ	ЦВ	ПО	БО	ИТОГ	Сумма	ЦВ	ПО	БО	ИТОГ	Сумма	ЦВ	ПО	БО	ИТОГ													
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28												
Февраль	31,4	200	23,5	46,2	42	4,0	2,3	150	19,2	26,9	4	2,6	8,2	18	196	21,8	44,4	21	18	21	77	70	61	2	12	16	10,9	30												
	14,5	160	17,8	37,4	35	2,7	2,6	100	2,3	15,1	10	4,3	26	4,3	14,5	16,3	36,6	23	17	16	70	67	62	7	26	4,3	10,9	30												
		150	16,3	36,6	23	17	16																																	
Май																																								
Ноябрь	19,8	75	13,8	31,0	14	1,2	2,6	60	2,1	10,4	4	2,2	7,2	19	74	11,5	26,4	19	11	11	33	30	27	5	19	27	4,3	10,9	30											
	29,0	100	16,4	31,9	14	1,8	5,4	75	4,0	14,2	4	3,0	7,4	23	29,0	16,4	31,9	14	1,8	5,4	75	4,0	14,2	4	3,0	7,4	23	29,0	16,4	31,9	14	1,8	5,4	75	4,0	14,2	4	3,0	7,4	23
		93	15,3	32,6	15	12	16																																	
Февраль																																								

Р. Базарши, к. с. н.

р.Видица, у пос.Видица (нижний устье)

Октябрь	20,9	$\frac{150}{169}$	$\frac{26,2}{23,0}$	$\frac{50,0}{44,3}$	$\frac{30}{18}$	$\frac{3,5}{15}$	$\frac{6,4}{14}$	$\frac{130}{77}$	$\frac{13,6}{72}$	$\frac{30,8}{70}$	$\frac{9}{5}$	$\frac{3,0}{13}$	$\frac{7,1}{16}$
	30,0	$\frac{101}{93}$	$\frac{17,3}{14,9}$	$\frac{34,7}{35,8}$	$\frac{20}{22}$	$\frac{2,2}{15}$	$\frac{7,4}{21}$	$\frac{70}{75}$	$\frac{10,0}{71}$	$\frac{21,5}{60}$	$\frac{3}{3}$	$\frac{2,1}{14}$	$\frac{9,9}{19}$
Май	17,3	-	$\frac{-}{15,4}$	$\frac{-}{29,8}$	не	$\frac{1,9}{12}$	$\frac{4,2}{14}$	$\frac{85}{-}$	$\frac{9,2}{60}$	$\frac{17,6}{59}$	$\frac{7}{-}$	$\frac{4,3}{28}$	$\frac{8,0}{27}$

р.Тулема, исток

Ноябрь	18,2	$\frac{120}{103}$	$\frac{28,1}{25,7}$	$\frac{50,5}{44,3}$	$\frac{32}{31}$	$\frac{2,9}{11}$	$\frac{5,0}{11}$	$\frac{65}{63}$	$\frac{19,8}{77}$	$\frac{32,3}{72}$	$\frac{6}{6}$	$\frac{3,0}{12}$	$\frac{7,4}{17}$
	27,7	$\frac{190}{178}$	$\frac{35,8}{-}$	$\frac{45,3}{43,5}$	$\frac{34}{19}$	$\frac{2,6}{-}$	$\frac{6,2}{14}$	$\frac{140}{79}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{28,6}{66}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{3,0}{-}$	$\frac{8,7}{20}$

р.Тулема, у пос.Салми

Ноябрь	13,1	$\frac{210}{242}$	$\frac{32,0}{28,6}$	$\frac{54,2}{50,3}$	$\frac{46}{19}$	$\frac{3,8}{13}$	$\frac{5,9}{12}$	$\frac{190}{79}$	$\frac{22,0}{77}$	$\frac{37,0}{73}$	$\frac{6}{2}$	$\frac{2,8}{10}$	$\frac{7,4}{15}$
	21,7	$\frac{170}{173}$	$\frac{22,9}{21,5}$	$\frac{47,8}{45,0}$	$\frac{35}{20}$	$\frac{3,0}{14}$	$\frac{6,2}{14}$	$\frac{135}{78}$	$\frac{16,1}{75}$	$\frac{31,8}{71}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{2,4}{11}$	$\frac{7,0}{15}$
Май	12,6	$\frac{140}{-}$	$\frac{12,7}{17,8}$	$\frac{35,1}{34,2}$	-	$\frac{2,2}{12}$	$\frac{5,0}{15}$	-	$\frac{11,4}{64}$	$\frac{19,7}{57}$	$\frac{10,0}{-}$	$\frac{4,2}{24}$	$\frac{9,5}{28}$

гумусных притоков 65-74, в воде озер верховьев бассейнов рр. Оуны и Ету 41-53%.

Приведенные косвенные показатели содержания  $\text{O}_2$  подтверждают их гумусную природу. Они устойчивы к окислительно-восстановительным процессам. Это весьма убедительно доказывают данные пятилетнего по потреблению кислорода ( $\text{BPK}_5$ ), отражающие наиболее лабильную часть  $\text{O}_2$  в воде. Так, полученные экспериментальным путем величины  $\text{BPK}_5$  в воде озер бассейнов рек Оуны и Ету летом составляли 0,46-1,13  $\text{mgO}_2/\text{л}$ , или 1,0 - 8,1% от полной потребности в кислороде на окисление всех органических веществ, определяемой охроматным методом. В цветных водах Вендзерско-Вохтозерской группы озер и рек окислительно-восстановительная часть (по  $\text{BPK}_5$ ) была в пределах 2-8%, то же и в воде рек Приладожья.

Как исключение исследованы 3 водных объекта с малогумусной водой ( $\text{pH}$  8-9 град.): оз. Уросозеро - ультраолиготрофное, зимой и весной ацидное, очень маломинерализованное; оз. Вендзерское - олиго-мезотрофное, маломинерализованное и оз. Укшозеро - олиго-мезотрофное с минерализацией воды 45-50  $\text{mg}/\text{л}$ . Органическое вещество этих озер характеризуется низким коэффициентом цветности по перманганатной окисляемости (3-5), более высокой долей, чем в обогащенных гумусом водах, лабильной части  $\text{O}_2$  ( $\text{BPK}_5$ , например, в воде оз. Уросозеро до 16% от  $\text{O}_2$ ), меньшей способностью окисляться перманганатом. Отличительной чертой данных малогумусных озер является высокий процент группы веществ, находящихся в воде в истинном растворе: 46-53% по охроматной окисляемости. Группа гуминовых кислот составляет 13-15% (на уровне средне- и высокогумусных вод), а фульвокислот в коллоидном состоянии - 32-38%, т.е. их больше, чем в высокоцветных водах (см. табл.1.).

В воде оз. Укшозеро, которое в отличие от предыдущих двух исследовалось не весной, а летом, на группу гуминовых кислот приходилось лишь 4% от всего  $\text{O}_2$ , а на фульвокислоты - 56%. Здесь фульвокислоты и истинно растворенные  $\text{O}_2$  представлены весьма близкими концентрациями (см. табл.2).

Из среднегумусных озер в воде оз. Ридозеро (олиго-мезотрофное) наибольший процент от общего  $\text{O}_2$  составляет группа истинно растворенных веществ. В остальных средне- и высокогумусных водах исследованных озер и рек преобладает группа фульво-

кислот. Они составляют 46-77% от общего содержания ОВ. Так, в озерах верхних участков бассейнов рек Суны и Шуги, исследованных в летний период, доля фульвокислот в воде колеблется от 53 до 67% (средняя 58%). В озерах нижних участков тех же бассейнов (оз.Палье и исследованные весной среднегумусные озера Венгурско-Вохтозерской группы) на долю фульвокислот приходится 46-49% (в среднем 47%) суммарного ОВ. Только в высокогумусных притоках (НБ 215-230 град., по 30-35 мгО/л) она равна 57-67%. В реках северо-восточного Приладожья группа фульвокислот в воде составляет 52-73% (в среднем 64%). Наименьший процент группы фульвокислот наблюдается в осенний период, когда дождевые воды вымывают данные кислоты из почвы болот и выносят в реки, и наименьший - в весеннее половодье (табл.3), когда талые воды лишь смывает ОВ с поверхности лесных и болотных почв. В озерных водах процент группы фульвокислот ниже по сравнению с речными водами. На это указывают также Н.Н.Воронков и О.К.Соколова [2], объясняя данное явление частичным выпадением из озерной воды соединений группы ульминовых и фульвокислот.

Следует отметить, что наши данные по содержанию в гумусных водах группы фульвокислот весьма близки к данным, приведенным для гумусных вод Карельского перешейка [1, 2] и Эстонии [3]. Так, в воде ручьев Болотный и Баяцкий (Карельский перешеек) сезонные колебания в группе фульвокислот по бихроматной окисляемости составляет 63 - 76%, а в воде оз.Красавина - 41-64, в среднем за год - 53%.

В подавляющем большинстве процент группы фульвокислот, рассчитанный по бихроматной окисляемости, очень близок к рассчитанному по перманганатной окисляемости, но все же в первом случае он немного ниже, чем во втором. Это подтверждают и средние величины: по бихроматной окисляемости он составляет 58%, по перманганатной - 63%. По цветности он более высокий (табл.1-3).

Второе место в воде исследованных средне- и высокогумусных озер и рек занимает группа органических веществ, находящихся в воде в истинном растворе. По величине бихроматной окисляемости в эту группу входит в озерных водах от 31 до 41% от общего содержания ОВ, в речных меньше - от 15 до



гумусных притоков 65-74, в воде озер верховьев бассейнов рек Суны и Едуги 41-53%.

Приведенные косвенные показатели содержания ОП подтверждают их гумусную природу. Они устойчивы к биохимическому окислению. Это весьма убедительно доказывают данные биохимического потребления кислорода ( $BPK_5$ ), отражающие наиболее лабильную часть ОП в воде. Так, полученные экспериментальным путем величины  $BPK_5$  в воде озер бассейнов рек Суны и Едуги летом составляли 0,46-1,13 мг  $O_2$ /л, или 1,0 - 8,1% от полной потребности в кислороде на окисление всех органических веществ, определяемой биохроматным методом. В цветных водах Вендзерско-Вохтозерской группы озер и рек биохимически неустойчивая часть (по  $BPK_5$ ) была в пределах 2-8%, то же и в воде рек Припадокья.

Как исключение исследованы 3 водных объекта с малогумусной водой (tB 8-30 град.): оз. Уросозеро - ультраолиготрофное, зимой и весной ацидное, очень маломинерализованное; оз. Вендзерское - олиго-мезотрофное, маломинерализованное и оз. Укшозеро - олиго-мезотрофное с минерализацией воды 45-50 мг/л. Органическое вещество этих озер характеризуется низким коэффициентом цветности по перманганатной окисляемости (3-5), более высокой долей, чем в обогащенных гумусом водах, лабильной части ОП ( $BPK_5$ , например, в воде оз. Уросозеро до 16% от ОП), меньшей способностью окисляться перманганатом. Отличительной чертой данных малогумусных озер является высокий процент группы веществ, находящихся в воде в истинном растворе: 46-51% по биохроматной окисляемости. Группа гуминовых кислот составляет 13-15% (на уровне средне- и высокогумусных вод), а фульвокислот в коллоидном состоянии - 32-38%, т.е. их больше, чем в высокоцветных водах (см. табл.1).

В воде оз. Укшозеро, которое в отличие от предыдущих двух исследовалось не весной, а летом, на группу гуминовых кислот приходилось лишь 4% от всего ОП, а на фульвокислоты - 50%. Здесь фульвокислоты и истинно растворенные ОП представлены весьма близкими концентрациями (см. табл.2).

Из среднегумусных озер в воде оз. Ридозеро (олиго-мезотрофное) наибольший процент от общего ОП составляет группа истинно растворенных веществ. В остальных средне- и высокогумусных водах исследованных озер и рек преобладает группа фульво-

кислот. Они составляют 46-77% от общего содержания ОВ. Так, в озерах верхних участков бассейнов рек Суны и Шун, исследованных в летний период, доля фульвокислот в воде колеблется от 53 до 67% (средняя 58%). В озерах нижних участков тех же бассейнов (оз. Малые и исследованные весной среднегумусные озера Венцурско-Вохтозерской группы) на долю фульвокислот приходится 46-49% (в среднем 47%) суммарного ОВ. Только в высокогумусных притоках (НВ 215-230 град., ПО 30-35 мгО/л) она равна 57-67%. В реках северо-восточного Приладожья группа фульвокислот в воде составляет 52-73% (в среднем 64%). Наибольший процент группы фульвокислот наблюдается в осенний период, когда дождевые воды вымывают данные кислоты из почвы болот и выносят в реки, и наименьший - в весеннее половодье (табл.3), когда талые воды лишь смывают ОВ с поверхности лесных и болотных почв. В озерных водах процент группы фульвокислот ниже по сравнению с речными водами. На это указывают также П.П.Воронков и О.К.Соколова [2], объясняя данное явление частичным выпадением из озерной воды соединений групп ульминовых и фульвокислот.

Следует отметить, что наши данные по содержанию в гумусных водах группы фульвокислот весьма близки к данным, приводимым для гумусных вод Карельского перешейка [1, 2] и Эстонии [3]. Так, в воде ручьев Болотный и Зяцкий (Карельский перешеек) сезонные колебания в группе фульвокислот по бихроматной окисляемости составляет 63 - 76%, а в воде оз. Красавица - 41-64, в среднем за год - 53%.

В подавляющем большинстве процент группы фульвокислот, рассчитанный по бихроматной окисляемости, очень близок к рассчитанному по перманганатной окисляемости, но все же в первом случае он немного ниже, чем во втором. Это подтверждают и средние величины: по бихроматной окисляемости он составляет 58%, по перманганатной - 63%. По цветности он более высокий (табл.1-3).

Второе место в воде исследованных средне- и высокогумусных озер и рек занимает группа органических веществ, находящихся в воде в истинном растворе. По величине бихроматной окисляемости в эту группу входит в озерных водах от 11 до 41% от общего содержания ОВ, в речных меньше - от 15 до

28%, в среднем для всех исследованных гумусных вод - 29,3%.

Из трех исследованных сезонов (осень, зима, весна) наибольшая концентрация истинно растворенных органических веществ в реках Приладожья приходится на весенний период. В это время наблюдается снижение общего содержания ОБ и, как уже указывалось, группы фульвокислот в коллоидном состоянии. Соответственно соотношение между группами изменяется в пользу истинно растворенных веществ. Кроме того, заметно возрастают абсолютные величины опхроматной окисляемости группы истинно растворенных ОБ, т.е. ОБ в воду рек попадает с водосбора. Новидному, сравнительно высокие концентрации истинно растворенных ОБ в высокоцветных водах притокков Вендзирско-Вохтозерских озер также можно объяснить тем, что они исследовались в весенний период, когда в них больше поступает с водосбора ОБ в истинном растворе. В озерных водах, исследованных летом, сравнительно высокий процент истинно растворенных ОБ объясняется процессами новообразования ОБ за счет фотосинтеза фитопланктона и его последующего разложения. Однако однородные исследования интенсивности фотосинтеза, проводимые одновременно с отбором проб для разделения на фракции в ряде озер, показали невысокие его значения: в среднем 0,03-0,13 мг/л в сутки, максимум до 0,43.

Наименьшая доля в составе ОБ исследованных озер и рек приходится на группу гуминовых кислот. В воде средне- и высокогумусных озер и рек Вендзирско-Вохтозерской группы она составляет по опхроматной окисляемости 5-16% (в среднем 11%), в озерах верхних участков бассейнов рек Суны и Луны 6-30% (в среднем 13%), в воде рек Приладожья 11-31% (в среднем 16%) от общего содержания ОБ. Средний процент для вод всех исследованных объектов равен 13,1. Зависимости концентрации группы гуминовых кислот от общего содержания ОБ и цветности воды установить не удалось. Их количество в какой-то мере связано с сезонами года. Так, в воде рек Приладожья зимой заметно возрастает абсолютное и относительное содержание группы гуминовых кислот (табл.3), а осенью оно наиболее низкое. В исходной воде зимой были наиболее высокие коэффициенты цветности по перманганатной окисляемости, осенью, наоборот, они были наиболее низкими. На других объектах сезонные исследования

группового состава ОБ не проводились.

Как пределы колебаний, так и средние относительные величины содержания группы гуминовых кислот в исследованных водах Карелии весьма близки к таковым вод Карельского перешейка [1, 2]. Так, в воде ручья Батный они в среднем составляют 15%, ручья Колотного-III) и оз. Арасавица - 13% от суммы ОБ, колебания в пределах 4-20%.

По усредненным данным, в исследованных средне- и высокогуминовых водах Карелии гуминовые кислоты, фульвокислоты и истинно растворенные ОБ содержатся в соотношениях 13,1 : 57,6 : 29,3 или 1 : 4,4 : 2,2.

Как и в группе фульвокислот, относительное содержание группы гуминовых кислот, рассчитанное по перманганатной окисляемости, как принято, довольно близко к данным, вычисленным по окроматной окисляемости (табл. 1-3). Результаты, полученные по цветности, в группе и гуминовых кислот, и фульвокислот значительно более высокие, чем по первым двум показателям, что определяется большей окисляемостью этих групп органических веществ, особенно по сравнению с группой истинно растворенных ОБ, относительное содержание которой, рассчитанное по цветности, крайне мало.

Весьма показательны в этом плане расчеты коэффициентов цветности по ПО и БО ( $\frac{Ш}{ПО}$  и  $\frac{ДБ}{БО}$ ) и процента окисления ОБ перманганатом от его общего содержания ( $\frac{ПО}{БО}$ , %) по группам. Наиболее высокие коэффициенты цветности по перманганатной и биокроматной окисляемости в группе гуминовых кислот. Так, в водах рек и озер Вендзерско-Вохтозерской группы коэффициент цветности по ПО в этой группе ОБ в среднем составляет 9,7, озер бассейнов рек Суны и Шуи - 13,6, в речных водах Приладожья - 11,5, средняя величина для всех исследованных водных объектов - 11,5. Коэффициент цветности по ПО в группе фульвокислот в воде этих объектов составляет в среднем 7,9, колеблясь от 7,5 в озерах верхнего участка бассейнов рек Суны и Шуи до 8,3 в озерах и реках Вендзерско-Вохтозерской группы.

Очень низкие коэффициенты цветности в группе истинно растворенных ОБ. Величины коэффициента цветности по ПО колеблются от 0,9 до 5,7, средняя 2,0. В речных водах Приладожья они

наиболее низкие - 1,2-1,5.

Коэффициенты цветности по бихроматной окисляемости по сравнению с таковыми по перманганатной в группе гуминовых кислот в среднем за весь период наблюдений меньше в 2,1 раза, а в весенних пробах в 2,2-2,4 раза; в группе фульвокислот весной в 2, летом в 1,7, в среднем в 1,9 раза; в группе истинно растворенных ОР меньше в 3,3 раза в летних и зимних пробах и в 2,0-2,3 раза в весенних, в среднем в 2,6 раза.

Окисление перманганатом ОР разных групп также различно. По осредненным данным, перманганатом окисляется в группе гуминовых кислот 50,7% ОР, в группе фульвокислот - 52,6 и в группе истинно растворенных - 40,9%. Однако по сезонам года наблюдаются значительные отклонения от средних. Так, в весенних пробах воды Зендурско-Вохтозерской группы озер во фракциях гуминовых кислот и фульвокислот окисляется перманганатом до 60% ОР; во фракции истинно растворенных - 50%. До 44-46% окисляется им в последней фракции ОР в весенних пробах воды в реках Приладожья. В летних пробах (озера бас. рек Суны и Шуи) в группе гуминовых кислот перманганатом окисляется в среднем 51% ОР, в группе фульвокислот - 48%, а в группе истинно растворенных - 34% (колебания от 23 до 42%). Примерно 34% ОР окисляется им в этой группе зимой в водоемах рек Приладожья.

Приведенные данные по соотношениям цветности к окисляемости и процентам окисления ОР перманганатом свидетельствуют о сезонных различиях в составе ОР в воде. Весенние пробы лучше окисляются перманганатом во всех фракциях ОР. В группе истинно растворенных органических веществ весной, по-видимому, преобладают фульвокислоты, приносимые с водосбора. Летом в связи с активизацией процессов фотосинтеза и отмиранием фитопланктона в истинном растворе увеличивается количество белковых веществ, аминокислот, углеводов и других ОР, труднокисляемых перманганатом, и поэтому процент  $\frac{40}{50}$  заметно снижается.

Зимой также в истинном растворе, по-видимому, преобладают продукты деградации сложных ОР, легкоокисляемые биохимически и более устойчивые к окислению перманганатом.

Изложенная работа дает лишь общее представление о со-

составе гумусовых веществ в водах Карелии и некоторых особенностях выделенных групп. Работы в этом направлении нужно продолжить, особенно по сезонам, используя разнообразные методики по количественному определению содержания различных групп ОВ. Необходимо исследовать поведение и свойства этих веществ, их элементный состав, органо-минеральные комплексы, связи их с другими органическими веществами и ряд других вопросов.

#### Литература

1. Воронков П. П., Соколова О. К. Гумусовые вещества поверхностных вод Карельского перешейка. - Вопр. гидрохимии. Л., 1950, вып. 25(79), с. 40-58.
2. Воронков П. П., Соколова О. К. Сезонные изменения состава гумусовых веществ в водах Карельского перешейка. - Вопр. гидрохимии. Л., 1951, вып. 33(87), с. 146-167.
3. С и м м Х. А. Изучение формирования химического состава поверхностных вод Эстонии в свете современных гидробиологических задач: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Тарту, 1971. 54 с.
4. Скопичев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). - Тр. Гос. океанограф. ин-та. 1950, вып. 17(29). 290 с.
5. У н и ф и ц и р о в а н н ы е методы анализа вод. М., 1971. 375 с.

Н. Н. Мартынов

#### СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ КРУПНЫХ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ

Химический состав поверхностных вод Карелии формируется в результате взаимодействия большого комплекса биохимических и физических процессов, протекающих как в самом во-

доеме, так и на его водосборе. Множественность определяющих факторов порождает разнообразие поверхностных вод по содержанию и качественной характеристике органических веществ [4].

До настоящего времени о его количестве и сезонных изменениях в поверхностных водах Карелии суждения по данным перманганатной (ПО) и бихроматной (БО) окисляемости, цветности (ЦВ), а для ориентировочной оценки качественного состава используют величины соотношений между ними.

Наиболее точным способом учета растворенного и взвешенного в воде органического вещества является определение органического углерода ( $C_{org}$ ), который составляет 60-80% [10]. Однако степень изученности его недостаточна. Большинство исследований носит эпизодический характер и не дает полного представления о содержании и динамике  $C_{org}$  в природных водах.

Первые исследования органического углерода в водах Карелии были проведены на нескольких станциях (Онежского оз. в июне 1968 г. [17]). Его содержание составило около 3 мг/л. Цветность воды колебалась в пределах 20-25 град. платиновой шкалы. Величина перманганатной окисляемости - 3,7-4,6, а бихроматной - 13,9-15,4 мгО/л.

В настоящей статье приводятся результаты исследования распределения  $C_{org}$  в воде Онежского оз., Онежского и озер Куитто (Верхнее, Среднее и Нижнее). Физико-географическая, гидробиологическая и гидрохимическая характеристики данных водоемов имеются в ряде публикаций [3, 4, 6, 8, 12, 14, 16].

Химические анализы проб воды выполнены по общепринятым в гидрохимической практике методам [1]. Содержание органического углерода определяли в воде озер Онежское и Онежского оз. в 2-3 параллельных пробах (в таблицах приведены средние значения) методом "сухого" сжигания в полуминутной системе [11].

Пробах воды, отобранных на озерах Куитто,  $C_{org}$  был определен методом фотохимического окисления [7].

Содержание ОЗ в воде изученных водоемов различно (табл. 1). Наибольшие его концентрации (7-9 мгО/л) обнаружены в Онежском оз. и озерах Куитто, более высокие - в оз. Онежского оз. (9-17). Такая же закономерность наблюдается и в отношении перманганатной и бихроматной окисляемости. Менее окислены воды Онежского оз. Цветность его воды в среднем составляет 30 град.,

Отдельные показатели содержания органического вещества  
в воде крупных водоемов Карелии

Озеро	С <sub>орг.</sub> , мг/л	ПО		ВО	ПО, % ВО	СО, град.	ПО С <sub>орг.</sub>	ПО С <sub>орг.</sub>
		мг/л						
Онежское	$\frac{7,1-8,6}{7,7}$	$\frac{7,5-11,8}{8,6}$	$\frac{17,4-18,1}{18,0}$		$\frac{46-61}{47}$	$\frac{20-30}{50}$	$\frac{1,0-1,2}{1,1}$	$\frac{2,1-2,3}{2,3}$
	$\frac{9,2-10,7}{10,1}$	$\frac{10,7-21,1}{12,4}$	$\frac{23,4-39,7}{30,5}$		$\frac{46-61}{52}$	$\frac{35-140}{60}$	$\frac{1,1-1,3}{1,2}$	$\frac{2,3-2,5}{2,4}$
Сямозеро	$\frac{7,6-8,1}{7,7}$	$\frac{8,4-10,1}{8,7}$	$\frac{18,7-18,1}{17,5}$		$\frac{49-55}{50}$	$\frac{40-50}{45}$	$\frac{1,2-1,2}{1,2}$	$\frac{2,2-2,4}{2,3}$
Куйто								

Примечание. Числитель — пределы колебаний; знаменатель — средние значения.

Хотя в различных участках водоема она может отличаться в 1,5-2,5 раза от средней величины. Цветность воды озер Куйто в районе исследования (наименее глубоководный центральный участок, удаленный от заливов) изменялась мало и была около 50 град. Наиболее высокоокрашенными являются воды оз.Сямозера, цветность которых в течение года имела широкие пределы колебаний — от 30 до 100 град. и выше.

Для определения природы СВ используют отношения  $\frac{ПО}{С_{орг}}$ .

$\frac{ПО}{С_{орг}}$ ,  $\frac{ПО}{ВО}$ . Для органических веществ высокоокрашенных вод, содержащих СВ интенсивного происхождения, отношение  $\frac{ПО}{С_{орг}}$  меньше или равно 40%.

В высокоцветных водоемах эти показатели выше [15].



водоемах изменяются соответственно от 1,1 до 1,2 и от 36 до 64% (табл.1). Полученные значения косвенных показателей ОБ указывают на преобладание в воде озер органических веществ терригенного происхождения.

Важной характеристикой ОБ природных вод является кислородный эквивалент (КЭ), который определяется величиной отношения кислорода бихроматной окисляемости к органическому углероду ( $\frac{БО}{Сорг}$ ). Для ОБ углеводного типа КЭ равен 2,67 в рас-

чете на 1 мг углерода глюкозы. Величина КЭ в исследованных водах меньше, чем КЭ глюкозы, что характерно для речных вод весенне-паводочного периода [11]. На основании кислородного эквивалента рассчитывают степень окисленности (ОК) органического вещества. Эта характеристика дает представление о том, насколько ОБ является окисленным, и используется при оценке качества воды, изучения трансформации ОБ и его энергетического запаса [15, 16, 18]. Величина ОК в данных водоемах колебалась от +4 до +19. Более высоким значениям КЭ соответствовали пониженные величины окисленности, а более низким — повышенные. Это связано с различной долей лабильных соединений в составе органического вещества.

Рассмотрим более подробно горизонтальное и вертикальное распределение ОБ в исследованных водоемах (табл.2). Наименьшее количество  $C_{орг}$  определено в воде Повенецкого залива (5,1-7,7 мг/л) и в открытой части центрального Онега (6,2-7,3). Это обусловлено преобладанием автохтонных процессов над аллохтонными, в результате чего ОБ здесь планктоногенное, трудноокисляемое перманганатом. Это подтверждается невысокими величинами БО (5,2-8,2 мгО/л) и особенно низкими отношениями ее к органическому углероду (0,9-1,0) и к бихроматной окисляемости (36-42%). Для органического вещества этих участков озера отмечены более высокие значения кислородного эквивалента (2,22-2,48) и наименьшая степень окисленности (от +4 до +10).

Несколько выше содержание органического углерода в воде залива Большое Онего и южной части озера (7,0-8,2 мг/л).

Отдельные показатели содержания органического вещества в воде  
Онежского оз. (средние значения за июнь-октябрь 1977 г.)

Район исследования	С <sub>орг.</sub> мг/л	ПО		t <sub>в</sub> , град.	ПО		C <sub>орг.</sub>	C <sub>орг.</sub>
		мг/л	БО		БО	%		
Центральный шельф	6,7	7,4	15,2	22	45		1,0	2,22
Каналы	7,6	8,1	15,4	23	53		1,1	1,80
Залив Большой Онега	7,3	8,0	14,3	25	57		1,1	1,93
Залив Повеяющий	6,5	5,8	13,3	17	36		0,9	2,48
Котловожский губа	8,4	10,7	18,9	30	50		1,2	2,03
Пограничная губа	8,1	10,2	18,9	37	50		1,1	2,22
Восточное побережье	13,7	15,3	27,7	70	56		1,1	2,06
Р.Волга	20,0	24,0	40,4	110	60		1,2	2,00

В формировании состава ОВ заметную роль здесь играют аллохтонные процессы, т.е. преобладает поступление терригенного органического вещества, особенно в период "открытой" воды. Цветность воды этих районов (23-27 град.) близка к таковой центральной части озера, но выше, чем в Повенском заливе, где t<sub>в</sub> не превышает 20 град. Перманганатная окисляемость в среднем за период исследования составила 53-57% от оксиматной, а отношение ее к C<sub>орг</sub> колебалось от 1,0 до 1,1. Величина К<sub>О</sub> выше, чем в Повенском заливе, и соответственно выше степень окисленности ОВ, однако в период активного развития планктонных организмов последние показатели органического вещества снижа-

зывают на появление в составе СВ восстановленных соединений, и преобладание автохтонных процессов.

Еще более высокое содержание  $C_{орг}$  отмечается в воде Кондопожской (7,0–10,8 мг/л) и Петрозаводской (7,1–9,6) пгк. Цветность воды этих районов озера выше 40 град. Величина  $HO$  колеблется от 6,9 до 14,5 мг/л, и отношение ее к органическому углероду лежит в пределах 1,1–1,2, а к биокриотной окисляемости – 49–62%. Величина  $КО$  колеблется от 2,33 до 2,34, степень окисленности – от +9 до +24. Это указывает на то, что в воде присутствуют не только окисленные соединения, но и частично восстановленные, что связано с влиянием на химический состав воды Петрозаводской и Кондопожской пгк. течения речного стока, обогащающего воду окрашенными  $ОВ$ , отходов антропогенного происхождения [9, 10].

Наибольшее количество органических веществ поступает в Онежское оз. с воддами рек Шуи, Суны и Водны, с чем связаны высокие значения окисляемости (величина  $HO$  14–30,  $КО$  – 25–34 мг/л, отношение между ними составляет 60–65%) [3, 8]. определение  $C_{орг}$  было проведено в р.Водла. где его содержание составило 14,2–24,5 мг/л. Воды рек высокоокислительны (138–100 град. и более). На преобладание  $ОВ$  биогенного происхождения указывают отношение  $\frac{HO}{C_{орг}}$  – 1,2 и выше и величина кислородного эквивалента – 1,8–2,6.

На характер вертикального распределения органического вещества в воде Онежского оз. оказывают влияние гидрооболоточические факторы и гидрологический режим. Существенных различий в содержании СВ по глубине водоема не наблюдается (табл. 3). Подозная вертикальная однородность в составе воды отмечается и в Ладожском оз. [13]. Для обоих озер характерны несколько большие концентрации  $C_{орг}$ , а также  $HO$  и  $КО$  в верхнем слое воды (0–5 м), что, по-видимому, связано с развитием фито-, зоо- и бактериопланктона, наибольшая биомасса которых приходится именно на этот слой воды. Это подтверждается отношением  $\frac{HO}{C_{орг}}$ . В верхних слоях воды оно составляет 0,9–1,08, а в придонных повышается до 1,1–1,2. Величина кислородного эквивалента выше в поверхностном горизонте (2,1–2,5), и, как

Вертикальное распределение отдельных показателей  
содержания органического вещества в воде Онежского оз.  
(средние значения за исследуемый период 1977 г.)

Район исследова- ния	Гориз- онт, м	С <sub>орг</sub> мг/л	Н <sub>орг</sub> и N <sub>орг</sub>		Лв, град.	Н <sub>О</sub> %		Н <sub>О</sub> С <sub>орг</sub>	Н <sub>О</sub> С <sub>орг</sub>
			мгО/л			БС			
Централь- ный плес	0,5	7,1	7,4	15,1	31	49	1,1	2,11	
	5,0	7,3	7,8	14,3	22	53	1,1	1,97	
	Дно	7,0	7,4	13,9	21	53	1,0	1,96	
Петрозавод- ская губа	0,5	7,7	8,3	17,1	34	50	1,1	2,23	
	5,0	7,9	8,4	17,3	33	44	1,2	2,08	
	Дно	8,8	8,4	16,3	30	51	1,2	2,40	
Коджапож- ская губа	0,5	8,8	11,3	19,8	33	57	1,3	2,35	
	5,0	8,9	13,0	17,3	29	75	1,2	2,17	
	Дно	8,9	11,1	18,1	33	51	1,3	2,41	
Район впадения р. Водлы	0,5	14,3	17,3	33,1	31	37	1,1	2,39	
	Дно	13,8	15,4	29,3	38	57	1,1	2,45	

сметстве, степень окисляемости веществ в водном растворе, в.о. в составе ОБ преобладают высокоокисляемые соединения.

Распределение веществ по вертикали в исследуемом слое се озера достаточно однородно. В 1-м слое (0,5 м) отмечены повышенные антропогенное влияние для водного раствора ОБ, как правило, у поверхности воды.

Таблица 4

Отдельные показатели содержания органического  
вещества в воде оз. Онежского (средние значения  
за март-октябрь 1975 г.)

Район исследования	C <sub>орг</sub> мг/л	H <sub>О</sub> и H <sub>О</sub>		Лв. град.	H <sub>О</sub> %	H <sub>О</sub>		C <sub>О</sub>
		мгО/л				C <sub>орг</sub>		
Центральный плес	7,5	10,7	23,4	35	42	1,0	2,5	+4
Губа Чузна- волок	13,9	17,5	32,7	66	51	1,2	2,3	+12
Губа Лахта	16,7	21,1	39,7	126	54	1,3	2,3	+12

В центральной части оз.Сямозера количество  $C_{org}$  изменялось от 6,9 до 8,2, составляя в среднем 7,5 мг/л (табл.4). Вода большинства сямозерских губ по содержанию  $OB$  мало отличается от центрального плеса, поскольку они, особенно южные, довольно открыты и преобладающие это-зимних ветров способствует интенсивному перемешиванию водных масс [19]. Концентрация органического углерода находится в пределах 7,1-8,6 мг/л. Повышенное содержание  $C_{org}$  наблюдалось в воде напорных периферических губ Лахта (8,8-9,0) и Чунаволок (8,6-9,0), особенно сальвинесных водоемов Лахта-Чунаволокской губы. Воды Лахты и Чунаволокской губы имеют отчетливо выраженный запах, в воде Лахты этот запах усиливается в более значительной степени. В воде Лахты и Чунаволокской губ было отмечено наличие пропорционально здесь значительной разлагаемости [1].

Водородный индекс  $HI$  в воде Лахты и Чунаволокской губы относительно органического углерода, рассчитывая по значениям выделенным выше в воде губ Лахта и Чунаволокской, где отношение  $HI$  в среднем за год составляет

равно 1,1. В воде центральных частей и большинства губ величина этого отношения колебалась от 0,9 до 1,1, в среднем 1,0.

Высокие значения  $BO$  соответствовали участкам, обогащенным органическими веществами. Максимальный коэффициент отмечен в южных плесах (от 1,42 до 2,72), составляя в среднем за год 2,16. Это указывает на преобладание в составе  $OB$  биохимически активных соединений с высокой степенью окисляемости (до 30%), хотя в воде отдельных участков озера в период развития эвтрофных организмов величина  $OK$  понижалась до 4.

Отношение  $HI$  изменялось от 37 до 71%. Для центрального плеса и открытых губ оно составляло в среднем 42% при крайних значениях 37 и 66%. В губах Лахта и Чунаволок эта величина постоянно выше 40%, в среднем за год 54 и 51% соответственно. Более высокие значения в настоящее время, по сравнению с ранее полученными, - 33-66% [6], свидетельствуют об увеличении доли в составе  $OB$  окисляемых перманганатом веществ. По-видимому, ими являются гуминовые вещества, которые, как известно, легко окисляются перманганатом, а поступление их в водоем возможно в результате мелиорации.

Сямозеро относится к водоемам с низкой цветностью воды.

В поверхностном слое ЦВ колебалась от 15 до 40 град. Исключение составляет вода с повышенным содержанием СВ. Так, в воде глуб. Чуниволоок цветность изменялась в течение года от 55 до 120, а Лактагуос - от 85 до 180 град.

Распределение  $C_{орг}$  по вертикали характеризуется незначительными колебаниями - 0,6-1,0%. Это относится и к другим показателям органического вещества. Следовательно, продуцируемое в верхних слоях воды СВ и поступающее в результате аллохтонных процессов распределено довольно равномерно по всей толще воды оз.Озюозера.

В озерах Куйто общее содержание органического вещества невелико (табл.3). Количество  $C_{орг}$  колебалось в воде Верхнего Куйто от 6,6 до 8,9 (среднее 7,8 мг/л), Среднего - от 5,7 до 10,7 (среднее 8,1 мг/л) и Нижнего - от 6,9 до 7,1 (среднее 7,0 мг/л). Величина отношения  $\frac{ПВ}{C_{орг}}$  постоянно выше едини-

Таблица 3

Отдельные показатели содержания органического вещества в воде озер Куйто (средние значения за июль-октябрь 1982 и март 1983 г. )

Водоем	$C_{орг}$ мг/л	ПВ		ЦВ град.	$\frac{ПВ}{C_{орг}}$ %	$\frac{ПВ}{C_{орг}}$	
		ПВ	БВ			$C_{орг}$	$C_{орг}$
Верхнее Куйто	7,8	10,2	17,6	48	59	1,32	2,32
Среднее Куйто	8,1	9,3	16,6	42	56	1,3	2,21
Нижнее Куйто	7,0	8,5	16,9	44	63	1,3	2,49

цы, а  $\frac{ПВ}{БВ}$  - от 53 до 59%. Значения кислородного эквивалента в летне-осенний период всегда ниже КВ глюкозы - от 2,1 до 2,3. Все это указывает на то, что растворенное в воде кислотосвязных озер СВ преимущественно аллохтонного происхождения, склонное к биохимическому окислению. В зимний период наблюдалось увеличение значений кислородного эквивалента до 2,6 - 3,0 и соответственно степень окисленности СВ снижалась до +I- -4. Это связано с тем, что зимой данные водоемы переходят на грунто-вое питание; содержание органических веществ уменьшается, а

в их составе преобладает восстановленные соединения.

Таким образом, прямое определение  $C_{\text{орг}}$  позволяет с большей достоверностью судить о содержании ОБ в водоемах, а в сравнении с косвенными показателями дает возможность установить природу органического вещества. Установлено, что содержание и распределение ОБ в воде крупных водоемов связано с климатико-географическими, гидрологическими, гидробиологическими особенностями исследованных озер и отдельных их участков.

### Литература

1. А лек и н О. А., Се мен о в А. Д., Ско п я ц е в Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., 1973.
2. Ба ку л я н а А. Г., Ско п я ц е в Б. А. Определение валового содержания органического углерода в природных водах методом сухого сжигания. - Гидрохим. матер., 1981, т. 52, с. 133-141.
3. Г и д р о х и м и я Онежского озера и его притоков. Л., 1973. 241 с.
4. За б о л о д ц к и й А. А. Озера Верхнее Куйто, Среднее Куйто, Нижнее Куйто. - В кн.: Озера Карелии. Петрозаводск, 1959, с. 225-232.
5. К л е к и н а Е. А. Высшая водная растительность. - В кн.: Сямозеро и перспективы его рыбохозяйственного использования. Петрозаводск, 1977, с. 43-54.
6. Л о б з а П. Г. Гидрохимическая характеристика Сямозера. - В кн.: Тр. Сямозерской комм. экспед. Петрозаволск, 1959, т. I, с. 146-200.
7. М ар т я н о в а Н. Н., Л о з о в и к П. А., Г и л я с к и й А. М. К методике определения органического углерода в природных водах фотохимическим методом. - В кн.: Биологические и рыбохозяйственные исследования водоемов Прибалтики: Тез. докл. к предстоящей XXI конф. по изучению и освоению водоемов Прибалтики и Белоруссии. Минск, 1985, т. I, с. 37-38.
8. М ар т я н о в а Н. Н., Ш и р о ж к о в а Г. П. Не-

которые данные о содержании и динамике органических веществ в Петрозаводской губе. - В кн.: Петрозаводская губа Онежского озера. Петрозаводск, 1981, с.123-136.

9. Маслова Н. П. Гидрохимия вод Петрозаводской губы Онежского озера как источника питьевого водоснабжения. - Тр. СевНИИгидротехники и мелиорации, 1965, вып.23, с.25-50.

10. Маслова Н. П. Характеристика сточных вод Сегежского ЦБК и их влияние на химический состав воды Кондопожского залива Онежского озера. - В кн.: Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969, с.112-147.

11. Николаева В. Н., Скопичев В. А. Бихроматная окисляемость в водах рек и озер Молдавской и крупных рек Советского Союза. - Гидрохим. матер. 1961, т.31, с.113-126.

12. Пирожкова Г. П. Гидрохимическая характеристика залива Большое Онего. - В кн.: Лимнологические исследования на заливе Онежского оз. Большое Онего. Л., 1982, с.35-48.

13. Расплетина Г. Ф., Ульянова Д. С., Шерман Э. Э. Гидрохимия и гидрооптика Ладожского озера. Л., 1967, с.60-122.

14. Сабляина А. В. К гидрохимии озер Куйто. - В кн.: Третья Карельск. респ. конф. по пробл. рыбохоз. послед. внутренних водоемов Карелии: Тез. докл. Петрозаводск, 1983, с.94-95.

15. Скопичев В. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). - Тр. Гос. онеалог. ин-та, 1950, вып.17(29), 290 с.

16. Скопичев В. А., Дарионов Ю. В. Окисленность органического вещества вод некоторых озер, водохранилищ и рек. - Водные ресурсы, 1979, № 1, с.176-188.

17. Скопичев В. А., Бакулина А. Г., Мельникова Н. И. Органическое вещество в воде Онежского озера и некоторых водоемов Волго-Балтийского водного пути летом 1968 г. - В кн.: Орган. вещества и режимы гидрологического режима водных водохранилищ. Л., 1980, с.54-61.



18. Т е р а с о в а Е. Е. Органическое вещество водного Байкала. Новосибирск, 1975. 147 с.

19. Ф р е й н д л и н г Б. А. Гидрологическая характеристика Сямозера (оасейн р.Шуи). - В кн.: Гр. Сямозерской комп. экспед. Петрозаводск, 1969, т.1, с.5-73.

20. Ф р е й н д л и н г Б.А., В а с и л ь е в а Е. И., Л и т ь н с к а я Х. Д. и др. Гидрологический и гидрохимический режим Сямозера. - В кн.: Сямозеро и перспективы его рыбохозяйственного использования. Петрозаводск, 1977, с.5-13.

Г.П.Литомкова

#### ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ФОСФОРА И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДЫ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ВОДЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

В настоящее время все чаще отмечается возрастающее значение режима фосфора, определяющего уровень продуктивности автотрофизации водоема, в состоянии озерной экосистемы и лимитирующую роль солей и минеральных его форм в развитии фито-планктона. Большое внимание уделяется вопросам фосфорной нагрузки на водоем, элементам баланса фосфора и прогнозу его содержания, имеющим огромное значение в общем прогнозировании качества воды и состояния экосистемы в целом на перспективу. Однако данных о содержании валового фосфора и его органических форм, вертикальной и сезонной их изменчивости, особенно в связи с состоянием жизнедеятельности гидробионтов, крайне мало. В некоторых сведениях о количестве и динамике органического фосфора в водоемах Карелии имеются в работах Н.С.Карневич [10-12] и Н.Н.Масловой [3]. Полученные нами многолетние данные по содержанию и динамике органического фосфора в воде Онежского оз. представляют определенный интерес при оценке уровня продуктивности и автотрофизации озера, а также прогнозировании качества его воды и состояния экосистемы в целом.

Материал собирали в рамках комплексных исследований в различные сезоны 1976-1982 гг. в разных районах Онежского оз.

В заливе Большое Онего были проведены стационарные наблюдения на четырех постоянных станциях в течение периода открытой водной поверхности 1977-1979 гг. с 10-15-дневной дискретностью на различных биотопах. Пробы воды на полный химический анализ отбирали со стандартных горизонтов батометром Рутнера с борта научно-исследовательского судна "Посейдон" по постоянной схеме комплексных станций. Валовой фосфор определяли в нейлигированных пробах методом окисления в кислой среде [1], органический - вычитывали по разнице между валовым и минеральным [8]. В результате многолетних наблюдений наряду с общими показателями химического состава воды определено количественное содержание фосфора, дано пространственное распределение органического, выявлена, хотя и слабая, внутрigoдовая сезонная и межгодовая динамика его содержания, обусловленная биотическими и абиотическими факторами, в различных районах Онежского оз. Отношение  $C_{org} : P_{tot}$  наряду с другими косвенными показателями было использовано для характеристики природы органического вещества озетных вод [1].

Онежское оз. - крупный водоем олиготрофного типа с некоторыми элементами мезотрофии и эвтрофии. Водоем имеет большие глубины, низких температур и малого содержания кислорода. Атмосфера озера характеризуется низким уровнем биологической продуктивности [4-7, 9], преобладанием процессов деструкции над продукцией. По литературным данным, в озере производится от 35 до 70% органического вещества и немалую роль в этом играют аутохтонные процессы.

Сложная морфология, динамика водных масс различного происхождения, неравномерное распределение речного стока и антропогенной нагрузки обусловили неоднородность химического состава воды различных районов озера. Центральные плесы и крупные заливы резко различаются по качеству воды. В то же время большие губы и заливы отличаются гетерогенностью химического состава не только от центрального плеса, но и между собой. Это отличие выражается в различной количественной и качественной характеристике органического вещества, биогенных элементов, взвешенных веществ и некоторых отдельных групп органических соединений природного и антропогенного происхождения. Особенно большие различия наблюдаются по тем показателям,

лям, которые определяются речным и антропогенным стоком. Следует отметить, что вода Центрального и Малого Онего, глубоководных зон заливов Повенецкого и Большого Онего, Унжской и Лемболовской губ высокового качества и сходна по химическому составу. Вода прибрежной зоны и малых губ Повенецкого залива, Кондопожской и Петрозаводской губ резко отличается от вышеупомянутых районов озера и характеризуется повышенным содержанием органических веществ, биогенных элементов и специфических загрязняющих веществ природного и антропогенного происхождения. Этой закономерности подчиняется и распределение органического фосфора в воде различных районов Онежского оз. (рис. 2). Наибольшее содержание этого элемента свойственно южному району влияния северо-западного речного стока. Меньше его в воде крупных заливов — Повенецком и Большом Онего, и совсем отсутствуют на вода Центрального и Малого Онего, Унжской и Лемболовской губ.

Содержание минерального фосфора в этих районах озера незначительно ( $2-4 \text{ мкг/м}^3$ ) и почти не изменяется по сезонам, акваториям и глубинам. Однако это не значит, что он не участвует в биологических процессах. Очевидно, освобождаясь в результате минерализации органических веществ фосфор сразу же поглощается планктоном, тем самым обеспечивая равновесное содержание его в воде. Органический фосфор составляет большую долю численности.

В органическом веществе природного вод Онежского оз. представленном в основном влиянием глубоководного и антропогенного происхождения, фосфор выявлен в очень незначительных количествах — в среднем лишь процент ( $0,1-0,13$ ). От суммарного содержания фосфора в воде озера органический составляет  $45-50\%$ . Среднее значение (за последние пять лет) содержание органического фосфора по озеру —  $14 \text{ мкг/м}^3$ . За период исследования концентрации его изменялись от 4 до  $90 \text{ мкг/м}^3$ , причем минимальная определена в начале июля 1979 г. на глубине 90 м в воде залива Большое Онего, максимальная — в мае 1981 г. в створе Пухтинской губы. В отдельные периоды, особенно зимой в придонных водах, обнаружены экстремально высокие концентрации органического фосфора в районах, подверженных речному и антропогенному влиянию. Воды большинства рай-



Рис. I. Среднее многолетнее содержание органического фосфора ( $\text{мг Р/м}^3$ ) в воде различных участков Онежского озера

нов озера с явно выраженными признаками олиготрофии и низкой интенсивностью внутриводоемных процессов, свойственно самое низкое содержание органического фосфора (табл. I). В

Таблица I

Среднее содержание органического фосфора ( $\text{мгР/м}^3$ )  
в воде центрального плеса Онежского оз.

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднее за год
1977	9	12	11	6	9
1980	10	10	6	—	9
1981	11	11	10	—	11

июле 1979 г. в воде Лижемской губы его было 4–6  $\text{мгР/м}^3$ , что говорит о низкой продуктивности губы. Отношение  $S_{\text{орг}}:P_{\text{орг}} > 500$  указывает на преобладание в воде губы стойкого водного гумуса, что подтверждается и широким отношением  $S_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$ , равным 24, малой величиной  $\text{БПК}_5$  (0,6–0,8  $\text{мг O}_2/\text{л}$ ), величиной отношения  $\frac{\text{ПО}}{\text{БО}}$  (44–48%). Диапазон колебаний концентрации органического фосфора в воде Уницкой губы несколько шире (4–11  $\text{мгР/м}^3$ ), но не выходит за рамки содержания его в водах олиготрофного типа. Отношение  $S_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  в воде губы меньше (411–744), чем в воде Лижемской губы, что указывает на увеличение доли органических веществ планктонного происхождения. Об это свидетельствует и более узкое отношение  $S_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (11–13), и более высокая величина  $\text{БПК}_5$  (0,6–1,6  $\text{мг O}_2/\text{л}$ ). Лишь в пограничных водах приустьевой зоны р. Лижмы эти отношения ниже, что связано с поступлением трудноокисляемого водного гумуса с речными водами.

При одинаковом с предыдущими губами среднем многолетнем содержании органического фосфора в воде центрального плеса озера его абсолютная величина колеблется, хотя и не очень значительные, пространственные и сезонные колебания (5–19  $\text{мгР/м}^3$ ). Внутригодовой ход этих колебаний (по данным 1977 г.) характеризуется минимальными средними концентрациями зимой (6  $\text{мгР/м}^3$ ) и весной (9), максимальными (12) – в теплый пери-

од года. При весеннем перемешивании водных масс его концентрация почти одинакова как по акватории, так и глубине. В результате прогрева водных масс с 2 до 14-16° и активизации продукционных процессов содержание органического фосфора увеличивается и к концу июля достигает 15 мгР/м<sup>3</sup>. Этот максимум сосредоточен в верхнем 10-метровом наиболее прогретом (10-16°) фотическом слое. Глубже 10 м к этому времени содержание органического фосфора значительно ниже (5-9 мгР/м<sup>3</sup>). Однако на горизонтах 20 и 50 м отмечены экстремальные его концентрации 18-25 мгР/м<sup>3</sup>, что связано с опусканием весенних холодолобовных форм фитопланктона в менее прогретые (4,2-8,3°) нижележащие слои воды. Показатели содержания и качественного состава органического вещества в эти периоды мало различаются как по акватории, так и глубине. В июле в прогретом фотическом слое повышается доля органических веществ планктонного происхождения, о чем свидетельствуют их косвенные показатели: отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}} = 284-500$ ,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}} = 10-14$ ,  $\frac{PO}{BO} = 30-46\%$ . БПК<sub>5</sub> - 0,6-1,1 мгО<sub>2</sub>/л. Это подтверждается и более высоким содержанием органического азота (0,37-0,44 мгN/л). Органические вещества глубже лежащих слоев воды отличаются от таковых фотического слоя большими величинами отношения  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (500,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}} = 16-25$ ,  $\frac{PO}{BO} = 42-54\%$ ). Последующее появление глубинных максимумов содержания органического фосфора, связанное с максимумом планктона, сопровождается повышенным содержанием органического азота (0,46-0,55 мгN/л). Планктонная природа органического вещества на этих горизонтах подтверждается и его косвенными характеристиками: отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  колеблется в пределах 216-284,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}} = 10-17$ ,  $\frac{PO}{BO} = 39-46\%$ , величина БПК<sub>5</sub> - 1,2-2,3 мгО<sub>2</sub>/л. С охлаждением водных масс уменьшается количество органического фосфора и азота, что связано с отмиранием планктона, опусканием его в глубинные слои воды и захоронением в донных осадках. В середине октября количество фосфора в воде уменьшилось до 1-12 мгР/м<sup>3</sup>. Отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  варьировало от 325 до 510,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}} =$  от 8 до 15, что свидетельствует о накоплении планктонного органического вещества за вегетационный пе-

риод и преобладании его в нижних и придонных горизонтах. В глубинных водах центральной части озера больше органического фосфора (12-15 мгР/м<sup>3</sup>), уже отношения  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (325-450) и  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (3-12). 7 октября 1977 г. на глубине 10 м в центре Онежского оз. определена экстремально высокая для этого периода концентрация органического фосфора (46 мгР/м<sup>3</sup>), что, по-видимому, связано с максимумом планктона и его метаболитов или детрита. Это подтверждается очень узкими отношениями  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  - 111 и  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  - 9. В основном этот период характеризуется сравнительно монотонным распределением органического фосфора по глубине (4-8 мгР/м<sup>3</sup>). В подледный период его содержание еще меньше (3-6) и почти одинаково по глубине. Отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}} > 500$ ,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  - 12-22,  $\frac{P_0}{B_0}$  - 38-45%.

Исходя из среднего содержания органического фосфора (табл.1), можно отметить, что сезонные и межгодовые его изменения в центральном олиготрофном районе озера незначительны, лишь в многоводном 1981 г. его чуть больше.

В глубоководной зоне южной части Онежского оз., по исследованиям 1977 г., пространственная и сезонная динамика содержания органического фосфора и характеристики органического вещества очень сходны с таковыми центрального плеса озера (табл.2). В подледный период наибольшие концентрации органи-

Таблица 1

Среднее содержание органического фосфора (мгР/м<sup>3</sup>)  
в воде южной части Онежского озера

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднее за год
1977	II	7	9	10	9
1978	-	-	-	10	-
1979	-	9	14	-	12
1980	9	11	11	-	10
1981	10	10	15	-	12

ческого фосфора и азота сосредоточены в придонных водах за счет десорции из донных отложений. Район меньших глубин (10

25 м) отличается от глубоководного своеобразием сезонного хода содержания органического фосфора. Максимальное среднее его количество ( $11 \text{ мкгР/м}^3$ ) определено весной за счет аллохтонных фосфорсодержащих органических соединений. Поступление их можно объяснить тем, что в период существования термобара этот район оказывается в термоактивной зоне и подвержен влиянию литоральных и речных вод с большим содержанием фосфора и органических веществ. В июне-августе определено самое низкое среднее содержание органического фосфора ( $7 \text{ мкгР/м}^3$ ). Отличительной особенностью этого района является наличие в октябре более высоких (для данного озера) концентраций органического фосфора ( $12-22 \text{ мкгР/м}^3$ ) по всей вертикали в створе р. Вятки за счет скопления органического вещества планктонного характера или вследствие антропогенного влияния. Это подтверждают и узкие отношения  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}} = (241-442)$ ,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}} = (10-11)$ , большее содержание органического азота ( $0,35-0,37 \text{ мгМ/м}^3$ ).

Глубоководная зона Повенецкого залива по распределению фосфора в воде подчиняется закономерностям, свойственным всем олиготрофным районам озера, и характеризуется относительным постоянством химического состава воды. Если в центральном и южном районах Онежского оз. среднее содержание органического фосфора в воде, хотя и незначительно, изменяется по сезонам, то в глубоководной части Повенецкого залива оно одинаковое во все сезоны года (табл.3).

Таблица 3

Среднее содержание органического фосфора ( $\text{мкгР/м}^3$ )  
в воде Повенецкого залива Онежского озера

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднее по годам
1977	II	II	10	10	10
1978	-	II	-	10	10
1979	II	II	-	-	11

В течение периода открытой водной поверхности 1977 г. количество фосфора колебалось от 6 до 15, в подледный период на некоторых горизонтах оно повышалось до  $19 \text{ мкгР/м}^3$ . Ор-



органическое вещество в воде этой зоны залива малоокрашенное (цветность 17-23 град.), преимущественно стойкое к биохимическому окислению, о чем свидетельствуют его косвенные показатели: отношение  $\frac{IO}{BO} = 40-51\%$ ,  $C_{орг}:N_{орг} = 14-21$ ,  $C_{орг}:P_{орг} = 450-750$ ,  $\frac{B_{ПК5}}{BO} = 1-3\%$ . В конце июня - июля с прогревом вод-

ных масс в верхних слоях воды увеличивается доля органического вещества планктонного происхождения. На это указывает более узкое отношение  $C_{орг}:P_{орг}$  (280-375) и  $C_{орг}:N_{орг}$  (9-16). В последний период содержание органического фосфора колебалось от 4 до 13 при среднем значении 10 мгР/м<sup>3</sup>, отношение  $C_{орг}:P_{орг}$  - от 374 до 570,  $C_{орг}:N_{орг}$  - от 10 до 19.8. В исследуемый период (1977-1979 гг.) среднее количество органического фосфора было на одном уровне. В литоральной зоне и отдельных малых губах Новенецкого залива содержание его несколько выше (12-16 мгР/м<sup>3</sup>), чем в глубоководной. Органическое вещество здесь более окрашенное (цветность 63-75 град) и стойкое к биохимическому окислению (отношение  $\frac{IO}{BO} = 46-52\%$ ,  $C_{орг}:N_{орг} = 16-23$ ,  $C_{орг}:P_{орг} = 500-740$ ), ранней весной преимущественно аллохтонного, в теплое время года - автохтонного происхождения.

В заливе Большое Онего, одном из типично олиготрофных районов Онежского оз., в течение трех лет (1977-1979 гг.) были проведены комплексные исследования на четырех постоянных станциях с 10-15-дневной дискретностью в глубоководной и литоральной зонах. Постоянные станции были выбраны с учетом разнотипных биотопов: открытая и закрытая (губа Чеболакша) литораль, пелагаль в районе средних и максимальных глубин. Эти исследования с более частой, чем обычно, по времени дискретности (в фотическом слое через каждые 2 м) дискретностью отбора проб позволяли в течение 3 лет, разных по водности, температуре и продуктивности, наблюдать за пространственно-временной (интегри- и мезофеновой сезонной) динамикой растворенных в воде газов, органических веществ, биогенных элементов, в том числе органических форм фосфора и азота. За период исследования концентрации органического фосфора изменялись от 3 до 13 при среднегодовом значении в 1977 - 9, 1978 и 1979 гг. - по 11 мгР/м<sup>3</sup> (табл.4).

Среднее содержание органического фосфора ( $\text{мгР/м}^3$ )  
в воде залива Большое Онего Онежского оз.

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднее за год
1977	7	13	7	-	9
1978	10	11	14	-	11
1979	12	10	-	-	11

В литоральной зоне его содержалось несколько больше, чем в глубоководной: весной за счет поступления с водосбора, в период прогрева — за счет увеличения интенсивности продукционных процессов в результате высвобождения дополнительного минерального фосфора из аллохтонного материала путем его минерализации и регенерации из отмершего планктона. Максимальные концентрации органического фосфора свойственны водам наиболее продуктивной литоральной зоны закрытого типа и определены в губе Чеболакша в июне 1978 г. в момент максимального прогрева воды (до  $17,4^\circ$ ) и интенсивного развития фитопланктона, а также в конце вегетационного периода 1979 г., в результате накопления органического вещества отмирающего планктона. Об этом свидетельствуют узкие отношения  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (17–19) и  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (281–350). Среднее содержание органического фосфора в воде открытой литорали восточной Онежской и частично западной залива. В глубоководной зоне, начиная с начала вегетационного периода четко прослеживается вертикальная неоднородность в распределении органического фосфора (табл. 3). Такие изменения в вертикальном распределении фосфора обусловлены в верхнем, наиболее освещенном и прогреваемом, литоральном слое. Ранней весной он почти равномерно распределен по всей вертикали (9–12  $\text{мгР/м}^3$ ) вследствие однородности водных масс, обусловленной гомотермией. Органическое вещество в этот период малоокрашенное (цветность 16–17 град.), стойкое к биохимическому окислению и характеризуется следующими показателями:  $\frac{PO}{BO}$  — 47–50%,  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  — 13–17,  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  — 425–857,  $БПК_5$  — 0,8–1,3  $\text{мгO}_2/\text{л}$ .

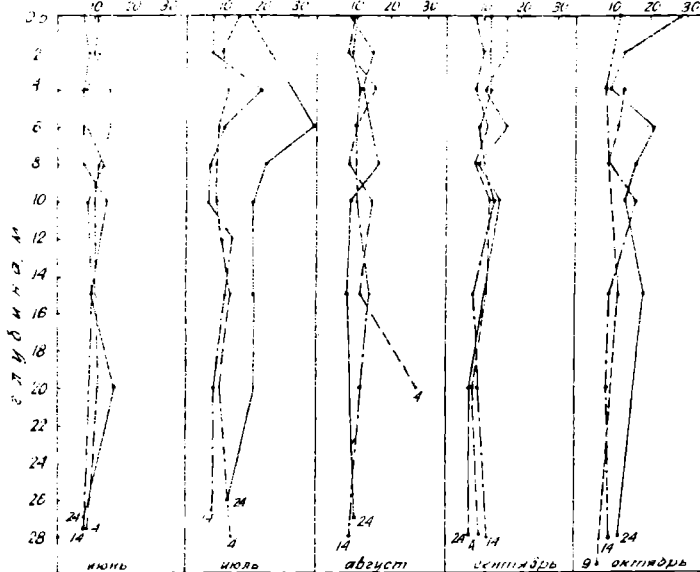


Рис.2. Вертикальное распределение органического фосфора (мг Р/м³) в районе средних глубин залива Большое Онего (ст.9,14,24)

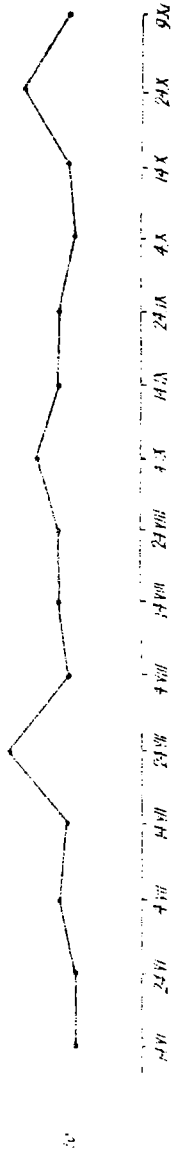
При прогревании водоема начинается расслоение водных масс и содержание органического фосфора в воде постепенно увеличивается сначала в слое 0-2 м, затем 0-4, 0-6, достигая к концу июля максимальных величин (39 мгР/м³) на глубине 6 м. Создается запас органических веществ планктогенного происхождения, подтверждаемого узким отношением  $C_{орг}:N_{орг}$  (6-12),  $C_{орг}:P_{орг}$  (133-508), более высокими величинами БПК₅ - (1,5-2,6 мгО₂/л). Второй чуть более значительный максимум в этот период наблюдается на 20-метровой глубине, что связано с опусканием холодолюбивых весенних форм фитопланктона, среди которых преобладает *Melosira islandica*, в менее прогретые глубинные слои воды. В начале июля наблюдается почти равномерное (с очень узким интервалом колебаний) распределение органическо-

го фосфора и фитопланктона в результате активного вертикального перемешивания водных масс. В середине июля появляется второй более значительный максимум содержания органического фосфора в фотическом слое на глубине 4 м ( $20 \text{ мкг/м}^3$ ), а в конце июля его содержание на глубине 8 м достигало годового максимума ( $31 \text{ мкг/м}^3$ ). Этот летний максимум органического фосфора образуется в результате смены холодолюбивых весенних форм фитопланктона на теплолюбивые летние, преимущественно золотистые, синезеленые, и диатомовые [2]. В начале августа максимальное количество органического фосфора определено на глубине 20 м, что можно объяснить начинающимся угасанием вегетации фитопланктона и процессом массового опускания его в гипolimнион. С началом осенней стратификации в конце августа отмечено незначительное повышение содержания органического фосфора в фотическом слое за счет увеличения численности летне-осенних форм фитопланктона, сократившееся и в сентябре - октябре 1977 г.

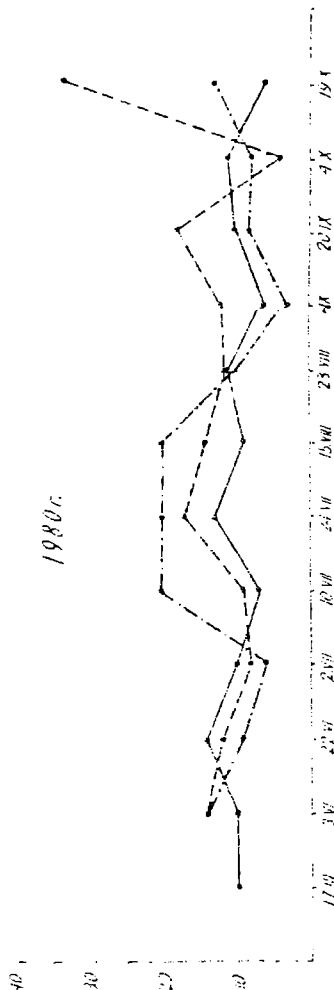
В октябре в поверхностных водах количество фосфора органических соединений приближается к годовому максимуму в результате накопления отмершего планктона. В олиготрофном районе максимальных глубин вертикальное распределение органического фосфора аналогично его распределению по глубине в райо-не средних глубин. Однако глубинный позднеосенний пик сосредоточен в болевом столбе воды (30-70 м) с максимумом на глубине 60 м. В конце августа 1978 г. на этой глубине определено его максимальное за период исследования количество ( $103 \text{ мкг/м}^3$ ), что связано с опусканием отмершего планктона в придонные слои воды в результате накопления его в литоральном доеме. В 1979 г. максимальное его содержание ( $120 \text{ мкг/м}^3$ ) определено 20 августа.

В результате трехлетних наблюдений на заливе Байкало-Онего выяснено, что в сезонной динамике содержания органического фосфора в воде олиготрофных районов озера четко прослеживаются три пика (рис.3): весенне-летний - в начале периода открытой водной поверхности, летний - в момент максимального прогрева воды и осенний - в период охлаждения водоема. Исследований пик в содержании  $P_{\text{орг}}$  в литоральной зоне отмечен сразу же после вскрытия водоема за счет поступления его с водосбор-

1977.



1980г.



1979г.



17.0 18.0 19.0 20.0 21.0 22.0 23.0 24.0

Рис. 3. Сезонная динамика среднего содержания органического фосфора в почве в период вегетации 1977-1980 гг.



бин (30-78 м) в этот период отмечено накопление фосфорсодержащих органических соединений в придонных слоях воды ( $13-26 \text{ мкг/м}^3$ ), что можно объяснить десорбцией их из донных отложений в некоторой ограниченности перемешивания, не затрагивающего придонные воды. В литоральной зоне наблюдается разнообразие в распределении органического фосфора по вертикали - максимальное или минимальное в придонных, а иногда в поверхностных водах, что обусловлено поступлением его с водорослями из донных отложений, а также началом цикла прогревания верхних слоев воды и интенсификацией продукционных процессов на поверхности за счет поступления из этих же источников минерального фосфора. Органическое вещество в этот период преимущественно стабильное и биохимическому окислению, что подтверждается его окислением перманганатом и их соотношением:  $C_{\text{орг}}:M_{\text{орг}} = 14-28$ ;  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}} = 805-954$ ;  $\frac{M}{P} = 42-53$ ;  $M:N_5 = 0,3-1,0 \text{ мг/л}$ . В летнее время 1962 г., когда водоем прогрет и интенсифицированы продукционные процессы, существенных изменений в содержании органического фосфора не наблюдается (табл.5).

Таблица 5

Среднее содержание органического фосфора ( $\text{мкг/м}^3$ )  
в воде Кондопожской губы Онежского озера

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднее за год
1977	23	23	19	31	26
1978	-	-	-	32	-
1979	-	14	-	-	-
1981	17	-	-	-	-
1982	19	19	23	-	-

В глубоководной зоне губы, прилегающей к контурному плесу озера, изменился качественный состав органических веществ в сторону увеличения планктонного, о чем свидетельствуют более узкие отношения  $C_{\text{орг}}:M_{\text{орг}}$  (8-16) и  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (100-345). В средней глубоководной части губы органического фосфора чуть больше и почти одинаковое его количество

по всей глубине 10-15 мгР/м<sup>3</sup>). Отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  приближалось к 500 (480-536) или превышало эту цифру (631-818), отношение  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  увеличилось до 13-22. В верхинной, более мелководной, прогреваемой и подверженной антропогенному влиянию части губы количество органического фосфора увеличивается до 14-33 мгР/м<sup>3</sup> с равномерным распределением по глубине или с преобладанием в поверхностных водах. Наряду с трудноокисляемым биохимическим путем органическим веществом увеличивается и количество планктоногенного - отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  - 278-340.

В период осеннего охлаждения и перемиривания 1982 г. количество  $P_{\text{орг}}$  остается таким же высоким, но более однородным по глубине с градиентом разницы по горизонтам от 1 до 5 мгР/м<sup>3</sup>. На глубоководных станциях намечается тенденция накопления органического фосфора в придонных слоях воды, что связано с опусканием отмершего планктона и его метаболитов на глубину. Среди общего количества органических веществ начинают преобладать трудноокисляемые. В большинстве случаев  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  изменяется в довольно узком интервале - 16-20, хотя в единичных случаях встречаются и меньшие величины - 13-15. Отношение  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  варьировало очень широко - 338-356, что говорит о наличии органических веществ различного происхождения на акватории губы.

Судя по средним (табл.5) и предельным концентрациям фосфора в течение периода открытой водной поверхности 1977 и 1982 гг. содержание его существенно не изменялось и лишь к концу осени 1982 г. увеличилось на 20-25%, а в 1977 г. снизилось в 2 раза. Самые высокие, как средние, так и предельные, его значения отмечены в подледный период за счет богатых фосфором придонных слоев воды. В течение всех лет исследований содержание органического фосфора в воде Кондопожской губы остается высоким и намечается тенденция к его накоплению.

Вода Петрозаводской губы, испытывавшей большое влияние высокогумусных цветных вод р.Юги и антропогенного стока, отличается самым высоким содержанием органического фосфора (рис. 1). Его количество очень разнообразно по акватории и глубине губы (4-35 мгР/м<sup>3</sup>). За счет антропогенного влияния в отдельных участках содержание его увеличивается до 80-128 мгР/м<sup>3</sup>, что позволяет предположить антропогенное эвтрофирование



их. По результатам исследований 1981 г., наибольшее содержание органического фосфора было в паводковые периоды (табл.6)

Таблица 6

Среднее содержание органического фосфора ( $\text{мгР/м}^3$ )  
в воде Петрозаводской губы Онежского озера

Год	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднее за год
1976	-	16	22	16	18
1977	24	18	20	16	19
1981	30	22	27	16	24

вследствие поступления аллохтонного фосфора. В период весеннего половодья самый крупный приток - р.Пудя содержит 86  $\text{мгР/м}^3$ , более мелкие также дают ощутимую прибавку - в частности р.Неглинка - 36, Лососинка - 50, руч.Камонный - 107  $\text{мгР/м}^3$ . В этот период вся акватория губы богата органическим фосфором. Его содержание изменялось от 10 до 36  $\text{мгР/м}^3$ . Максимальное количество сосредоточено в эвотрофных водах вдоль западного побережья, что связано с влиянием речного и контростровного стока. По данным 1976-1978 гг., в губе содержание  $\text{P}_{\text{орг}}$  в 2-3 раза больше, чем в глубоководной центральной части района взаимодействия вод губы с водной преобладающей частью озера, а именно в зоне 26-островной возвышенности. Там преобладают озерные воды, содержание  $\text{P}_{\text{орг}}$  находится на уровне островных водных и равномерно распределено по глубине в результате интенсивного перемешивания с озером. На остальных акваториях губы преобладает прямая стратификация с максимумом в поверхностном слое воды за счет аллохтонного стока и интенсификации продукционных процессов в связи с прогреванием водных масс. Органическое вещество в этот период преимущественно теплолюбивое за счет влияния лужских вод с температурой 27-100 град., стойкое к биохимическому окислению, в основном аллохтонного происхождения. Это подтверждается косвенными показателями органического вещества и их соотношениями:  $\text{ПО}$  варьирует от 6,3 до 17,8  $\text{мгО/л}$ ,  $\text{БО}$  - 16-35,2,  $\text{БПК}_5$  - 0,5-1,4  $\text{мгО}_2/\text{л}$ ,  $\frac{\text{ПО}}{\text{БО}}$  - 45-56%,  $\text{C}_{\text{орг}}$

$N_{org} - I4-26, C_{org}:P_{org} - 3II-650$ . В зоне антропогенного влияния отношение  $C_{org}:N_{org}$  сужается до  $IO-I3$ , а  $C_{org}:P_{org}$  до  $56-3II$ , количество органического фосфора возрастает до  $29-19I$   $мгР/м^3$ .

В начале лета количество  $P_{org}$  снижается на  $25-27\%$ , что связано с ослаблением речного и склонового стока, а значит, с уменьшением поступления в губу аллохтонного фосфора. Однако с прогревом водных масс губы усиливаются продукционные процессы благодаря ускорению оборачиваемости фосфора и минерализации органических веществ, в результате чего растет запас планктонного фосфора. Ежемесячные наблюдения в период открытой водной поверхности 1976 г. на постоянных станциях показали, что в момент максимального прогрева и активной вегетации (фитопланктона) концентрация  $P_{org}$  снова возрастает, достигая максимума к концу лета - началу осени.

В вертикальном распределении органического фосфора преобладает прямая стратификация. Органическое вещество в этот период в зоне влияния чужбских вод по косвенным показателям близко к таковому в период весеннего половодья. В центральной глубинной части губы и в зоне взаимодействия с водами центрального плеса возрастает количество планктонного или антропогенного органического вещества, о чем свидетельствуют более узкие отношения  $C_{org}:N_{org}$  ( $7-16$ ) и  $C_{org}:P_{org}$  ( $277-570$ ).

Средние данные (табл.6) показали, что в период осеннего паводка количество органического фосфора снова возрастает за счет аллохтонного стока. В октябре 1981 г. р.Илуя содержала  $77$ , Негинника -  $65$ , Дососиника -  $49$ , руч.Каменный -  $69$   $мгР/м^3$  фосфора. Водные массы губы в этот период весьма богаты органическим фосфором по всей глубине, особенно в сентябре - октябре 1981 г. ( $8-32$   $мгР/м^3$ ). На большей части акватории губы он равномерно распределен по глубине в результате установления гомотермии. Максимальные значения органического фосфора не превышали  $80-95$   $мгР/м^3$ .

В марте-апреле 1977 г. среднее содержание органического фосфора (табл.6) было самым низким за весь расследуемый пери-

од и колебалось от 4 до 17 мкг/м<sup>3</sup>. Максимальные величины его содержания (33-59 мкг/м<sup>3</sup>) были зафиксированы в прибрежных водах глубоководной зоны в результате накопления отмершего планктона и аллохтонного фосфора. В апреле 1981 г. его среднее содержание не изменилось, хотя в прибрежных водах обнаружено до 13-28 мкг/м<sup>3</sup> аллохтонного фосфора. Органическое вещество в период ледостава менее окрашено (цветность 23-72 град.) и характеризуется следующими косвенными показателями: ПО - 8,4-10,1, БО - 14,2-21,4 мгО/л, отношение  $\frac{ПО}{БО} - 36-55\%$ ,  $C_{орг}:N_{орг} - 10-17$ ,  $C_{орг}:P_{орг} - 237-589$ . Во все сезоны года для вод Петрозаводской губы характерно уменьшение содержания органического фосфора от вершинной ее части, где выдает р.Июя через Беломенскую протоку, к выходу в открытое озеро за счет ослабления влияния шуйских вод и интенсивного разбавления вод губы озерными с низким содержанием фосфора.

Судя по средним данным (табл.6), количество органического фосфора в многоводном 1981 г. было выше, чем в 1976 и 1977 гг. Намечается тенденция накопления фосфора как по сезонам, так и в среднем за год, что свидетельствует о прогрессирующем антропогенном эвтрофировании.

Прилегающий к губе район озера (Петрозаводское Озеро) по содержанию органического фосфора в воде занимает промежуточное положение по сравнению с таковым в Кондопожской и Петрозаводской губах, но отличается от вод центрального плеса более высоким его содержанием (см.рис.1). В сезонной динамике содержания органического фосфора в 1981 г. отчетливо выражается весенний максимум (табл.7), причем более ощутимый в литоральной зоне, где его в 1,5-2 раза больше, чем в глубоководной, особенно в период весеннего половодья в результате влияния речного стока и интенсификации продукционных процессов в более прогретой мелководной зоне.

В литоральных водах Деревянской бухты и Уйской губы 4 июня 1981 г. количество органического фосфора колебалось от 21 до 27, а в Пухтинской губе достигало 30 мкг/м<sup>3</sup>. Органическое вещество в этот период было преимущественно темноокрашенное (цветность 30-58 град.), стойкое к биохимическому окислению (ПО - 9,4-10,3 мгО/л, БПК<sub>5</sub> - 0,9-1,5 мгО<sub>2</sub>/л,  $\frac{ПО}{БО} - 39-$



нения  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (9-16) и  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (278-540). На глубине 37 м в пелагиали залива в конце октября 1981 г. обнаружены воды, богатые органическим фосфором ( $32 \text{ мкгР/м}^3$ ), с очень узким соотношением  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (5-6) и  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (102-156) в результате опускания накопленного за лето и отмершего к осени планктона в придонные горизонты. Это количество органического фосфора сохраняется до конца зимы. Пространственное распределение и сезонная динамика фосфорсодержащих органических соединений в пелагиали залива Петрозаводское Онего аналогично таковым глубоководных олиготрофных районов озера с некоторой спецификой, обусловленной активной динамикой водных масс этого района.

### Выводы

1. В глубоководных олиготрофных районах озера основным поставщиком органического фосфора являются внутриводоемные процессы. В результате низкой продуктивности эти районы отличаются минимальным его содержанием.

2. В крупных заливах, подверженных антропогенному влиянию, содержание органического фосфора увеличивается преимущественно за счет аллохтонного стока.

3. В глубоководных олиготрофных районах Центрального и Южного Онега, Угличкой, Лижемской губах, заливах Большое Онего и Повенецкий содержание органического фосфора не испытывает значительных колебаний по сезонам и годам.

4. В воде Петрозаводской и Кондопожской губ намечается тенденция к накоплению фосфора, ведущая к их антропогенному эвтрофированию.

### Литература

1. Алексин С. А., Семенов А. Д., Скопинцов Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. М., 1973, с.184-185.

2. Билянская И. Г. Фитопланктон. - В кн.: Биологические исследования на заливе Онежского озера Боль-

шое Онего. Л., 1982, с.76-80.

3. Маслова Н.П. Гидрохимия озер западного Заонежья. - В кн.: Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1965, вып.23, с.140-154.

4. Петрова Н. А. Биомасса фитопланктона Онежского озера по данным 1964-1965 гг. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.84-91.

5. Петрова Н. А. Соотношение между продукцией и биомассой фитопланктона Онежского озера. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.92-109.

6. Петрова Н. А. Фитопланктон литоральной зоны Онежского озера. - В кн.: Литоральная зона Онежского озера. Л., 1975, с.138-144.

7. Пырина И. Л., Елизарова В. А., Николаев И. И. Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне Онежского озера и их значение для оценки уровня продуктивности этого водоема. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.108-122.

8. Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). - Тр. Гос. океанограф. ин-та, 1950, вып.17(29). 290 с.

9. Умнова А. П. Первичная продукция фитопланктона, содержание хлорофилла "а" и сестона в воде залива Большое Онего Онежского озера. - В кн.: Лимнологические исследования на заливе Онежского озера Большое Онего. Л., 1982, с.81-92.

10. Харкевич Н. С. Гидрохимия озер восточного Заонежья. - В кн.: Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1965, вып.23, с.110-139.

11. Харкевич Н. С. Гидрохимия озер северо-западного Прионежья. - В кн.: Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969, с.265-292.

12. Харкевич Н. С. Гидрохимия северной части Псковского залива Онежского озера. - В кн.: Охрана и использование водных ресурсов Карелии. Петрозаводск, 1974, с.68-123.

ношения  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (9-16) и  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (278-540). На глубине 37 м в пелагиали залива в конце октября 1981 г. обнаружены воды, богатые органическим фосфором ( $32 \text{ мкгР/м}^3$ ), с очень низким отношением  $C_{\text{орг}}:N_{\text{орг}}$  (5-6) и  $C_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$  (102-156) в результате опускания накопленного за лето и отмершего к осени планктона в придонные горизонты. Это количество органического фосфора сохраняется до конца зимы. Пространственное распределение и сезонная динамика фосфорсодержащих органических соединений в пелагиали залива Петрозаводское Онего аналогично таковым глубоководных олиготрофных районов озера с некоторой спецификой, обусловленной активной динамикой водных масс этого района.

### Выводы

1. В глубоководных олиготрофных районах озера основным поставщиком органического фосфора являются внутризводные процессы. В результате низкой продуктивности эти районы отличаются минимальным его содержанием.

2. В крупных заливах, подверженных антропогенному влиянию, содержание органического фосфора увеличивается преимущественно за счет alloхтонного стока.

3. В глубоководных олиготрофных районах Центрального и Южного Онега, Уницкой, Лижемской губах, заливах Большое Онега и Повенецкий содержание органического фосфора не испытывает значительных колебаний по сезонам и годам.

4. В воде Петрозаводской и Кондопожской губ намечается тенденция к накоплению фосфора, ведущая к их антропогенному эвтрофированию.

### Литература

1. А л е к с и н О. А., С е м е н о в А. Д., С к о - п и н ц о в Е. А. Руководство по химическому анализу вод суши. М., 1973, с.164-165.

2. Б и с л я н с к а я И. Г. Олиготрофизм. - В кн.: Экологическое исследование на залив Онежского озера Боль-

шое Онего. Л., 1982, с.76-80.

3. Маслова Н.П. Гидрохимия озер западного Заонежья. - В кн.: Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1965, вып.23, с.140-154.

4. Петрова Н. А. Биомасса фитопланктона Онежского озера по данным 1964-1965 гг. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.84-91.

5. Петрова Н. А. Соотношение между продукцией и биомассой фитопланктона Онежского озера. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.92-109.

6. Петрова Н. А. Фитопланктон литоральной зоны Онежского озера. - В кн.: Литоральная зона Онежского озера. Л., 1975, с.138-144.

7. Пырина И. Л., Елизарова В. А., Николаев И. И. Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне Онежского озера и их значение для оценки уровня продуктивности этого водоема. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.108-122.

8. Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). - Тр. Гос. океанограф. ин-та, 1950, вып.17(29). 290 с.

9. Умнова А. П. Первичная продукция фитопланктона, содержание хлорофилла "а" и сестона в воде залива Большое Онего Онежского озера. - В кн.: Лимнологические исследования на заливе Онежского озера Большое Онего. Л., 1982, с.81-92.

10. Харкевич Н. С. Гидрохимия озер восточного Заонежья. - В кн.: Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1965, вып.23, с.110-139.

11. Харкевич Н. С. Гидрохимия озер северо-западного Прионежья. - В кн.: Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969, с.265-292.

12. Харкевич Н. С. Гидрохимия северной части Повенецкого залива Онежского озера. - В кн.: Охрана и использование водных ресурсов Карелии. Петрозаводск, 1974, с.88-123.



# ДИНАМИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОСАДКАХ ЗАЛИВА БОЛЬШОЕ ОНЕГО ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Изучение динамики химических ингридиентов донных отложений представляет определенный интерес для познания направленности и интенсивности протекающих в озере химических и биологических процессов. Осадки исследованного района представляют бурно и коричневым глинистым илом с песком и плотной рудной коркой, толщина которой 2-2,5 см. Значительным в значительной степени и определяется бурная окраска илов. Органические вещества в отложениях содержатся в небольшом количестве (1,4-3,8%). По своей природе они являются автохтонными и характеризуются малым количеством азотно-гумусовых веществ (0,33-0,39%). Концентрация в донных отложениях растворимого углерода находится в тесной зависимости от гранулометрического состава осадков: по мере уменьшения среднего диаметра частиц количество органического вещества увеличивается. При этом определяющим фактором является гидродинамический режим, влияние которого проявляется в переносе органических соединений течением. Содержание гумусовых веществ в поверхностном слое осадков колеблется от 0,1% до 0,11% (на воздушно-сухой осадок). Количество их тесно связано с содержанием общего органического вещества: с ростом последнего увеличивается и концентрация гумусовых веществ. Максимальное количество  $\Sigma \text{гум}$  веществ (1,85-2,51%), как и  $\Sigma \text{орг}$ , приурочено к тонкодисперсным мелкофракционным осадкам, минимальное (0,21-0,46%) — к песчаным. Причем с уменьшением дисперсности отмеченный рост не только абсолютный, но и относительный величины гумусовых веществ, т.е. степень гумификации органического вещества. Однако величины  $\Sigma \text{гум}$  в донных отложениях залива Большое Онежское довольно низкие. Гуминовый коэффициент в осадках исследованного района колеблется от 11,29 до 22,63%.

Сезонные изменения содержания углерода отмечены на всех отложениях. Оно снижается от весны (0,43) к лету (0,39%), затем постоянно возрастает и в октябре составляет 2,66%

(рис. 1).

Сопоставление содержания общего азота в осадках по сезонам показало, что для него характерно аналогичное распределение. Концентрация азота, как и углерода, резко снижается в мае и августе (с 0,3 до 0,2%) - в период максимальной численности и биомассы гидробионтов. В это время происходит интенсивное потребление органических веществ.

С резким уменьшением биомассы к осени в донных отложениях накапливается углерод и азот (рис. 1, 2). По-видимому, в этот период идет и энергичная минерализация органических веществ бактериями.

Поступление легкоразложимого детрита в осадки создает благоприятные условия для развития микроорганизмов и стимулирует бактериальный распад ранее заморозившихся, более устойчивых органических остатков [1]. Такое предположение подтверждается как отношением  $C/N$ , так и гуминовым коэффициентом ( $K_{гум}$ ), свидетельствующим о степени и скорости разложения органических веществ в донных отложениях. Максимальные значения  $C/N$  (10,0) и  $K_{гум}$  (70,0%) отмечены в мае, минимальные (0,5 - 7,  $K_{гум}$  - 39,5%) приходится на сентябрь, что указывает на энергично идущие процессы распада органических веществ.

Таким образом, сезонные наблюдения установили, что максимальное накопление как углерода, так и азота происходит осенью, летом их содержание заметно снижается. Видно, что главная роль в формировании органического вещества

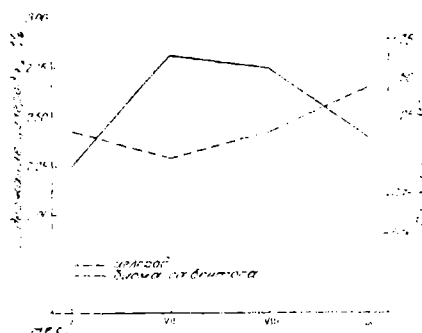


Рис. 1. Сезонные изменения содержания углерода и биомассы бентоса в донных отложениях

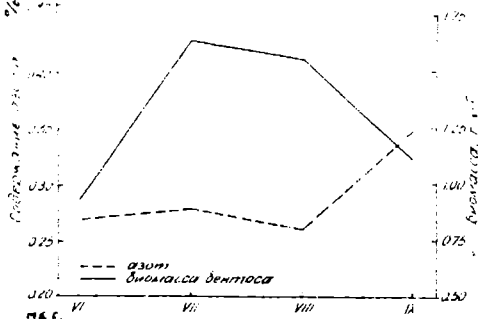


Рис.2. Сезонные изменения азота и биомассы бентоса в донных отложениях

лит автохтонному материалу.

**Азот.** Преобладающей формой его в осадках является азот органический, находящийся в составе органических соединений. Его концентрации колебались в пределах 0,37-0,63% (табл. I). Такое содержание в осадках водоемов Карелии считается средним.

Таблица I

Содержание азота в донных отложениях залива  
Большое Онего

№ станции	Азот органический, %	Нитриты	Нитраты
5	0,56	0,01	0,21
10	0,63	0,01	0,13
13	0,43	0,01	0,06
17	0,37	0,01	0,09
19	0,55	0,01	0,15
Буй	0,62	,01	0,16

Среднее содержание ионов аммония в донных отложениях колеблется в пределах 0,75-1,3 мг/100 г и лишь в августе, как

исключение, снижается до 0,2 мг/100 г, а к осени снова повышается, хотя максимальное его количество (1,3 мг) отмечено в июне. Содержание азота нитритов в осадках низкое – не превышает 0,01 мг на 100 г сухого грунта. Нитратные ионы среди других неорганических соединений связанного азота наиболее устойчивы. Концентрации их в осадках изменяются от 0,06 до 0,21 мг/100 г (табл.1).

Сезонными наблюдениями установлено, что количество нитритного азота остается почти неизменным, а нитратного – резко снижается весной (табл.2). В летнее время отмечалось неболь-

Таблица 2

Сезонные изменения содержания минеральных форм азота в осадках, мг/100 г сухого грунта

№ станции	Нитриты ( $\text{NO}_2$ )				
	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,012
10	0,01	0,01	0,01	–	0,010
13	0,01	0,01	0,01	0,01	0,011
17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,013
19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,011
Нитраты ( $\text{NO}_3$ )					
5	0,12	0,13	0,20	0,17	0,19
10	0,12	0,13	0,18	–	0,19
13	0,05	0,07	0,08	0,05	0,10
17	0,06	0,07	0,14	0,13	0,15
19	0,08	0,09	0,19	0,10	0,20

шое увеличение нитратов в донных отложениях. Несмотря на осеннюю циркуляцию воды, количество нитратов в осадках снизилось незначительно, а нитриты были в том же количестве. В подледный период наблюдается повышение концентрации нитратного азота и очень незначительное – нитритного. Увеличение последних, по-видимому, идет за счет процессов нитрификации в илах при зимней стагнации.

Содержание фосфатов является одним из основных факторов, лимитирующих высокую продуктивность водоемов. В осадках залива Большое Онего его концентрации низкие (табл.3). В пространственном распределении больших различий не наблюдается. Повышенные количества определены в донных отложениях с максимальным содержанием органического вещества.

Таблица 3

Содержание фосфора (общего и легкодоступного) в осадках залива Большое Онего, % от сухого вещества

№ станции	Общий	C/P	Легкодоступный	% от общего
5	0,14	23,9	0,004	2,9
11	0,14	21,6	0,004	2,9
13	0,17	32,2	0,004	2,4
17	0,06	13,5	0,007	11,7
19	0,17	30,8	0,004	2,4
Буд	0,07	47,2	0,004	5,7

В пространственном распределении общего фосфора отмечены значительные колебания, 2,651-1,167%. Максимальные значения принадлежат к слою ленточной глины. Содержание легкодоступного фосфора в колонке колеблется от 0,001 до 0,007%, кроме 1 образца монолита. Средняя концентрация его в этом горизонте глины составляет 0,004%.

Сильная сезонность концентрации фосфора в устьевода в водном бассейне проявляется в значительной сезонности обогащения. Относительно обогащение осадков фосфором может быть связано с выносом в водоем изверженных торфянистых пропластков, богатых фосфатами. Качественные различия в составе донного органического вещества могут проявиться в изменении отношения C/P в донных отложениях. Это отношение для биотопливита во взвеси около к 25, а для зоопланктона в оседлом составляет 40-42 [3]. В осадках залива Большое Онего отношение C/P изменяется в пределах 13,5-47,2 (см.табл.3). Обогащение грунтов фосфором можно объяснить следующими факторами: поступлением торфянистых фосфатов, а также осадчени-

Содержание фосфора (общего и легкоподвижного)  
в колонке донных отложений, %

Горизонт, м	Ф о с ф о р	
	общий	легкоподвижный
0-1	0,051	0,001
1-2	0,087	0,002
2-3	0,093	0,001
3-4	0,116	0,002
4-5	0,157	0,008
5-6	0,122	0,014
6-7	0,120	0,015
7-8	0,097	0,026
8-9	0,104	0,044

ем на дно растительных и планктонных остатков. По мнению Н.И. Семеновича [5], в условиях Онежского оз. терригенныйнос является основным источником фосфора, поступающего в осадки.

Другим источником является органическое вещество планктона, которое имеет подчиненное значение в обеспечении низкой биологической продуктивности озера и быстрого возврата фосфора в воду при разложении отмерших организмов.

Содержание легкогидролизуемого фосфора по сравнению с общим составляет 4,7-11,7% (см. табл.3), что свидетельствует об устойчивости фосфора в донных отложениях залива. Поэтому Онего и невысокой его мобилизации в донный раствор.

Сезонными наблюдениями установлено, что максимальное накопление легкоподвижного фосфора в грунтах происходит в зимний период (5,06 мг на 100 г сухого грунта). Заметное снижение его концентрации весной (до 3,6 мг) по сравнению с зимним сезоном, по всей вероятности, обусловлено весенней циркуляцией воды, способствующей равномерному распределению его в водной толще. Наименьшее количество легкоподвижного фосфора (2,21 мг/100 г сухого грунта) было определено в августе, в период максимальной численности и биомассы бентоса. По-видимому, в этот период он потребляется организмами.

Осенью содержание легкоподвижного фосфора увеличилось незначительно (до 2,6 мг). Можно полагать, что осенняя циркуляция усилила его миграцию и привела тем самым к выравниванию концентрации легкоподвижного фосфора в осадках и водной массе.

Распределение железа по отдельным участкам дна в один и тот же период неодинаково (табл.5). Это обусловлено раз-

Таблица 5

Среднее содержание железа и марганца в донных отложениях залива Большое Онего, мг/100 г сухого грунта

В станции	Железо ( Fe )		Марганец (Mn)	Mn/Fe
	окисное	общее		
5	773,46	898,04	1310,25	1,61
10	598,15	693,46	1250,74	1,98
13	159,37	200,14	1505,70	8,92
17	76,80	130,21	1425,01	9,82
19	291,55	358,45	199,03	0,92
Буй	390,00	474,79	336,71	0,57

личием окислительно-восстановительных условий, деятельностью микроорганизмов и содержанием органического вещества. Концентрации железа в донных отложениях изменяются в течение года. Летом при повышенных значениях pH железо переходит из растворенного состояния во взвешенное, а затем в осадок. Его содержание в донных отложениях летом выше, чем весной (табл.6). По-видимому, аккумулярованное в донных отложениях железо при смене окислительных условий на восстановительные способно переходить в подвижное состояние.

Накопление марганца в современных осадках обусловлено теми же причинами, что и железа, но тенденции к совместному осаждению с железом и углеродом не наблюдается. Отсутствие взаимосвязи марганца с этими элементами объясняется различными формами их переноса [5]. Если железо поступает в озеро большую часть года в растворенной форме, то марганец может

Динамика содержания железа в донных отложениях  
залива Большое Онего, мг/100 г сухого грунта

№ станции	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
5	532,16	870,0	940,0	1250,0
10	255,00	575,39	1250,0	-
13	159,09	235,00	245,0	252,0
17	108,70	151,52	320,0	629,57
19	200,0	550,00	581,71	590,1
Средние значения	250,99	476,38	667,39	680,1

мигрировать в основном в виде тонкодиспергированных коллоидных осадков [4]. Что касается пространственного распределения марганца по дну озера, то наибольшее содержание наблюдалось в осадках глубоководной части. Низкие концентрации его отмечены в Горской губе и губе Чебоксары.

Важной особенностью формирования донных отложений Онежского оз. является интенсивно протекающий процесс биогенного кремнеосаждения, что в конечном итоге приводит к образованию диатомовых осадков. В поверхностном слое грунта обнаружено 20% вида и разновидности диатомовых водорослей [5]. Из числа донных форм - *Stellera*, *Synedra* - 80%. Содержание в осадках кремния верхнего слоя отложений составляет от 40,0% до 63,0%. Область наибольшей концентрации кремнеосаждения занимает глубоководную часть дна, покрытую тонким слоем осадков, что связано, по-видимому, с одной стороны, с обильным поступлением диатомовых отложений отворок диатомовых водорослей, развивающихся в пелагиали открытого Онега, с другой, - с уменьшением роли разбавляющего влияния терригенного материала.

Подводя итог, можно сказать, что главная роль в формировании органического вещества принадлежит организмам планктона. Значительно меньшую долю составляет аллохтонный органический материал, на что косвенно указывает отношение  $C/N$  (в среднем 6,5), а также содержание гуминовых веществ и гуминовый коэффициент.



Количество органического вещества и наблюдающаяся неравномерность его размещения в поверхностном слое осадков определяются различием биологической продуктивности отдельных районов, особенностями гидродинамического режима, степенью разбавленности органического детрита, поступлением терригенного минерального материала, глубиной и рельефом дна.

Коэффициент фоссилизации довольно низкий — 0,02 (в среднем). Лabileе органическое вещество исследованных осадков составляет 40–55%. В среднем количество легкогидролизуемого органического вещества в поверхностном слое донных отложений около 50% от  $C_{\text{общ}}$ . Отмечена довольно тесная связь между количеством легкогидролизуемых компонентов и биомассой бентоса.

Содержание кремния в осадках высокое. Отмечена обратная зависимость между содержанием двуоксида кремния и дисперсностью осадка.

Сезонными наблюдениями установлено, что максимальное накопление как органических веществ, так и биогенных элементов в донных отложениях происходит в осенний и зимний периоды, летом их содержание заметно снижается.

### Литература

1. Б о р д о в с к а я Н. Г. Донные отложения и процесс осадкообразования. — Тр. института географии АН СССР, 1964, вып. 115, № 57, с. 73–84.

2. Д а в ы д о в а Н. Н. О диатомовых водорослях и современных отложениях Онежского озера. — В кн.: Предварительные результаты работ комплексной экспедиции по исследованию Онежского озера в 1965 г. Петрозаводск, 1967, вып. 2, с. 33–40.

3. Л и с и ц и н А. П. Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М., 1966. 574 с.

4. С е м е н о в и ч Н. И. Донные отложения Ладожского озера. М.; Л., 1966, с. 79–81.

5. С е м е н о в и ч Н. И. Донные отложения Онежского озера. Л., 1973. 104 с.

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО ВЫГОЗЕРА С ВОДОЙ

Выгозерское водохранилище является одним из крупных водоемов Карелии. Площадь зеркала водной поверхности - 1143 км<sup>2</sup>, максимальная глубина - 28 м, средняя - 6,2 м. Его северная часть (230 км<sup>2</sup>) подвержена интенсивному антропогенному воздействию, в результате чего здесь сформировался своеобразный (отличающийся от естественного) гидрохимический режим и состав донных отложений [2, 14]. В настоящее время существуют два основных источника поступления в водоем сточных вод: Мозогуба (очищенные сточные воды) и устье р.Сегежи (район бывшего выпуска).

Природные выгозерские воды, по данным Н.С.Харкевич [13], имеют сравнительно высокие величины перманганатной окисляемости (до 24 мгО/л) и цветности (60-120 град. имитационной шкалы), слабую интенсивность биохимических процессов (БПК<sub>5</sub> - 0,5-2,0 мгО<sub>2</sub>/л). Минерализация воды и жесткость (0,15-0,20 мг-экв/л) низкие. Водам свойственны постоянный дефицит растворенного кислорода (насыщение 75-95%) и низкое содержание минеральных форм биогенных элементов (фосфатов не более 0,005 мгР/л, нитратов от 0,03 осенью до 0,50 мг/л зимой, аммония до 0,4 мг/л). Природные воды относятся к мезо-полиэумозному типу.

С введением в 1976 г. на Сегежском ЦБК биологической очистки сточных вод уменьшилось поступление в водоем легко-окисляемых органических веществ (степень очистки по БПК<sub>5</sub> составляет 80-90%), в том числе и токсичных, но по-прежнему велико содержание биохимически трудноокисляемых веществ: лигнина и продуктов его распада. Степень очистки по ЦБК составляет 30%. При этом увеличилась биогенная нагрузка на водоем, прежде всего фосфатная. Содержание минерального фосфора (основного лимитирующего элемента развития фитопланктона) в 5-10 раз больше в северо-западной части водохранилища, чем в условно чистых районах (Сенная губа, центральный плес). Особенности исследуемого периода заключается в том, что умень-

шилось соотношение минерального и органического фосфора. В местах наибольшего влияния очищенных сточных вод отношение  $P_{\text{мин}}:P_{\text{орг}} \gg 1$ , тогда как для природных вод оно  $\ll 1$  ( $\frac{1}{5-8}$ ).

#### Краткая характеристика донных отложений Северного Выгозера и их зональность

Донные отложения северной части водохранилища, по данным К.К.Полякова [10], представлены различными типами: ил мелкоалевритовый - 21%, ил с плохо разложившимися растительными остатками - 22%, ил с примесью песка - 35%, песок и глина - 20%. Фактически ил приурочены к наиболее глубоководным участкам ( $> 10$  м). Толщина слоя илов не превышает 1 м. До пуска станции биологической очистки донные отложения испытывали антропогенное влияние на площади 6 км<sup>2</sup> [2].

На основании ранее выполненных исследований [2] и проведенных Отделом водных проблем в 1981-1983 гг. в Северном Выгозере можно выделить 4 характерные зоны осадков, отличающиеся друг от друга содержанием антропогенных продуктов [8].

В районе притока неочищенных сточных вод (зона I) донные отложения полностью сформированы из полупереработанных отходов целлюлозно-бумажного производства: кора, древесные остатки, целлюлоза, лигнин и др.

Второй тип донных отложений в 10-30 см толщиной, формируемый очищенными сточными водами (зона II), образован преимущественно глина, выносимого со сточных биологической очистки, также лигнином, мелкими и крупными продуктами целлюлозно-бумажного производства, осевшими на дно.

Третий тип донных отложений сформирован в результате перемещения сточных вод, распространившихся в прибрежной области. Процесс седиментации, аэрации приводит к образованию органических продуктов в донных отложениях.

Район чистой воды (IV зона) является условно чистой. Характеризует природные процессы, протекающие в Выгозере.

Донные отложения всех зон отличаются содержанием органических веществ, биогенных элементов, величиной потребления кислорода (ПК), а также содержанием летучих с паром органических веществ (ЛОВ), фенолов и углеводородов (табл. I). Содержание органических веществ оценивали исходя из по-

тери при прокаливании. Суточное потребление кислорода определяли скляночным методом. Кислородную склянку объемом 120-150 мл заполняли выгозерской водой, вносили 1 мл донных отложений верхнего перемешанного 10-см слоя, экспонировали в темноте при 20°. По разности содержания кислорода в исходной воде и при наличии ила с учетом БПК<sub>I</sub> воды вычисляли количество кислорода, израсходованное на окисление 1 мл ила. Умножая данную величину на 10<sup>4</sup>, получали косвенную характеристику суточного потребления кислорода 1 м<sup>3</sup> донных отложений за счет химических и биохимических процессов окисления. Чтобы выяснить, насколько эти величины отражают истинное потребление кислорода в естественных условиях, специальных исследований не проводилось. Несмотря на это, они позволяют судить в сравнительном плане об интенсивности процессов потребления O<sub>2</sub> различными донными отложениями.

Химическое потребление кислорода илом определяли бихроматным методом по Тюрину [1], пересчитыв-

Таблица I

Химический состав донных отложений Северного Выгозера

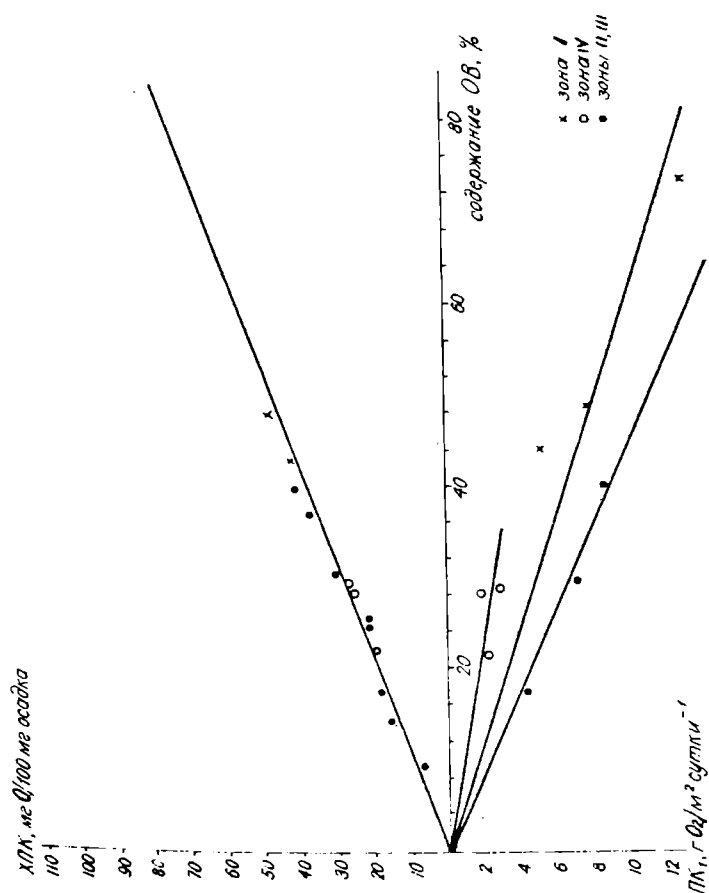
Зона водосема	Зольность, %	ХПК, мгО/100мг осадка	ЛОВ, %	Фенолы, %	Углеродороды, %	ПК <sub>I</sub> , 2 гО <sub>2</sub> /м <sup>3</sup> сутки	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , %	N орг., %	P общ., %
I	30-50	50-70	0,05-0,15	0,0004-0,0007	I-I	8-12	0,05	0,4	0,14
II	60	40	0,04-0,08	0,0001	0,5-1,0	7-9	0,08-0,13	0,5-0,6	0,20
III	70-80	20-30	0,03-0,06	0,00006-0,0001	0,14-0,60	2,5-4,0	0,04-0,06	0,2-0,5	0,12-0,18
IV	75	25	0,02	0,00006	0,2	2-3	0,04	0,25	0,15

вая на 100 мг осадка. Содержание летучих с паром органических веществ проводили по ХПК их отгона. Навеску донных отложений помещали в колбу, добавляли 0,5 л воды, подкисляли до  $\text{pH} \sim 1$  и проводили отгонку ЛОВ с паром (объем отгона составил 0,4 л). В последнем определяли и содержание летучих с паром фенолов с 4-диметиламиноантипирином [4]. Углеводороды выделяли экстракцией  $\text{CCl}_4$  с последующим отделением полярных соединений на хроматографической окиси  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и ИК-спектроскопическим окончанием. Общий фосфор определяли персульфатным методом. Для устранения мешающего влияния железа пробы катионировали. Для определения аммонийного азота использовали микродиффузионный способ дистилляции аммиака [12], применив его и к донным отложениям. Общий азот определяли по Кьельдалю. Для всех анализов, за исключением углеводородов, ЛОВ и фенолов, брали воздушно-сухие образцы. Чтобы избежать при высушивании потерь ЛОВ, фенолов и углеводородов, для их определения использовали образцы натуральной влажности, которые предварительно центрифугировали. Анализировали твердую фракцию.

Следует отметить, что наибольшее содержание органических веществ, в том числе фенолов, ЛОВ и углеводородов, выявлено в I зоне, что и следовало ожидать, учитывая характер осадков в этом районе (табл. I). Биогенных элементов больше всего в донных отложениях II зоны, что связано с содержанием здесь активного ила. IV зона — условно чистая, в ее осадке содержится меньше всего органических веществ и биогенных элементов. Химический состав донных отложений глубоководных станций ( $> 15 \text{ м}$ ) II зоны близок к таковому II зоны; менее 17 метровых ( $< 10 \text{ м}$ ) — к составу IV зоны.

С вышеизложенным несколько не согласуются данные по потреблению кислорода (рис. I). Если ХПК осадков пропорционально содержанию ОВ, определенному по потере при прокаливании, и независимо от их антропогенных составляющих, то потребление кислорода, обусловленное главным образом биохимическими процессами окисления, зависит от характера донных отложений, а пропорциональность содержания ОВ сохраняется лишь в пределах каждой из зон. Несмотря на высокую химическую "калорийность" ОВ осадков I зоны, ХПК здесь меньше, чем во II и III. По

Рис. 1. Зависимость ХПК и потребность кислорода в аэробном разложении органических веществ от содержания органических веществ



видимому, эти осадки угнетают развитие микрофлоры, что значительно увеличивает время их естественного разложения. Илы IV зоны содержат меньше всего биохимически окисляемых  $\text{СВ}$ , а во II и III, наоборот, их содержание наибольшее и здесь следует ожидать бурное развитие донных организмов.

#### Различные донные отложения Лезерного Витозера на состав его воды

Изучение донного биотруса представляет большой научный и практический интерес. Тем не менее, в донных отложениях Лезерного Витозера было отмечено, что в них живут разные виды организмов: растения, грибы, животные, микроорганизмы и т.д. В донных отложениях Лезерного Витозера, а также в донных отложениях других водоемов, на поверхности донного осадка, как правило, встречаются колонии микроорганизмов, которые в свою очередь могут быть причиной заболеваний животных и человека. Поэтому изучение донных отложений и их влияния на состав воды, особенно в водоемах, имеющих большое значение для населения, является актуальным.

Известно, что донные отложения представляют собой сложную систему, в которой происходит обмен веществ между донными организмами и водной средой. В донных отложениях Лезерного Витозера, а также в донных отложениях других водоемов, на поверхности донного осадка, как правило, встречаются колонии микроорганизмов, которые в свою очередь могут быть причиной заболеваний животных и человека.

Известно, что донные отложения представляют собой сложную систему, в которой происходит обмен веществ между донными организмами и водной средой. В донных отложениях Лезерного Витозера, а также в донных отложениях других водоемов, на поверхности донного осадка, как правило, встречаются колонии микроорганизмов, которые в свою очередь могут быть причиной заболеваний животных и человека.

Известно, что донные отложения представляют собой сложную систему, в которой происходит обмен веществ между донными организмами и водной средой. В донных отложениях Лезерного Витозера, а также в донных отложениях других водоемов, на поверхности донного осадка, как правило, встречаются колонии микроорганизмов, которые в свою очередь могут быть причиной заболеваний животных и человека.

Проведенные натурные наблюдения на водоеме в 1961-1963 гг. в период открытой воды показали, что химический состав надпловых вод незначительно отличается от такового вышележащих слоев (пробы воды верхних горизонтов анализировали без фильтрования). Это связано не с отсутствием "отдачи" дном, а со свойственной Выгозерскому водохранилищу высокой динамичностью вод [5].

В августе 1963 г. на глубоководной станции было обнаружено резко выраженное неравномерное распределение биогенных элементов и кислорода по вертикали (табл.2). Содержание взвешенных и органических веществ почти однородное от поверхности до дна, тогда как концентрации Fe общ., Р мин., Naми, начиная с глубины 19 м и до дна, постепенно увеличиваются, а содержание кислорода, наоборот, уменьшается.

Величины  $\text{ПК}_5$  практически одинаковы на всех горизонтах (0,4  $\text{мгO}_2/\text{л}$ ), следовательно, уменьшение ко дну концентрации  $\text{O}_2$  связано с потреблением его донными отложениями. Концентрации главных ионов на всех горизонтах почти не отличаются. Таким образом, доказано, что в Выгозере основными компонентами "отдачи" донными отложениями в естественных условиях являются  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ . Оценить поступление биогенных элементов из донных отложений в воду в природных условиях представляет собой трудную задачу. Часто используют балансовые методы расчета [9]. Зная приток, сток, изменение запаса вещества в водоеме, можно оценить соотношение скоростей седиментации и выноса вещества из донных отложений. Этот метод требует длительных наблюдений за водным режимом, химическим составом, первичной продукцией и деструкцией. Если точечные источники поступления веществ возможно учесть достаточно полно, то неточечные, как, например, поступление со склоновым стоком, - почти невозможно.

По данным табл.2 можно рассчитать поступление веществ из донных отложений в воду, если известно истинное потребление кислорода илом. Воспользуясь величиной  $\text{ПК}$  (об условности этого показателя уже говорилось) и рассчитав дефицит кислорода над  $1 \text{ м}^2$  по сравнению с поверхностным слоем воды, получим, что дефицит такого порядка установился в течение 5-6 дней. Аналогично рассчитываем и избыток биогенных элементов



Таблица 2

Изотопное распределение вещества на глубоководной  
станции Северного Витозера в августе 1983 г.

Горизонт, м	Fe осед., мг/л	P осед., мг/л	$\text{NH}_4^+$ , мг/л	$\text{O}_2$ , мг/л	Вывеш. вещ., мг/л	ХПК, мгО/л	ПО, мгО/л
1,0	0,25	5,5	0,04	8,25	3,0	30	11,2
14,0	0,27	4,3	0,02	8,42	3,0	30	11,7
19,0	0,35	11,7	0,06	6,96	3,6	29	12,2
21,0	0,66	42	не опр.	3,23	2,5	32	13,8
24,0	0,99	70	0,11	не опр.	2,2	28	12,3
24,5	1,07	76	0,33	1,85	—	28	14,1
Порог до 41	1,13	85	0,37	1,55	—	31	14,7
Порог до 100	11,71	725	2,31	—	—	110	50,2

над  $1 \text{ м}^2$ . Отсюда можно вычислить поступление биогенных элементов из донных отложений в воду. Для фосфатов оно составило  $30 \text{ мгР/м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ , для аммония —  $90 \text{ мгН/м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ . Фактически расчет был выполнен по натурным данным для стационарной модели.

Для оценки поступления веществ из донных отложений в воду используют главным образом лабораторное моделирование. Некоторые варианты опытов по обмену ил — вода описаны в работе Н.Н. Мартиновой [6]. Результаты, они не дают полного ответа на поставленный вопрос, но определенную информацию получить можно.

Учитывая, что наливные воды в Витозере мало отличаются от поверхностных, время лабораторного опыта по константу ил — вода

да было выбрано мичи-мальным (1-3 суток). Для опытов использовали или с ненарушенной стратификацией при соотношении ил:вода 2:1. Эксперимент проводили в специальных приборах (рис.2), что позволило избежать взмучивания ила.

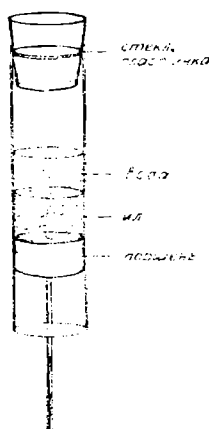


Рис.2. Прибор для изучения поступления веществ из донных отложений в воду

Ненарушенный слой ила из стратометра вводили в опытный цилиндр. Вставляли поршень, подводили ил до пластины, заливали 50 мл воды в стакан и с помощью пипетки опускали слой ил - вода. Через определенные промежутки времени воду вытесняли в стакан и анализировали ее. Опыт с одним и тем же образцом ила повторяли несколько раз.

Кинетика поступления веществ из донных отложений в воду показана на рис.3. Увеличение поступления веществ в воду с ростом времени не наблюдается. По-видимому, при выжигании соотношении ил - вода в течение суток успевает установиться равновесное распределение веществ, а увеличение в моменты или большую сторону связано с негнотельностью эксперимента. Повторное экспонирование донных отложений с водой в течение суток дало приблизительно такую же величину поступления. На илах днепровских водохранилищ лабораторные опыты показали, что при содержании ортофосфатов 0,5 мгР/л и ионов аммония 50 мгН/л седиментация преобладает над выносом [8]. В нашем случае равновесные концентрации фосфатов и  $\text{NH}_4^+$  были в тех же пределах.

Поступление в воду ионов  $\text{NH}_4^+$  составляет десятки процентов от содержания его в поровом растворе донных отложений,

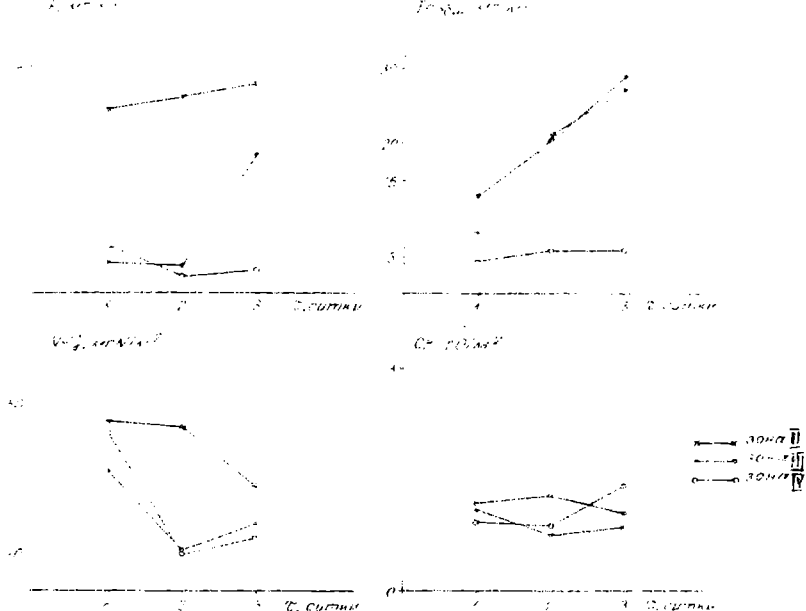


Рис.3. Кинетика поступления веществ из донных осадочных различных зон Северного Балтийского моря в воду

около 1% от количества  $\text{NH}_4^+$ , сорбированного поглощающим комплексом илов, и порядка 0,1% от органического азота, содержится в иле. Доля поступления фосфатов составляет не более 0,05% от содержания общего фосфора в илах каждой из зон. Превышение величины находится в тех же пределах, что и в Рыбинском водохранилище [11]. В динамических условиях (механическое перемешивание донных отложений с водой) наблюдается в 2 раза большее поступление в воду аммонийного азота и на порядок выше — фосфатов и органических веществ. Следовательно, вынос органической взвеси из донных отложений в воду будет наблюдаться в основном в мелководной зоне (например, в

Дайноуиче .

[illegible]

Наряду с традиционными методами работы по заливке шлам  
ной в воду в водоеме. Наполнение шламных отстойников  
щит. Караксан состоит из следующих элементов: 1) 2) 3) 4) 5) 6) 7) 8) 9) 10) 11) 12) 13) 14) 15) 16) 17) 18) 19) 20) 21) 22) 23) 24) 25) 26) 27) 28) 29) 30) 31) 32) 33) 34) 35) 36) 37) 38) 39) 40) 41) 42) 43) 44) 45) 46) 47) 48) 49) 50) 51) 52) 53) 54) 55) 56) 57) 58) 59) 60) 61) 62) 63) 64) 65) 66) 67) 68) 69) 70) 71) 72) 73) 74) 75) 76) 77) 78) 79) 80) 81) 82) 83) 84) 85) 86) 87) 88) 89) 90) 91) 92) 93) 94) 95) 96) 97) 98) 99) 100) 101) 102) 103) 104) 105) 106) 107) 108) 109) 110) 111) 112) 113) 114) 115) 116) 117) 118) 119) 120) 121) 122) 123) 124) 125) 126) 127) 128) 129) 130) 131) 132) 133) 134) 135) 136) 137) 138) 139) 140) 141) 142) 143) 144) 145) 146) 147) 148) 149) 150) 151) 152) 153) 154) 155) 156) 157) 158) 159) 160) 161) 162) 163) 164) 165) 166) 167) 168) 169) 170) 171) 172) 173) 174) 175) 176) 177) 178) 179) 180) 181) 182) 183) 184) 185) 186) 187) 188) 189) 190) 191) 192) 193) 194) 195) 196) 197) 198) 199) 200) 201) 202) 203) 204) 205) 206) 207) 208) 209) 210) 211) 212) 213) 214) 215) 216) 217) 218) 219) 220) 221) 222) 223) 224) 225) 226) 227) 228) 229) 230) 231) 232) 233) 234) 235) 236) 237) 238) 239) 240) 241) 242) 243) 244) 245) 246) 247) 248) 249) 250) 251) 252) 253) 254) 255) 256) 257) 258) 259) 260) 261) 262) 263) 264) 265) 266) 267) 268) 269) 270) 271) 272) 273) 274) 275) 276) 277) 278) 279) 280) 281) 282) 283) 284) 285) 286) 287) 288) 289) 290) 291) 292) 293) 294) 295) 296) 297) 298) 299) 300) 301) 302) 303) 304) 305) 306) 307) 308) 309) 310) 311) 312) 313) 314) 315) 316) 317) 318) 319) 320) 321) 322) 323) 324) 325) 326) 327) 328) 329) 330) 331) 332) 333) 334) 335) 336) 337) 338) 339) 340) 341) 342) 343) 344) 345) 346) 347) 348) 349) 350) 351) 352) 353) 354) 355) 356) 357) 358) 359) 360) 361) 362) 363) 364) 365) 366) 367) 368) 369) 370) 371) 372) 373) 374) 375) 376) 377) 378) 379) 380) 381) 382) 383) 384) 385) 386) 387) 388) 389) 390) 391) 392) 393) 394) 395) 396) 397) 398) 399) 400) 401) 402) 403) 404) 405) 406) 407) 408) 409) 410) 411) 412) 413) 414) 415) 416) 417) 418) 419) 420) 421) 422) 423) 424) 425) 426) 427) 428) 429) 430) 431) 432) 433) 434) 435) 436) 437) 438) 439) 440) 441) 442) 443) 444) 445) 446) 447) 448) 449) 450) 451) 452) 453) 454) 455) 456) 457) 458) 459) 460) 461) 462) 463) 464) 465) 466) 467) 468) 469) 470) 471) 472) 473) 474) 475) 476) 477) 478) 479) 480) 481) 482) 483) 484) 485) 486) 487) 488) 489) 490) 491) 492) 493) 494) 495) 496) 497) 498) 499) 500) 501) 502) 503) 504) 505) 506) 507) 508) 509) 510) 511) 512) 513) 514) 515) 516) 517) 518) 519) 520) 521) 522) 523) 524) 525) 526) 527) 528) 529) 530) 531) 532) 533) 534) 535) 536) 537) 538) 539) 540) 541) 542) 543) 544) 545) 546) 547) 548) 549) 550) 551) 552) 553) 554) 555) 556) 557) 558) 559) 560) 561) 562) 563) 564) 565) 566) 567) 568) 569) 570) 571) 572) 573) 574) 575) 576) 577) 578) 579) 580) 581) 582) 583) 584) 585) 586) 587) 588) 589) 590) 591) 592) 593) 594) 595) 596) 597) 598) 599) 600) 601) 602) 603) 604) 605) 606) 607) 608) 609) 610) 611) 612) 613) 614) 615) 616) 617) 618) 619) 620) 621) 622) 623) 624) 625) 626) 627) 628) 629) 630) 631) 632) 633) 634) 635) 636) 637) 638) 639) 640) 641) 642) 643) 644) 645) 646) 647) 648) 649) 650) 651) 652) 653) 654) 655) 656) 657) 658) 659) 660) 661) 662) 663) 664) 665) 666) 667) 668) 669) 670) 671) 672) 673) 674) 675) 676) 677) 678) 679) 680) 681) 682) 683) 684) 685) 686) 687) 688) 689) 690) 691) 692) 693) 694) 695) 696) 697) 698) 699) 700) 701) 702) 703) 704) 705) 706) 707) 708) 709) 710) 711) 712) 713) 714) 715) 716) 717) 718) 719) 720) 721) 722) 723) 724) 725) 726) 727) 728) 729) 730) 731) 732) 733) 734) 735) 736) 737) 738) 739) 740) 741) 742) 743) 744) 745) 746) 747) 748) 749) 750) 751) 752) 753) 754) 755) 756) 757) 758) 759) 760) 761) 762) 763) 764) 765) 766) 767) 768) 769) 770) 771) 772) 773) 774) 775) 776) 777) 778) 779) 780) 781) 782) 783) 784) 785) 786) 787) 788) 789) 790) 791) 792) 793) 794) 795) 796) 797) 798) 799) 800) 801) 802) 803) 804) 805) 806) 807) 808) 809) 810) 811) 812) 813) 814) 815) 816) 817) 818) 819) 820) 821) 822) 823) 824) 825) 826) 827) 828) 829) 830) 831)

[illegible]

Основные результаты опыта. В период короткой зимы при осаднении взвешенных веществ, причем в присутствии органики и фосфатами. Соосаждения  $\text{NH}_4^+$  не отмечено. Большая часть осевшей взвеси составляют органические вещества. В среднем средних глубин каждой из зон получили, что в среднем во зоне осадконакопления составляет в среднем около 0,5 г/м<sup>2</sup>

сутки<sup>-1</sup>, в II - 2,6. IV - 0,8. Эти данные согласуются с результатами натурных наблюдений по осадконакоплению в зимний период. Превышение их в 30 раз и более закономерно, поскольку в период открытой воды седиментация значительно выше, чем в ледостав, за счет разлива береговой линии, склонового поступления взвешенных частиц и большего поступления их с водосбора. На основании результатов лабораторных опытов составлена табл.3, отражающая как седиментацию, так и вынос био-

Таблица 3

Поступление биогенных элементов ( $\text{мг/м}^2$  сутки<sup>-1</sup>) и органических веществ ( $\text{гО/м}^2$  сутки<sup>-1</sup>) из воды в донные отложения (числитель) и из донных отложений в воду (знаменатель) в статических условиях (лаб.опыт)

Зона водоема	P	$\text{NH}_4^+$	Fe общ	Орг. вещ.
II	<u>4,6(0,6)</u>	<u>0-17(0-0,3)</u>	<u>17(1,2)</u>	<u>6,0(1,7)</u>
	5,3(1,0)	45(1,4)	16(0,9)	0,3(0,1)
III	<u>1,9(0,6)</u>	<u>0</u>	<u>51(1,2)</u>	<u>2,2(0,9)</u>
	1,8(0,6)	28(2,0)	29(0,7)	0,4(0,1)
IV	<u>1,2(2,3)</u>	<u>5,1(0,2)</u>	<u>2(2,2)</u>	<u>0,8(0,2)</u>
	0,8(1,4)	23(3,5)	3,6(0,1)	0,4(0,1)

Примечание. В скобках указано процентное изменение концентрации компонентов в воде в результате обмена веществ на границе вода - дно.

генных элементов и органических веществ. Седиментация органических веществ преобладает над их выносом (в 2-17 раз), причем чем больше загрязнена вода, тем сильнее это выражено. Поступления  $\text{NH}_4^+$  в донные отложения не происходит, наблюдается его вынос. Седиментация Fe преобладает над его выносом из донных отложений в воду. Седиментация и вынос фосфатов одного порядка. Изменение концентрации компонентов в воде в результате их перехода из воды в донные отложения и наоборот не существенно (не превышает 3,5%). Наиболее ощутим эффект "отдачи" дном в условно чистой зоне.

в зонах II и III фактором, обуславливающим качество воды, является поступление сточных вод. При их отсутствии донные отложения являются источником эвтрофирования.

#### Выводы

1. Выделены зоны донных отложений Северного Выгозера, отличающиеся степенью содержания антропогенных продуктов.
2. В натуральных условиях выявлено, что основными компонентами "отдачи" дном являются  $\text{PO}_4^{=}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ .
3. Методом лабораторного моделирования установлено, что седиментация веществ в Северном Выгозере преобладает над их выносом из донных отложений.
4. Определены величины поступления биогенных элементов из донных отложений в воду, а также седиментация как в натуральных условиях, так и в эксперименте.

#### Литература

1. А р и н у ш к и н а Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1970. 487 с.
2. В а с и л ь е в а Е. П. Химический состав донных отложений Выгозера. — В кн.: Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969, с.60-65.
3. Д е н и с о в а Л. И., Ш е б е т а х а Р. Г. Роль донных отложений в формировании гидрохимического режима водоемов. — В кн.: Крутооборот веществ и биологическое самоочищение водоемов. Киев, 1980, с.24-31.
4. К а п л и н В. Т., Ф е с е н к о Н. Т. Колориметрическое определение фенолов с помощью диметиламиноантипирина (пирамидона) при содержании их в литре 0,001 мг и выше. — В кн.: Современные методы анализа природных вод. М., 1962, с.136-140.
5. Л и ф ш и ц В. Х., П о л я к о в Е. К. Гидрологические исследования Выгозера в зоне действия Сегежского ЦБК. — В кн.: Вопросы гидрологии, озероведения и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969, с.4-29.

6. Лозовик П.А. Органическое вещество и биогенные элементы в поровых растворах донных отложений Выгозерского водохранилища. - В кн.: Комплексное изучение водных ресурсов Карелии. Сперат.-инф. материалы. Петрозаводск, 1982, с.22-24.

7. Лозовик П.А., Мартынова Н.Н. Трансформация веществ в системе вода - взвесь в лабораторном эксперименте. - В кн.: Исследования Онежской губы Белого моря и водоемов его бассейна. Петрозаводск, 1984, с.62-65.

8. Лозовик П.А., Родькина И.С., Мартынова Н.Н. и др. Влияние донных отложений Выгозерского водохранилища на химический состав его воды. - В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах: Тез. докл. IV Всесоюз. симпози. Петрозаводск, 1984, с.69-71.

9. Мартынова Н.Н. Донные отложения как источник поступления азота и фосфора в водную массу. - Водные ресурсы, 1981, № 1, с.164-182.

10. Поляков Ю.К. Донные отложения Выгозера. - В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978, с.57-63.

11. Трифонова Н.А., Зыликина А.А. О влиянии донных отложений на содержание биогенных элементов в воде. - В кн.: Гидрологические и гидрохимические аспекты изучения водохранилищ. Борок, 1977, вып.36(39), с.74-81.

12. Трифонова Н.А., Калинина И.А. Об определении общего азота в воде. - Биология внутр. вод: Информ. бюл., 1969, № 10, с.64-66.

13. Маркевич Н.С. Влияние сточных вод Сегезского ЦБК на химический состав и качество вод р.Сегежи и Выгозера. - В кн.: Вопросы гидрологии, озероустройства и водного хозяйства Карелии. Петрозаводск, 1969, с.30-59.

14. Маркевич Н.С. Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища. - В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978, с.107-130.

# ЛАБИЛЬНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ ОЗЕР КЮЙТО

Большие холодноводные и глубоководные олиготрофные озера Северной Карелии (Топозеро, Пяозеро, озера Куйто; площадь более 600 км<sup>2</sup>) довольно слабо изучены в отношении спектра, распределения и преобразования различных форм органического вещества, особенно это касается озер Верхнее, Среднее и Нижнее Куйто. Вместе с тем гидрологический, гидрохимический, гидробиологический режим этих озер обладает рядом специфических особенностей (температурный режим, условия питания, солнечная радиация), значительно отличающих их от водоемов умеренных широт.

Короткий вегетационный период в северных озерах Карелии является важной предпосылкой напряженных трофических и конкурентных взаимоотношений водных организмов, что может в той или иной мере отразиться на их взаимодействии со средой. Отсюда следует, что изменения в химическом составе вод северных озер, определяющиеся изменениями их биологической обстановки, могут быть прослежены в течение короткого времени. Естественно, изменения затрагивают прежде всего те компоненты химического состава, которые наиболее активно участвуют в биохимическом процессе.

Исследования на озерах Куйто были выполнены весной (июнь), летом (июль-август), осенью (сентябрь-октябрь) 1982 г. и зимой (март) 1983 г. Пробы отбирали на постоянных станциях, где выполнялись комплексные лимнологические работы. При исследовании состава органических веществ наибольшее внимание было уделено биохимически подвижным органическим соединениям. В пробах воды определяли концентрации свободных и связанных аминокислот, углеводов, липидов. Применявшиеся для этих определений методы описаны в работах [2, 3, 5].

Косвенные показатели содержания органических веществ (цветность, перманганатная и бихроматная окисляемость, БПК<sub>5</sub>) и концентрацию биогенных элементов определяли по методикам.



изложенным в работе О.А.Алентина с соавт. [1], а органический углерод — фотохимическим методом [3].

Различные участки озер Куйто слабо отличаются по степени трофии, поэтому для наблюдения за содержанием биохимически подвижных групп органического вещества было выбрано по одной станции, расположенной в центральном глубоководном ямсе. Воды озер очень маломинерализованы с незначительными колебаниями минерализации по системе озер, их акватории, глубине и сезонам (табл.1.).

Таблица 1

Минерализация и некоторые показатели органического вещества (средние данные) в воде озер Куйто в 1960-1983 гг.

Озера Куйто	Общая жестк., мг/л	НН	ВН	МД, град.	БПК <sub>5</sub>	ХПК
		мгСО <sub>2</sub> /л			мгСО <sub>2</sub> /л	
Весна						
Верхнее	21,1	11,0	22,2	59	0,54	2,18
Среднее	21,1	8,6	20,7	41	0,32	1,89
Нижнее	20,0	7,6	18,3	37	0,56	1,72
Лето						
Верхнее	17,8	12,1	18,9	55	0,44	1,03
Среднее	19,1	9,0	17,3	44	0,32	1,14
Нижнее	19,4	8,6	15,6	47	0,35	0,84
Осень						
Верхнее	17,8	10,0	17,9	46	0,23	1,31
Среднее	21,4	8,9	16,3	47	0,40	1,38
Нижнее	20,8	8,4	15,4	38	0,32	1,02
Зима						
Верхнее	22,5	9,0	21,3	46	0,76	2,11
Среднее	23,6	8,7	20,0	42	1,37	1,46
Нижнее	22,9	8,0	20,2	44	0,95	1,05

Природные воды бедны биогенными элементами. Так, содержание органического фосфора в них в течение года не превышает 28 мкгР/л. В фотическом слое обычно является концентрации 10-20, а в глубинных - 6-13 мкгР/л. Содержание минерального фосфора в среднем составляет 2 мкгР/л. Концентрация органического азота колеблется в пределах 150-654 мкгN/л. Из минеральных форм азота преобладает аммонийная (в среднем 130 мкгN/л).

Бедность воды биогенными элементами, недостаток солнечной радиации обусловили незначительное образование органического вещества за счет фотосинтеза. Интенсивность его в весенне-летний период в фотическом слое составляет в Верхнем Куйто 0,06-0,49, Среднем - 0,0-0,57 и Нижнем - 0,00-0,46 мкгО<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>.

Органические вещества в озерах алтохтонного (гумусового) происхождения. Величины цветности воды, перманганатной и бихроматной окисляемости в воде озер приведены в табл.1. Содержание С<sub>орг</sub> колеблется в пределах 6-10 мгС/л (табл.2). Если величина минерализации увеличивается от Верхнего Куйто к Нижнему, то косвенные показатели органического вещества, наоборот, уменьшаются. Нестойкие органические соединения, окисляемые биохимическим путем, составляют 4-16% от общего их содержания (по БИК<sub>5</sub>).

Диапазон изменений концентрации свободных аминокислот в водах озер Куйто довольно узок (табл.2) и сравним с наблюдавшимися на озерах Топозеро, Лиезеро (Северная Карелия; 1-10 мкгN/л), на заповедных озерах Кривом и Крутом (2-15 мкгN/л) и на оз.Дальнем (Камчатка; 2-14 мкгN/л) [10,4,8]. По вертикали концентрация свободных аминокислот в вегетационные периоды уменьшается ко дну (табл.2, см.рис.). В зимний период содержание свободных аминокислот в Верхнем и Нижнем Куйто увеличивается в придонном слое воды (табл.2).

Следует отметить аномальное распределение свободных аминокислот в Среднем Куйто весной и зимой (табл.2). Очевидно, это обусловлено повышенной бактериальной деятельностью бактерий. Численность бактерий зимой в слоях повышенных концентраций свободных аминокислот чуть выше, чем в других слоях воды, на 50-60 тыс.х 10<sup>3</sup> кл/мл.



## Содержание органических соединений в воде озер Куйто

Озера	Углерод, мг/л	Белки, мг N/л	Аминокислоты свободные, мг N/л	Углево- ды, мг/л	Липиды, мкг/л
Весна, 06.82					
Верхнее	7,4*	88,0	2,4	1,50	306
	7,7	46,5	4,1	3,1	Не опр.
Среднее	7,1	134,0	5,5	2,36	70
	7,4	104,0	7,0	2,66	Не опр.
Нижнее	6,6	52,5	2,2	1,70	90
	6,8	222,0	4,7	1,36	40
Лето, 08.82					
Верхнее	7,4	65,0	4,2	2,24	130
	9,7	74,5	3,5	1,68	61
Среднее	9,0	67,0	7,2	1,76	50
	9,6	40,0	3,1	1,85	Не опр.
Нижнее	7,1	70,5	2,3	1,44	Не опр.
	6,8	68,5	2,2	3,37	-
Осень, 09.82					
Верхнее	7,2	84,0	5,1	2,56	30
	6,8	130,5	5,5	0,88	40
Среднее	6,0	78,5	11,8	0,7	20
	5,8	174,0	2,0	0,78	Не опр.
Нижнее	6,4	81,0	1,2	0,70	Не опр.
	7,2	81,0	5,5	1,12	-

\* В числителе - в поверхностном горизонте, в знаменателе - в придонном.

Содержание белковоподобных веществ (связанные аминокислоты) постоянно превышало концентрации свободных аминокислот (табл.2). Отношение концентрации свободных аминокислот к содержанию белковоподобных веществ в период исследования изменялось от 3 до 16% (табл.3). Наиболее высокий процент этого от-

Содержание органического азота и соотношение между  
азотсодержащими органическими соединениями в воде  
озер Куйто (1982-1983 гг.)

Сезон и дата отбора проб	Плуконина, м	N орг, мг/л	N алипо- н. кислот N орг	N белков N орг	Амино- кислоты, мг/л	x100 %
1	2	3	4	5	6	
Верхнее Куйто, ст.21						
Весна	0,5	0,36	0,007	0,23	3,0	
14.06.82	5,0	0,27	0,03	0,26	11,5	
	23,0	0,27	0,02	0,17	11,8	
Лето	0,5	0,42	0,01	0,15	6,7	
31.07.82	5,0	0,65	0,005	0,12	4,2	
	19,0	0,90	0,004	0,08	5,0	
Осень	0,5	0,12	0,03	-	-	
28.09.82	16,0	0,49	0,008	0,14	5,7	
Зима	0,5	0,39	0,01	0,22	4,5	
12.03.83	10,0	0,41	0,01	0,32	3,1	
Среднее Куйто, ст.31						
Весна	0,5	0,16	0,03	0,8	3,8	
12.06.82	5,0	0,14	0,02	0,8	2,5	
	15,0	0,20	0,04	0,5	8,0	
Лето	0,5	0,09	0,08	1,0	8,0	
14.08.82	5,0	0,30	0,02	0,21	9,5	
	15,3	0,60	0,004	0,07	5,7	
Осень	0,5	0,22	0,01	-	-	
4.10.82	17,0	0,22	0,04	-	-	
Зима	0,5	0,59	0,02	0,13	15,4	
8.03.83	5,0	0,49	0,02	0,11	18,2	
	16,5	0,84	0,003	0,14	2,1	
Нижнее Куйто, ст.45						
Весна	0,5	0,27	0,03	0,19	15,8	

I	2	3	4	5	6
5.06.82	5,0	0,27	0,04	0,43	9,3
Лето	0,5	0,20	0,01	0,35	2,9
II.08.82	5,0	0,22	0,02	0,29	6,9
	13,0	0,36	0,006	0,16	3,8
Осень	0,5	0,34	0,02	0,17	11,8
12.10.82	14,5	0,39	0,02	0,20	10,0
Зима	0,5	0,52	0,003	0,16	1,9
12.03.83	14,5	0,74	0,007	0,11	6,4

ношения в озерах наблюдается в середине июня. Это связано с активизацией бактериальных процессов в водоеме, сопровождающихся деструкцией биополимеров, что подтверждено последующими наблюдениями. Подобное было отмечено в оз.Дальнем [9]. В составе И орг доля свободных аминокислот не превышает 1,6%, а связанных - 20% (табл.3).

Углеводы - первые продукты фотосинтеза и основной источник энергии у гидробионтов. Более 60% своих энергетических потребностей гидробионты удовлетворяют за счет углеводов [5].

Содержание углеводоподобных соединений (УПС) колеблется от следов до нескольких мг/л (см.табл.2). Концентрация их повышена на мелководье до 10 мг/л, т.е. там, где в воду поступает большое количество органического вещества, выделяемого водорослями. Доля углеводоподобных в составе общего  $C_{орг}$  в озерах составляет 8-44%. Максимум она достигает в июне в оз.Верхнее Куйто. Следует учесть, что обнаруживаемые в воде УПС составляют только часть их суммы, выделяемой организмами, из-за быстрой утилизации углеводов бактериями. Количество растворенных углеводов, синтезируемых фитопланктоном в бактериально чистых условиях, на порядок превышает их количество, продуцируемое в естественных условиях [12].

По глубине не наблюдается общей для исследованных разрезов направленности изменения содержания УПС. Видимо, они являются одной из консервативных фракций ОВ. Однако отмече-

но, что в слое повышенного развития бактериопланктона концентрация углеводов, белков и липидов уменьшается, а свободных аминокислот в большинстве случаев в результате бактериальной деструкции белков — увеличивается (см. рис.).

Концентрация липидов в нефилтрованных пробах воды колеблется от 20 до 200 мкг/л, в составе общего  $C_{\text{орг}}$  на липиды приходится 0,2–2,1%. Полученные данные по содержанию липидов в озерах Куйто близки к наблюдавшимся в олиготрофных озерах Топозеро, Пяозеро (Сев.Карелия) [10], оз.Тахо (Сев. Америка) [11] и оз.Пертозеро (Юж.Карелия) [6].

В пробах липидов, отобранных в июне — июле, определяли их групповой состав. Преобладают полярные липиды и жирные кислоты, составляющие соответственно 30–45 и 15–20% от общих липидов.

Проведенные исследования на олиготрофных озерах-водохранилищах показали, что суммарное содержание лабильных органических соединений (углеводы, свободные и связанные аминокислоты и липиды), определенных прямыми методами, составляет в течение года 5–15% от  $C_{\text{орг}}$ . Последнее хорошо согласуется с соотношением  $\text{БПК}_5$  и бихроматной окисляемости, показывающим количество нестойкого органического вещества в воде. Оно составляет 4–16%.

### Выводы

1. Природные воды озер Куйто содержат небольшое количество лабильных органических веществ. Среди исследованных органических веществ преобладают углеводоподобные соединения.

2. Максимальные концентрации изученных органических соединений в воде озер приурочены к июлю.

### Литература

1. Алехин О. А., Семенов А. Д., Скопичев Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л., 1973. 269 с.

2. Бякулатов Э. С., Скопичев Б. А.

Определение общего содержания растворенных углеродов в природных водах в присутствии гумусовых веществ. - Гидрохим. матер., 1974, т.60, с.80.

3. Мартынова Н. Н., Лозовик П. А., Глинский А. М. К методике определения органического углерода в природных водах фотохимическим методом. - В кн.: Биологические и рыбохозяйственные исследования водоемов Прибалтики: Тез. докл. 21 науч. конф. Псков, 1983 с.37-38.

4. Озерецковская Н. Г., Бульон В. В. Гидрохимические особенности и первичная продукция озер Кривого и Крутого. - Отчет. науч. сессия Зоол. ин-та АН СССР по итогам работ 1969:Тез. докл. Л., 1970, с.7-8.

5. Романкевич Е. А. Геохимия органического вещества в океане. М., 1977, с.152-164.

6. Сабиллина А. В., Семенов А.Д. Растворенные и взвешенные липиды в воде некоторых озер Карелии. - Гидрохим. матер., 1981, т.83, с.10-22.

7. Сабиллина А. В., Семенова И.М., Семенов А. Д. Определение липидов в воде и взвеси незагрязненных водоемов методом инфракрасной спектрофотометрии.- Там же, с.75-83.

8. Семенов А.Д., Ивлева И.Н., Дацко В. Г. Определение аминокислот в природных водах.-Там же, 1961, т.31, с.172-179.

9. Семенов А. Д., Семенова И. М., Курापцева Р. Н. Соединения биогенных элементов и органические вещества в воде оз.Дальнего. - Там же, 1972, т.59, с.70-81.

10. Харкевич Н.С., Сабиллина А.В. Органические вещества в воде озер бассейна р.Ковды. - Там же, 1981, т.83, с.3-9.

11. Holm-Nansen O. The distribution and chemical composition of particulate material in marine and fresh waters. - Mem. Ist. ital. hidrobiol. Dott. M.March., 1972, v.29, p. 37.

12. Wangerky P.J. Dissolved carbohydrates in Long Island Sound. - Bull. Bingham Oceanogr. Coll., 1959, 83 v.17.



ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДЫ ВОДОТОКОВ  
В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ  
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МЕЛИОРАЦИЯ)

Интенсификация сельскохозяйственного производства, рост применения удобрений и химических средств защиты растений, как известно, создают угрозу загрязнения природных вод. Особенно напряженное положение складывается в районах развития мелиорации с сельскохозяйственным использованием площадей. Вызвано это большими масштабами применения химических препаратов. Сбрасываемые с осушаемых территорий дренажные воды выносят, как правило, значительные количества веществ естественного и антропогенного происхождения. К ним прежде всего относятся биогенные вещества, которые попадают в водные объекты вследствие вымывания из почв и грунтов легкодоступных минеральных и органических соединений, а также применяемых удобрений. Количественная и качественная оценка выноса этих веществ имеет существенное значение для определения степени влияния мелиорации на состав природных вод, а также для разработки мероприятий по их охране.

Отделом водных проблем Карельского филиала АН СССР с 1980 г. начаты систематические исследования с целью изучения закономерностей изменения химического состава и свойств поверхностных вод в зависимости от направления применения осушаемых площадей - сельскохозяйственного или лесохозяйственного.

В данном сообщении рассматриваются результаты исследований, проводимых на р.Сяпсе (ценный в рыбохозяйственном отношении объект) в зоне строительства и эксплуатации мелиоративной системы Корзинская низина с сельскохозяйственным использованием осушаемых площадей. Земли Корзинской низины заняты преимущественно многолетними травами. Удобрения вносятся под планируемый урожай исходя из содержания питательных веществ (N, P, K) в почве.

Годы исследований (1980-1982) характеризовались значительными колебаниями метеорологических условий. Они отли-

чались по количеству выпавших осадков, что определило объем стока на водосборе. Засушливый 1980 г. соответствовал 97% обеспеченности, 1981 и 1982 гг. были идентичны по условиям увлажнения, осадки превышали норму (3% обеспеченности) [3].

Корзинская низина включает ряд водосборов малых водотоков (ручьи, магистральные каналы), собирающих дренажный сток.

В качестве примера взят частично осушаемый водосбор руч. Алтаноя. Методикой исследования предусматривалось дифференцирование условий формирования химического состава различных веществ стока. Наблюдения велись на створах, характеризующих:

естественный участок водосбора (фон) - створ до низины, площадь водосбора  $5,5 \text{ км}^2$ ;

осушаемый торфяно-минеральный массив - створ после включения в водоток дренажных вод, водосборная площадь  $14,53 \text{ км}^2$ , осушено 46%.

Химический состав поверхностных и дренажно-грунтовых вод не постоянен в течение года. Он определяется водным режимом, периодичностью протекания биохимических процессов (активизация летом и затухание зимой) и сезонностью проведения сельскохозяйственных работ. Наибольшие объемы дренажных вод с осушаемой сети сбрасываются в период с апреля по октябрь - во время таяния снега и ливневых паводков [2]. Следовательно, качественные характеристики и количественный вынос химических веществ испытывают внутрисезонные колебания, повторяющиеся из года в год, и зависят от водности. Учитывая это, наблюдения проводили с марта по октябрь.

При определении состава и свойств поверхностных вод пользовались общепринятыми в гидрохимии методиками [4].

В верхней части водосбор руч. Алтаноя представлен верхним болотом и небольшим озером. Естественные воды (створ до низины) прозрачны, без взвеси, имеют коричневую окраску. Концентрация ионов водорода повышена: pH 5,00-6,24. Содержащиеся в воде ручья органические вещества аллохтонного происхождения, гумусовой природы, о чем говорят величины цветности (320 град.) и бихроматной окисляемости (78,5 мгО/л), а также коэффициент цветности больше 6. Минерализация воды довольно низкая, не превышает 30 мг/л, гидрокарбонаты отсутствуют, что

характерно для вод торфяно-болотных массивов верхового типа.

Концентрация биогенных элементов невелика: среднегодовая величина суммарного азота едва превышает 1 мгN/л. Основная форма азота органическая, нитриты не обнаружены. Нитраты и аммонийный азот содержатся в десятых долях мгN/л.

Содержание общего фосфора мало - 0,02 мгP/л, лишь в предпаводковый период увеличивается до 0,12. Среднегодовая концентрация составляет 0,06 мгP/л, 25% суммарного фосфора приходится на фосфаты (табл.1).

Проходя через мелиоративную систему и принимая дренажный сток с осушаемого низинного торфяника и минеральных почв, воды ручья обогащаются химическими веществами, в том числе биогенными элементами, что обусловлено значительным содержанием их в почвах, постоянно пополняемых органическими и минеральными удобрениями. Удобрения на поля, как правило, вносят рано весной по снегу и в виде подкормки в июле. В результате в период таяния снега и летних паводков легко-растворимые химические вещества попадают в водоприемники с дренажным и поверхностным стоком. Выщелачиванию минеральных веществ из почв помогают также осадки. Так, в 1980 гидрологическом году их выпало 37% к норме, а в вегетационный период 1981-1982 гг. в 1,6 раза превысило норму [2]. Это и определило более высокий вынос биогенных элементов именно в многоводный год.

В среднем в течение года с дренажными водами в ручей поступает с 1 га площади 6,88 кг азота и 2,68 кг фосфора (табл.2).

Поступление такого количества азотсодержащих веществ вызывает увеличение их концентрации в воде как во внутригодовом цикле, так и в межгодовом (табл.1). Например, в пробах воды, отобранных до низины и после, среднегодовая концентрация ионов аммония увеличивается в 1,5-4, нитратных - в 9-15, нитритных - в 40 раз. Внутригодовое распределение содержания биогенных компонентов сопряжено с гидрологическим режимом на водостоке и сроками внесения удобрений. Поэтому максимальные концентрации азота и фосфора определены именно в период предельной величины стока поверхностно-дренажных вод - в пик половодья. К вегетационному периоду содержание

## Содержание биогенных элементов в воде ручья Алтаноя

Год	Азот, мг/л				N орг	N общий
	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>			
	Створ до низины					
1981	<u>0,16-0,48</u>	<u>0-0,27</u>	<u>0-0,002</u>		<u>0,30-1,82</u>	<u>0,45-2,58</u>
	0,32	0,10	сл.		0,85	1,29
1982	<u>0,14-0,50</u>	<u>0-0,17</u>	<u>0-0,06</u>		<u>0,37-0,70</u>	<u>0,56-1,38</u>
	0,22	0,12	0,001		0,58	0,89
	Створ после низины					
1980	<u>0,26-4,16</u>	<u>0,23-1,23</u>	<u>0,004-0,118</u>		<u>0,52-2,61</u>	<u>1,79-4,57</u>
	1,50	0,74	0,042		1,32	3,27
1981	<u>0,07-1,12</u>	<u>0,25-1,67</u>	<u>0-0,076</u>		<u>1,05-2,87</u>	<u>1,65-3,98</u>
	0,46	0,86	0,044		1,64	3,00
1982	<u>0,35-1,47</u>	<u>0,09-1,22</u>	<u>0-0,099</u>		<u>0,57-1,94</u>	<u>2,20-3,80</u>
	0,84	1,81	0,040		1,08	2,69

Окончание табл. I

Год	Фосфор, мг/л		Железо, мг/л	
	Р минер.	Р орг	Р общий	окисное
				общее
	Створ до низины			
1981	<u>0,005-0,049</u> 0,016	<u>0,01-0,09</u> 0,05	<u>0,02-0,12</u> 0,06	<u>0,08-0,38</u> 0,21
1982	<u>0,005-0,056</u> 0,023	<u>0,003-0,08</u> 0,04	<u>0,03-0,10</u> 0,06	<u>0,08-0,13</u> 0,11
	Створ после низины			
1980	<u>0,005-0,195</u> 0,055	<u>0,12-0,56</u> 0,32	<u>0,22-0,76</u> 0,35	<u>1,60-2,50</u> 1,99
1981	<u>0,016-0,080</u> 0,049	<u>0,06-0,57</u> 0,21	<u>0,12-0,59</u> 0,26	<u>0,50-2,00</u> 1,40
1982	<u>0,007-0,071</u> 0,036	<u>0,08-0,34</u> 0,19	<u>0,12-0,37</u> 0,22	<u>0,83-2,67</u> 1,61
				<u>0,84-3,26</u> 2,10
				<u>0,67-2,37</u> 1,63
				<u>0,95-2,67</u> 1,84

Примечание. Усилитель - пределы колебаний; знаменатель - среднегодовая концентрация вещества.

Вынос азота и фосфора (кг-га/месяц) в р.Сяпсу по  
ручью Алганоя в 1981 г.

Месяц	Азот			Фосфор		
	Створ до ни- зины	Створ после низины	За счет осуше- ния	Створ до ни- зины	Створ после низины	За счет осуше- ния
Март	-	-	-	0,001	0,014	0,013
Апрель	0,38	1,39	1,01	0,017	0,110	0,093
Май	0,61	3,58	2,97	0,021	0,640	0,619
Июнь	0,13	0,59	0,46	0,024	0,090	0,066
Август	0,22	0,82	0,60	0,010	0,700	0,690
Сентябрь	0,12	0,52	0,40	0,007	0,040	0,033
Октябрь	0,30	1,74	1,44	0,004	1,170	1,166
Всего за период наблюдений	1,76	8,64	6,88	0,084	2,764	2,680

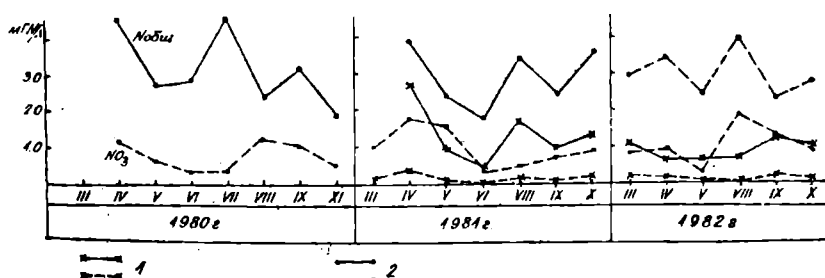


Рис.1. Изменение содержания азота в воде ручья под влиянием дренажного стока

1 - выше сброса дренажных вод, 2 - ниже сброса дренажных вод

азота уменьшается. На рис.1 представлена динамика изменения содержания общего и нитратного азота в воде ручья в створе до низины и в зоне влияния дренажного стока. Увеличение содержания азота к августу происходит за счет попадания его в

водоток после ильского внесения удобрений на поля. Следует учесть, что летом удобрения вносятся самолетом. Азотные соединения поступают в водотоки в основном в виде нитратов, что обусловлено наибольшей устойчивостью именно этой формы азота, в которую, благодаря протекающим в почве процессам нитрификации, переходят аммонийные и нитратные ионы. Кроме того, нитраты являются наиболее доступной формой азота для питания растений. Они обладают к тому же большей динамичностью. На рис.2 приводится внутригодовая изменчивость величины выноса нитратов на фоне суммарного азота. Временное распределение выноса азотсодержащих веществ происходит следующим образом. Максимум безвозвратных потерь азота приходится на период раннего стока: суммарного азота выносятся 63 и 41% соответственно для 1980 и 1981 гг., нитратов - 65 и 54% от годового выноса. Для условий многоводного года величина выноса азота в летне-осенний период увеличивается (табл.3, рис.2).

Фосфор малоподвижен как наиболее труднорастворимый элемент, поэтому менее всего подвержен вымыванию из почвы [1]. Однако, несмотря на это, фосфаты содержатся на участке ручья после низины в концентрациях выше фоновых в 5-10 раз (см. табл.1). Максимальные концентрации (0,130 и 0,195 мгР/л) зафиксированы весной. Кроме того, обильные осадки в межень многоводного года также обеспечили более высокий вынос минерального фосфора из почвенного слоя. Последнее отразилось на содержании фосфатов в воде. Так, в 1981-1982 гг. оно составило 0,053-0,080 мгР/л против 0,016-0,032 в 1980 г.

Расчет выноса фосфорсодержащих веществ показал, что 74% общего фосфора и 81% фосфатов от годовой величины вымывается и выносятся в р.Сялю в пик половодья. В 1981 г. наибольшие значения выноса - 72 и 73% соответственно для суммарного минерального фосфора-приходились на летне-осенний период (табл.3).

Содержание растворенного в воде железа невелико, средние годовые природные концентрации находятся в пределах 0,15-0,32 мгЖе/л (см.табл.1). Несмотря на это, вынос железа в основной водоток накапливается постоянно, причем концентрация его в отборе после низины в 6-7 раз превышает фоновое содержание.

## Вынос азота и фосфора руч.Алганоя в р.Сялэк, т

Месяц	Азот		Фосфор	
	1980 г.	1981 г.	1980 г.	1981 г.
Март	-	-	-	0,02
Апрель	4,91	2,02	0,81	0,16
Май	1,07	5,20	0,10	0,92
Июнь	0,57	0,86	0,06	0,13
Июль	0,51	-	0,04	-
Август	0,13	1,19	0,03	1,02
Сентябрь	0,33	0,76	0,03	0,06
Октябрь	0,20	2,53	0,03	1,70
Всего за период наблюдений	7,72	12,56	1,10	4,01

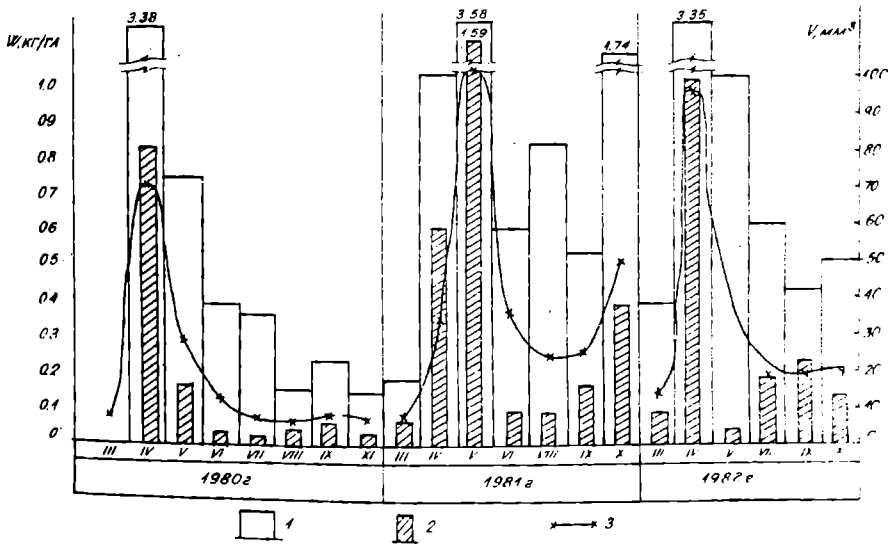


Рис.2. Внутригодовая динамика выноса азота в р.Сялэк  
1 - азот общий, кг/га, 2 - азот нитратов, кг/га, 3 - объем стока, мм



Обусловлено это тем, что на осушаемой сетью открытых каналов и дренах низинном торфянике происходит значительная разгрузка грунтово-напорных вод, богатых железом (более 20 мг Fe/л).

### Выводы

1. С проведением мелиоративных работ на водосборах малых водотоков Корзинской низины и в результате сельскохозяйственного использования осушенных территорий в речную сеть поступают биогенные вещества в концентрациях, не типичных для карельских вод.

2. На участке исследованного водотока изменение содержания в воде азота и фосфора зависит от времени внесения удобрений на поля и гидрологического режима на водосборе: максимум концентраций обнаружен в весеннее половодье, минимум — в межень.

3. Величина выноса биогенных веществ в основной водоприемник испытывает внутригодовые колебания, амплитуда которых по азоту 0,13–4,91 т с площади водосбора; по фосфору 0,03–0,81 т. Вынос веществ зависит и от влажности года. Величины его по азоту и фосфору соответственно в 1980–1981 гг. составляют 7,72 и 12,26; 1,10 и 4,01 т.

### Литература

1. Ефимов В. Н., Донских И. Н. Степень подвижности азота, фосфора и калия в торфяных почвах. — Агрохимия, 1969, № 3, с. 44–53.

2. Карпечко Ю. В., Нестеренко И. М. Формирование стока весеннего половодья на осушенных торфяниках. — В кн.: Влияние мелиораций на продуктивность почв Карелии. Петрозаводск, 1983, с. 31–36.

3. Нестеренко И. М., Карпечко Ю. В., Зайнберг Л. Н., Дмитриев М. С. Эффективность осушения и регулирования водного режима торфяных и минеральных почв в крайне неблагоприятные по климатическим условиям годы. — В кн.: Влияние мелиораций на продуктивность почв Ка-

Н.С.Старцев

#### ОБ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ КАРЕЛИИ

Основным источником поступления органических веществ (ОВ) в подземные воды верхней части геологического разреза служат атмосферные осадки. Последние в свою очередь обогащаются ОВ за счет продуктов распада из растительного покрова, лесной подстилки, гумусово-аккумулятивного слоя почвы и торфяников.

По мере инфильтрации осадков в горные породы растворение в них ОВ претерпевают количественные и качественные изменения. По мнению Б.А.Скопинцева [4], роль своеобразного природного фильтра при этом выполняет илльвиальный горизонт почв. Именно в нем происходят процессы, приводящие к обесцвечиванию тех атмосферных вод, которые вымывают цветные гумусовые вещества из поверхностного слоя почвы. Это особенно показательно для лесной зоны, где промываемость почв высока, а просачивающиеся через них воды обогащены окрашенными гумусовыми соединениями, т.е. фульвокислотами...

ОВ прошедших через илльвиальный горизонт и поступающих в грунтовые воды атмосферных вод, очевидно, представлено в основном маломолетной фракцией  $ФН^{\pm}$ , чаще всего соединениями типа креновой кислоты. Они являются источником "светлого" гумуса в грунтовых и поверхностных водах (в последних это наличие особенно проявляется в межениные периоды). Кроме того, в грунтовые воды, очевидно, проникают и неспецифические органические соединения почв" (с.155).

---

\* Фульвокислоты.

Органическая составляющая подземных вод Карельского региона оставалась долгое время вне поля зрения исследователей. Некоторое освещение в последние годы ОВ получено в работах сотрудников Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР [1, 8].

В пределах региона, как неотъемлемой части Балтийского кристаллического щита, развиты подземные воды, приуроченные к зоне выветривания докембрийских коренных пород (зона региональной трещиноватости) и к рыхлым отложениям четвертичного возраста. Последние слагает прерывистый чехол мощностью от нескольких, и редко, до первых десятков метров, включающий почти полный набор образований, связанных с ледниковым литогенезом. Эти грунтовые (трещинные и поровые) воды повсеместно дренируются местной гидрографической сетью и характеризуются весьма низкой минерализацией: 20-50 мг/л, редко выше.

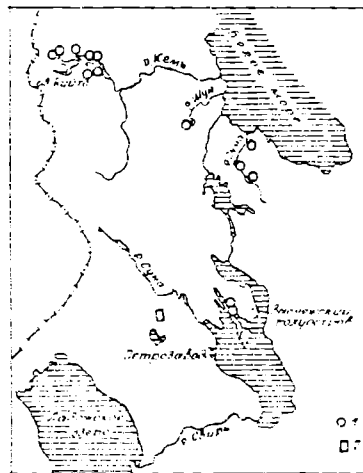
Воды, проникающие глубже по зонам локальной тектонической трещиноватости (трещинно-жильные), отличаются значительно большим содержанием растворенных минеральных солей и отчасти соотношениями макрокомпонентов, что отражает несколько иные условия их формирования. Указанные различия подземных вод зоны свободного водообмена Карельского региона позволили автору [5], а вслед за ним и другим исследователям [2] подразделить ее на две гидрогеохимические подзоны.

Согласно данным А.В.Иешиной [1], в водах верхней гидрогеохимической подзоны (минерализация 0,03-0,10 г/л) содержание ОВ выражается величинами перманганатной окисляемости (ПО) от 9-12 (в среднем) до 40-52 мгО/л. Наибольшие из них зафиксированы среди болотных ландшафтов. В нижней подзоне ПО уступает до средних величин - 3-4 мгО/л. Главная роль в деградации ОВ подземных вод придается микробиологической деятельности.

В 1978-1983 гг. автором были исследованы подземные воды нескольких районов Карелии (см.рис.).

Район Вендурского озера (Южная Карелия) охватывает площадь 150 км<sup>2</sup>. Относится к бассейну озерно-речной системы р.Суны и отчасти р.Шуй. В рассматриваемой

районе изучены преимущественно поровые грунтовые воды (минерализация 20-50 мг/л) флювиогляциальных песчаных и моренных пылеватопесчаных и супесчаных отложений. Исследованы 20 родников, на четырех из них выполнены двухлетние режимные наблюдения [6,7]. Подавляющее большинство этих водоупунктов тяготеет к заболоченным равнинным участкам местности и поэтому периодически в той или иной степени испытывает воздействие торфяно-болотных вод. Режимные родники I, 4 и 5 размещены на склонах положительных форм рельефа, благодаря чему избавлены от приноса веществ болотными водами.



Схематическая карта родников, в водах которых определено органическое вещество

1 — озерные родники, 2 — родники в районе санитарного озера

В пробах определялись: жесткость (Ж); перманентная и биохроматная окисляемость (БО), биогенные элементы, в значительном объеме получены сведения о биохимическом потреблении кислорода (БК).

Косвенные показатели содержания ОБ (табл. I) в водах родников минимальны. В тех же пределах или несколько выше они в водах родника 10 и других водоупунктов. Подчеркнем, что БО и БО трескино-жильных вод сводится к  $10^3$  близки к таковым для поровых грунтовых вод.

Режимные наблюдения, хотя и проведенные с различной частотой по отдельным показателям, позволяют заключить, что

\* Опробованы на самоклизе воды пересоченные с минерализацией 196 мг/л. Мощность четвертичных отложений 38 м, длина вал откачки 32-70 м.

Показатели содержания ОВ в подземных водах района Вендурского озера

Водопункт	ОВ, град.	Окисляемость, мгО/л		$\frac{ПО}{БО}, \%$	$\frac{ОВ}{ПО}$
		ПО	БО		
Родник I	$\frac{0-2}{0,9}$ (I2)	$\frac{0,1-0,9}{0,4}$ (I3)	$\frac{2,2-5,6}{4,0}$ (5)	$\frac{5-26}{13}$ (5)	2,3
Родник 4	$\frac{0-2}{0,6}$ (II)	$\frac{0,1-1,3}{0,5}$ (I2)	$\frac{2,2-7,5}{4,3}$ (6)	$\frac{3-12}{8}$ (5)	1,2
Родник 5	$\frac{0-5}{1,3}$ (I3)	$\frac{0,4-1,1}{0,6}$ (II)	$\frac{2,4-6,7}{4,4}$ (7)	$\frac{8-22}{12}$ (7)	2,2
Родник IO	$\frac{1-3}{1,8}$ (4)	$\frac{0,7-1,0}{0,9}$ (3)	$\frac{2,9-5,0}{4,2}$ (3)	$\frac{14-22}{18}$ (2)	2,0
Прочие родники	$\frac{2-6}{3,8}$ (I2)	$\frac{0,1-3,3}{1,2}$ (I4)	$\frac{2,9-8,3}{5,8}$ (7)	$\frac{3-29}{12}$ (6)	3,2
Скважина I6	-	I,3	5,2	25	-

Примечание. Здесь и в табл.4: в числителе - крайние, в знаменателе - средние значения; в скобках - количество проб (по нерезким родникам и скважине использованы одиночные пробы).

в грунтовых водах подвержено изменениям (возможны некоторые методические неточности). Это отмечал и Б.А.Скопинцев [3].

Небольшие величины  $\text{ПО}$  и соотношение  $\frac{\text{ПО}}{\text{БО}}$  свидетельствуют о том, что  $\text{ОВ}$  довольно стойкое к окислению перманганатом (табл. I). Данный вывод совпадает с мнением В.М.Гвозца [11].

Метаморфизованная, т.е. биохимически стойкая часть  $\text{ОВ}$ , судя по значениям  $\frac{\text{ОВ}}{\text{ПО}}$  (табл. I), относится к водорастворимым соединениям почвенного гумуса [3].

При изучении состава подземных вод необходимо уделять особое внимание выбору представительных водопунктов. Наши исследования показывают, что подземные воды, разгружающиеся среди торфяно-болотных отложений в виде концентрированных выходов (родников), имитируют влияние болотных вод и это приводит к своего рода естественному их загрязнению. Болотные воды из верхнего оусного (действительного) слоя, имеющие самые высокие фильтрационные параметры в разрезе торфяной залежи (нижние горизонты ее служат относительными водоупорами), поступают непосредственно в родники и питаемые ими ручьи, смешиваясь с родниковыми водами. Приток болотных вод наиболее интенсивен после обильных дождей и снеготаяния, когда резко возрастает масса вод в деятельном слое болот. В периоды же сработки запасов болотных вод, что происходит довольно быстро ввиду хороших фильтрационных свойств слоя (летом, зимой), поступление их в родниковые воды становится незначительным. Характер происходящих при смешении вод изменений хорошо виден на примере органической компоненты (табл. II).

По мере увеличения доли болотных вод, обогащенных  $\text{ОВ}$ , возрастают  $\text{ОВ}$ ,  $\text{ПО}$  и  $\text{БО}$ , а также отношение  $\frac{\text{ОВ}}{\text{БО}}$  (табл. II), т.е. рост органической составляющей в подземных водах происходит преимущественно за счет гуминовых веществ болотного происхождения, что подтверждается и повышением коэффициента  $\frac{\text{ОВ}}{\text{ПО}}$  (до 5,1-6,7). Следует добавить, что из торфяников вместе с

Показатели содержания ОВ в грунтовых водах родника 10, подверженных периодическому подтоку болотных вод

Дата отбора проб	ЦВ, град.	ПС		ПО БО, %	ЦВ ПО
		ПС	БО		
		мгО/л			
21.09.79	58	10,8	—	—	5,4
10.04.80	18	3,5	7,2	49	5,1
20.06.80	3	1,0	4,6	22	3,0
31.07.80	1	1,0	—	—	1,0
20.09.80	2	0,7	5,0	14	2,9
19.10.80	15	2,4	5,0	49	6,3
6.04.81	23	4,2	8,7	48	5,5
22.06.81	153	22,7	—	—	6,7

растворенными приносятся и взвешенные ОВ.

На увеличение цветности и окисляемости грунтовых вод при наличии их связи с верховодкой, болотными водами и иными источниками загрязнения, указывал Б.А.Скопинцев [3]. Подобные же изменения вод в колодцах и некоторых родниках отмечал и В.М.Швец [10].

Косвенные показатели содержания ОВ в подземных водах и результаты исследования его биохимического окисления (табл.3) свидетельствуют о том, что в родниках 1, 4 и 5 воды чистые, в остальных — с примесью болотных.

Таблица 3  
Биохимическое окисление ОВ грунтовых вод

№ родника	ЦВ, град.	ПО, мгО/л	БО, мгО/л	ЦВ ПО	ПО <sub>ср</sub> БО	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	БПК <sub>20</sub> , мгО <sub>2</sub> /л	БПК <sub>5</sub> ПО, %	БПК <sub>5</sub> БО, %	БПК <sub>20</sub> БО, %
1	2,0	0,4	—	5,0	—	—	0,7	—	—	—
4	1,0	0,3	2,7	3,3	12	—	0,7	—	—	24
5	0,6	0,5	3,4	1,2	14	0,8	1,0	1,5	22	30
10	23	4,2	8,7	5,5	48	0,9	1,2	0,2	10	13
27	12	2,9	5,4	4,2	54	0,6	0,9	0,2	11	17

Биохимическим путем окисляется 22-30% общего количества растворенного  $\text{O}_2$  в смешанных болотно-грунтовых водах лишь 10-15%. Итого- и двачастичное окислительное потребление кислорода ( $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}_2}$  и  $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}_2}^{\text{H}_2\text{O}}$ ) отличаются мало. Для речных обогатенных грунтовыми веществами болотных реканов (табл. 10, 27), отношение  $\frac{\text{P}_{\text{H}_2\text{O}_2}^{\text{H}_2\text{O}}}{\text{P}_{\text{H}_2\text{O}_2}}$  равно 2,0.

Биогенные элементы (табл. 4). В корових гумусовых водах из минеральных форм азота, по подсчетам, лямблий, их содержание составляет 1,01-2,44, аммонийный - 1,02-2,00 мг/литр, нитратный практически отсутствует. Среднее содержание органического азота ( $N_{орг}$ ) - от 0,01 до 0,02 мг/л, хотя нельзя не отметить значительные колебания его в разных сезонах времени.

Средняя концентрация гидролизного азота в воде 0,005-0,007, органического азота - 0,003-0,007 мг/л. pH слабо-щелочная вода по ГОСТ. По содержанию растворенных генных элементов не отличается от морской.

В периодичних порівняннях титрування в обох групах релігії ЦБ становили 2-4 град., NO не більше 1,2 мкг/мл, в сироватці холестерин становив максимум 7,2-11,5). Також встановлено, що рівень холестерину не зростає протягом 5 років. Табл. I. В даній таблиці вказано

Более усиленно были колотыми лопатками  $\frac{10}{10}$  раза по 1  
дважды две минуты  $\frac{10}{10}$  раз  
ности  $\frac{10}{10}$  раз  
при очен-  
резко возм-

Результаты анализа  
среднего содержания  
0,03 мг/л  
мг/л, что не превышает норму

Близкие и подпочвенный водоемы содержат до 100 мг/л. Воды моренных, древних, ледниковых озерах и ручьях Карелии Архангельской и Вологодской областей до 100 мг/л. Сорб. 1,6-4,0 и сорб. 2,3-4,3 мг/л. Воды их перманганатом 27-30% [10]. Вывод: все вышеназванные показатели содержания ОВ в водных объектах и водах Финляндии являются



## Биогенные элементы в подземных водах

Водопункт	Азот, мг N / л		Фосфор, мгР/л	
	органический	аммонийный	нитратный	минеральный
Родник 1	$\frac{0,03-0,78}{0,37}$ (4)	$\frac{0,01-0,06}{0,02}$ (12)	$\frac{0,00-0,13}{0,04}$ (5)	$\frac{0,002-0,011}{0,007}$ (12)
Родник 4	$\frac{0,04-0,27}{0,12}$ (4)	$\frac{0,00-0,06}{0,02}$ (11)	$\frac{0,00-0,13}{0,05}$ (6)	$\frac{0,002-0,022}{0,007}$ (11)
Родник 5	$\frac{0,03-0,60}{0,21}$ (5)	$\frac{0,00-0,06}{0,03}$ (12)	$\frac{0,00-0,10}{0,06}$ (6)	$\frac{0,001-0,016}{0,006}$ (12)
Прочие родники	$\frac{0,05-0,16}{0,09}$ (3)	$\frac{0,02-0,19}{0,08}$ (11)	$\frac{0,01-0,06}{0,04}$ (4)	$\frac{0,001-0,016}{0,005}$ (11)
Скважина 16	-	0,03	0,01	0,001
				0,016

 $\frac{0,002-0,007}{0,005}$  (5) $\frac{0,002-0,011}{0,007}$  (4) $\frac{0,002-0,016}{0,003}$  (5)

Показатели содержания ОБ в подземных водах  
различных районов Карелии

№ род- ника	Водовмещающие породы	Вели- чина мгнече- рали- зации, мг/л	ЦВ, град.	ПО	БО	ПО, % БО	ЦВ ПО
				мгО/л			
I	Габбро	44	2	0,8	3,6	22	2,5
2	Гранитогайеисн	18	3	2,0	5,2	38	1,5
3	Пески	29	4	0,7	4,8	15	5,7
4	"	22	0	1,2	2,4	50	-
5	"	26	3	0,2	1,6	13	15
6	Габбродиабазы	37	4	1,1	2,4	46	3,6
7	Пески	20	3	0,2	2,4	8	15
8	Песчанники	17	4	2,2	10,3	21	1,8
9	Пески	59	0	0,2	2,8	7	-
10	"	24	-	3,1	7,7	40	-
11	"	49	2	1,4	4,0	35	1,4
12	Сланцы	74	0	1,0	3,1	32	-
13	"	304	2	0,8	3,7	22	2,5
	Среднее	-	2	1,2	4,2	29	-

\* Местонахождение родников: I-7 в Северной Карелии (озера Куйто), 8-11 в Центральной (оз. Пуезеро, озерно-речная система Сумы), 12-13 в Южной (Заонежский п-ов).

низища: ЦВ 8 град., ПО 4,1 и БО 17,6 мгО/л,  $\frac{ПО}{БО}$  23% [9].

Сведения о нелетучем органическом веществе грунтовых вод Карельского и, для сравнения, других регионов СССР см. в табл.6. Общее содержание ОВ рассчитано по перманганатной окис-

Таблица 6

ОВ в грунтовых водах Карельского и других регионов СССР

Автор	ЦВ, град.	ПО ! БО		ОВ, мг/л
		мгО/л		
Б.А.Скопинцев [3]	≤ 10	0,9-4,0	Нет сведений	4,0-6,0
В.М.Швец [10] *	Бесцветные	1,2-2,2	"	2,5-4,6
В.М.Швец [11]	Нет сведений	Нет сведений	"	7,0
А.В.Иешина [1]	"	9,0-12,0	"	18,9-25,2
Н.С.Старцев	1-4	0,4-1,2	"	0,8-2,5
	"	-	4,0-5,8	3,2-4,6

\* По одиночным данным, у остальных авторов - по усредненным.

ляемости [3]. По работам А.В.Иешиной [1] и В.М.Швца [10] расчет выполнен автором. Обращает на себя внимание небольшое расхождение наших данных (особенно в случае определения ОВ по бихроматной окисляемости) и полученных Б.А.Скопинцевым и В.М.Швецом.

Повышенные содержания ОВ в пробах А.В.Иешиной, как показывает анализ использованных материалов, объясняются примесью богатых гуминовыми соединениями болотных вод. По этой причине они характеризуют, по существу, не грунтовые, а смешанные болотно-грунтовые воды.

#### Выводы

1. Грунтовые поровые и трещинные воды Карельского региона бесцветны. Общее содержание органического вещества в

них, вычисленное по БО и ПО, составляет соответственно в среднем 3,2-4,6 и 0,8-2,5 мг/л.

2. Концентрации ОБ в подземных водах верхней и нижней гидрогеохимических подзон зоны свободного водообмена фактически не отличаются.

3. В составе ОБ доля соединений, окисляемых перманганатом, по усредненным данным, не превышает 30%.

4. В условиях Карельского региона, значительные площади которого заняты торфяно-болотными отложениями, подземные воды в колодцах и родниках нередко подвергаются природному "загрязнению", вследствие подтока гумифицированных болотных вод. Это обстоятельство надо учитывать при выборе водопунктов для исследования химического состава подземных вод.

Надежным индикатором, позволяющим в естественных условиях судить о том, содержат ли изучаемые воды примесь болотных вод, могут стать показатели цветности и перманганатной окисляемости.

5. Полученная по Карелии информация подтверждает точку зрения Б.А.Скопичева об обеспечивании почвенным слоем просачивающихся вод.

#### Литература

1. И е ш и н а А.В. Гидрогеохимические условия и формирование химического состава подземных вод юго-восточной части Балтийского щита: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л., 1983.

2. И е ш и н а А.В., С а м а р и н а В.А. Гидрохимическая зональность подземных вод южной Карелии. - В кн.: Зональность подземных вод платформенных и горно-складчатых областей. Л., 1981, с.126-134.

3. С к о п и н ц е в Б.А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). - Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1950, вып.17(29). 290 с.

4. С к о п и н ц е в Б.А. Об обеспечивании инфильтрационных вод в природных условиях. - Водные ресурсы, 1981, № 5, с.142-157.

5. С т а р ц е в Н. С. О некоторых особенностях хими-

ческого состава грунтовых вод Карелии. - В кн.: Геоморфология и геология четвертичного периода Севера европейской части СССР. Петрозаводск, 1976, с.124-128.

6. С т а р ц е в Н.С. К вопросу формирования химического состава подземных вод района Вендзарской группы озер. - В кн.: Изучение и использование водных ресурсов: Операт.-инф. матер. Петрозаводск, 1981, с.16-20.

7. С т а р ц е в Н.С. Режим подземных вод четвертичных отложений района Вендзарской группы озер. - В кн.: Комплексное изучение водных ресурсов Карелии: Операт.-инф. матер. Петрозаводск, 1982, с.17-19.

8. С т а р ц е в Н.С. Органическое вещество в грунтовых водах одного из районов южной Карелии. - В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водосмах: Тез. докл. IV Всесоюз. симпози. Петрозаводск, 1983, с.88-89.

9. Ф о т и е в А. В. К изучению гумуса грунтовых вод. - Почвоведение, 1966, № 11, с.115-117.

10. Ш в е ц В. М. Органическое вещество в грунтовых водах севера европейской части СССР. - Тр. ВСЕТИНГЕО, 1961, кн.19, с.41-48.

11. Ш в е ц В. М. Органические вещества подземных вод. М., 1973. 192 с.

Б.А.Скопинцев

#### СЕРА - НЕПРЯМЫЙ КОМПОНЕНТ ВОДНОГО ГУМУСА

Почвенный гумус играет большую роль в жизни растений, в частности сельскохозяйственных культур. Это нашло отражение в словах А.Тазера [цит.: ]:"гумус есть продукт живого вещества и его источник". Выражение справедливо и в отношении водного гумуса, который также является источником материи (особенно микроэлементов) и энергии.

Среди наиболее важных для "живого вещества" элементов считается и сера, которая входит в состав таких аминокислот, как метионин, цистин и других органических соединений.

Органические содержащие серу соединения (среди них некоторые токсиканты) являются продуктом определенных производств, сточные воды которых попадают в водотоки и далее в реки и водоемы. Поэтому необходимо знать фоновое содержание органической серы в природных водах.

Изучение наземной растительности, в том числе сельскохозяйственных растений, показало, что в составе их органической массы имеются не только минеральные (чаще сульфаты), но и органические содержащие серу соединения. Как известно, это характерно и для ряда других элементов.

Таблица I

О формах соединений серы в некоторых растениях,  
г/кг сухого вещества

Растения	Общая сера	Сера сульфатная
Капуста	8,18	1,95
Сено люцерны	3,61	1,79
Реза	4,22	0,51

В табл. I приведены данные Д.Н.Прянишникова [7] для серы, содержащейся в некоторых растениях. Автором была применена более совершенная методика раздельного определения обеих ее форм. Из этих данных следует, что органическая сера преобладает, составляя десятки доли процента.

Табл.2 содержит сведения того же автора для отдельных форм фосфора в сене красного клевера. В этом растении

Таблица 2

Содержание разных форм фосфора в сене красного клевера

Форма фосфора	В граммах $P_2O_5$ на 1 кг сухого вещества	В % от общего кол-ва
Общее количество	5,54	100
В неорг. соединениях	0,70	13
В орг. соединениях	4,84	87

также преобладают органические формы, составляя десятые доли процента от сухого вещества. Как будет показано ниже, и для ряда других природных объектов были получены аналогичные результаты.

Данные М.М.Кононовой по элементному составу почвенного гумуса в главных почвах нашей страны [4] показывают, что содержание в почвах органической серы и фосфора было одного порядка, составляя доли процента от содержания органического углерода. В этих исследованиях минеральные формы фосфора обычно преобладали над органическими.

Таблица 3

Содержание органического углерода, азота, фосфора и серы в слое 0-20 см различных почв СССР, т/га

Почвы		C <sub>орг</sub>	N <sub>орг</sub>	P <sub>орг</sub>	S <sub>орг</sub>
Подзолистая	А	3I	3,2	0,26	0,22
	Б	14I	14,5	1,2	I
Лесостепная оподзоленная	А	63	6,0	0,59	0,22
	Б	286	27	2,68	I
Чернозем выщелоченный	А	III	9,4	-	0,28
	Б	396	33,5	-	I
Чернозем мощный	А	230	11,3	0,68	-
	Б	19I	16,6	I	-
Чернозем обыкновенный	А	79	7,0	-	0,20
	Б	395	35	-	I
Серозем	А	2I	2,5	0,13	0,40
	Б	52	6,2	0,32	I
Краснозем	А	89	4,7	-	-

Примечание. А - абсолютные величины, Б - величина отношения соответственно C:N:P относительно серы (S), количество которой принято за единицу.

Согласно М.М.Кононовой, основная часть азота в верхних слоях почвы представлена органическими формами, а в нижних -

аммонийными соединениями. В почвах, несомненно, имеются и аминокислоты, образующиеся при разложении органического вещества. Значительную часть азота в почвах можно перевести в раствор путем гидролиза почвенного органического вещества (ОВ).

Наиболее растворимая форма фосфора представлена фитином. Очень мало известно относительно органических форм серы. Ее основным генотипом являются остатки животных, растений, микроорганизмов и, конечно, белки, а также аминокислоты.

Согласно приводимым Д.С.Орловым данным [6], в американских почвах соотношение органических форм  $C:N:S:P$  изучено достаточно подробно; величина отношения этих элементов довольно стабильна и находится в пределах  $87:7:I:I - 59:4:0,6:I$ ; соотношение  $C:N:S$  близко к  $100:7:I$ . Д.С.Орлов приводит элементный состав гуминовых кислот; содержание серы обычно преобладает над фосфором. Для фульвокислот соответствующие данные не приведены, но можно предположить, что и в элементном составе фульвокислот, как и в гуминовых, очевидно, имеются органические фосфор и сера.

Содержание органических форм фосфора и серы в американских почвах, как и в главных почвах нашей страны [4], также близко.

Другим аллохтонным источником органической серы в водоемах некоторых физико-географических зон является торф. Как известно, изучению его различных свойств посвящено много работ. Согласно И.И.Литван и Н.Г.Король [5], в торфе также имеется органическая форма серы и минеральная (главным образом сульфатная), обычно преобладает органическая. Ее содержание в различных типах торфа колеблется. Очевидно, высокоцветные воды могут быть значительным источником аллохтонной органической серы. Косвенно об этом свидетельствует наличие в высокоцветных водах органического фосфора, который, как показано выше, является как бы "спутником" органической серы, и их концентрации близки.

Рассмотрев соответствующий материал для аллохтонного ОВ природных вод, переходим к автохтонному органическому веществу (планктоногенному гумусу). Содержание серы в водорос-



лях как показали данные А.П.Виноградова [2], несколько больше, чем фосфора (но все же одного порядка). То же следует сказать о содержании этих элементов в злаках (табл.4). Зна-

Таблица 4

Содержание серы, кальция, кремния и фосфора в целых организмах (в процентах от веса в живом состоянии)

Название организмов	S	Ca	Si	P
<u>Водоросли</u>				
Ламинария	$3 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$
Фукус	$6 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$
<u>Злаки</u>				
Пшеница	$1 \times 10^{-2}$	$6 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-2}$
Овес	$2 \times 10^{-2}$	$9 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{-2}$	$7 \times 10^{-2}$

чительное число данных по элементному составу планктона и бентоса, включая органический фосфор и серу, приведены в статье Е.И.Казакова и М.В.Прониной [3]. Однако, как отмечают авторы, к сожалению, ряд отобранных проб были загрязнены; кроме того, "органическая масса изученных форм планктона и бентоса состоит в основном (70-90%) из вещества, легко распадающегося в условиях разложения растворимых в воде продуктов".

Таким образом, результаты анализа предстачников аллохтонного ОВ в водоемах позволяют получить представление о содержании в нем органической серы. Соответствующих данных по планктонным организмам недостаточно, поэтому весьма необходимы приводимые ниже результаты определения органической серы в органическом веществе вод Карибского моря (Атлантический океан), которые убедительно показывают, что она содержится в аутохтонном ОВ вод Атлантического океана и, естественно, вод других океанов. Ведь в их водах абсолютно преобладает водный гумус планктонного происхождения. Следовательно, наличие органической серы должно быть характерно и для его предстачника - планктона. Работами морских химиков [8] доказано, что органическим соединениям морского планктона свойственна алифа-

тическая структура. Косвенные и прямые исследования показали, что и для ОВ пресноводного планктона, и автохтонного водного гумуса также характерно преобладание алифатической структуры\*. Это дает основание полагать, что в ОВ пресноводного планктона и соответствующем водном гумусе имеется органическая сера. Работа в Карибском море была проведена в связи с тем, что в нем на континентальном шельфе Венесуэлы имеется глубокая впадина Карьяко (около 1400 м) [9]. Ввиду замедленного обмена вод в этой впадине в ее водах с глубины около 400 м до дна содержится сероводород, т.е. в этих водах существуют анаэробные условия. Следует отметить, что в глубинных водах впадины максимальная концентрация сероводорода составляет около 10% от его содержания в глубинных водах Черного моря. Большое значение представляют результаты изучения органического вещества в водах скважины Карьяко и Карибского моря и особенно данные по его элементному составу. Для осуществления этих исследований большой объем изучавшихся вод пропускали через колонки с древесным углем с последующим десорбированием, органическое вещество элировали разными растворителями. Отметим, что содержание органического вещества в водах Карибского моря примерно такое же, как и в водах Атлантического океана (табл.5).

Таблица 5

Элементный состав органического вещества вод  
Карибского моря и впадины Карьяко, элированного  
с сорбентов (средние значения, %)

Водный объект	C	N	C:N	H	S
Карибское море	40,4	1,8	26,2	5,33	0,20
Впадина Карьяко	48,3	3,27	27,2	6,25	0,97

Примечание. Относительное содержание кислорода в ОВ вод впадины Карьяко понижено.

\* Для органических соединений почвенного и болотного гумуса, как и для наземной растительности, характерно преобладание ароматической структуры.

Данные табл.5 свидетельствуют о том, что сера является непременным компонентом ОВ, т.е. водного гумуса планктонного происхождения, в Карибском море (и, следовательно, в океане), в также в водах впадины Карьяко, где ее концентрация выше (очевидно, вследствие тех восстановительных процессов, которые протекают в анаэробной зоне впадины). В Карибском море, как и в океане, абсолютно преобладающим водным гумусом является планктонный гумус.

В 1971 г. были опубликованы данные [10] по содержанию серы в отдельных фракциях ОВ поверхностных и глубинных вод Саргассова моря (Атлантический океан). В этих целях был использован метод, применяемый почвоведом для выделения гумусовых кислот из почвы: гулиновой кислоты (ГА) и фульвокислот (ФА). Конечно, подобные аналоги в морской воде обладают иными характеристиками: например, в гумусовых кислотах почв преобладает ароматическая структура, а в таковых морской воды — алифатическая. И поэтому эти гумусовые кислоты уместно называть: "так называемые ГК" и "так называемые ФК".

Согласно проведенным исследованиям, элементный состав "так называемых ФК" поверхностных вод Саргассова моря таков, % : 49,98 C; 6,76 H; 6,40 N; 0,46 S и 36,40 O<sub>2</sub>. Таким образом, содержание серы достигает около 0,5%, т.е. оно того же порядка, что и в ОВ Карибского моря.

Рассмотренные материалы дают полное основание утверждать, что сера является обязательным компонентом аллохтонного и аутохтонного водного гумуса. Приведенные данные по содержанию органической серы в природных водах дают представление о фоновом содержании ее в незагрязненных водоемах.

Несомненно, работы в этом направлении будут расширяться так как они позволяют оценить поступление антропогенной серы. Эти работы важны и для изучения других органических элементов.

#### Литература

1. В а к с м а н С. А. Гумус. М., 1937. 375 с.
2. В и н о г р а д о в А. П. Биохимия и химический элементарный состав организмов. — В кн.: Геохимия живого вещества. I., 1932.
3. К а з а к о в Б.И., П р о н и н а М. В. Химический

состав различных форм планктона и бентоса. - Тр. лаборатории генезиса сапропелей, 1941, вып.2, с.49-52.

4. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М., 1963. 314 с.

5. Лиштван И. И., Король Н. Г. Основные свойства торфа и методы их определения. Минск, 1975. 318 с.

6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв.М.,1974.338с.

7. Прянишников Д. Н. Роль отдельных элементов в питании растений. М., 1952. (Избр. соч.; Т.1).

8. Скопичев Б. А. Новые данные о природе органического вещества океанских вод и его энергетические ресурсы. - Океанология, 1981, № 5, с.821-830.

9. Jeffrey L.M., Gerahy E.M. Organic matter in the Carineo trench.- In: Cisar II, Rome, 1978, p. 329-347.

10. Stuermer D.H., Harvey G.P. Humic Substances from Seawater. - Nature, 1974, v.250, N 5466, p.480-481.

Н.С.Харкевич, А.В.Сабылина  
М.И.Басов

#### ИНТЕНСИВНОСТЬ РАСПАДА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ВОДЕ РАЗЛИЧНЫХ ПО ТИПУ ОЗЕР КАРЕЛИИ

Карелия по запасам водных ресурсов одна из наиболее богатых областей Советского Союза. В ее пределах насчитывается более 61,1 тыс. озер и более 26 тыс. водных систем [2]. Суммарная водная поверхность озер составляет 10,3% территории республики. В общем количестве озер преобладают малые, площадью менее 10 км<sup>2</sup> (99,7%). Однако более половины всей водной поверхности республики (60%) образуют 174 озера площадью не менее 10 км<sup>2</sup>, в их числе 19 озер имеют площадь более 100 км<sup>2</sup> [3]. Все крупные озера, за редким исключением, относятся к олиготрофному типу. Они глубоководны, воды их маломинерализованы (сумма ионов в пределах 16-40 мг/л), часто с малым содержанием органических веществ (ОВ) - олигогумозные (Топозеро,

III

Пяозеро, Сегозеро, Каменное). Вместе с тем значительная часть озер с заболоченными водосборами (заболоченность в Карелии составляет в среднем 30% территории) относится к мезогумозным (Выгозеро, озера Куйто, Нюк, Палье, Сандак, Янисъярви и др.). Отдельные губы озер с большой приточностью – полугумозные.

Средние и малые озера значительно разнообразнее как по трофности, так и по содержанию ОВ. Здесь встречены ультраолиготрофные, олиготрофные, мезотрофные, эвтрофные, дистрофные, апидотрофные и целый ряд озер промежуточных стадий с разным содержанием органических веществ.

Под влиянием промышленных сточных вод (преимущественно целлюлозно-бумажной промышленности) отдельные участки водоемов в различной степени загрязнены. В связи с проблемой охраны вод возникла необходимость изучения самоочищающей способности наших северных водоемов. Работы на ряде озер Карелии [1, 5, 6] показали, что самоочищение происходит преимущественно за счет разбавления. Вместе с тем имеет место биохимическое и химическое окисление ОВ – деструкция. Как известно, деструкции принадлежит значительная роль в круговороте ОВ и биогенных элементов. Одним из методов определения интенсивности деструктивных процессов является метод инкубации воды в затемненных склянках (метод Г.Г. Винберга) с начальным и последующим определением содержания кислорода.

Используя этот метод (суточная инкубация проводилась в водоеме на глубинах отбора проб воды), получили материал по озерам различного типа. При этом учитывали, что скорость процесса деструкции прямо зависит от количества легкоокисляющегося (лабильного) ОВ и от температуры. Поэтому наблюдения вели в разные сезоны года. Кроме деструкции определяли биохроматную окисляемость (БО) как показатель общего содержания органического вещества, БПК<sub>5</sub> и БПК<sub>20</sub> – как показатели лабильной его части. Величина БПК<sub>5</sub> отражает наиболее лабильную часть ОВ.

Эксперименты на различных озерах показали явно выраженный сезонный ход деструктивных процессов, обусловленный изменениями температуры воды (рис.1). По кривым четко наблюда-

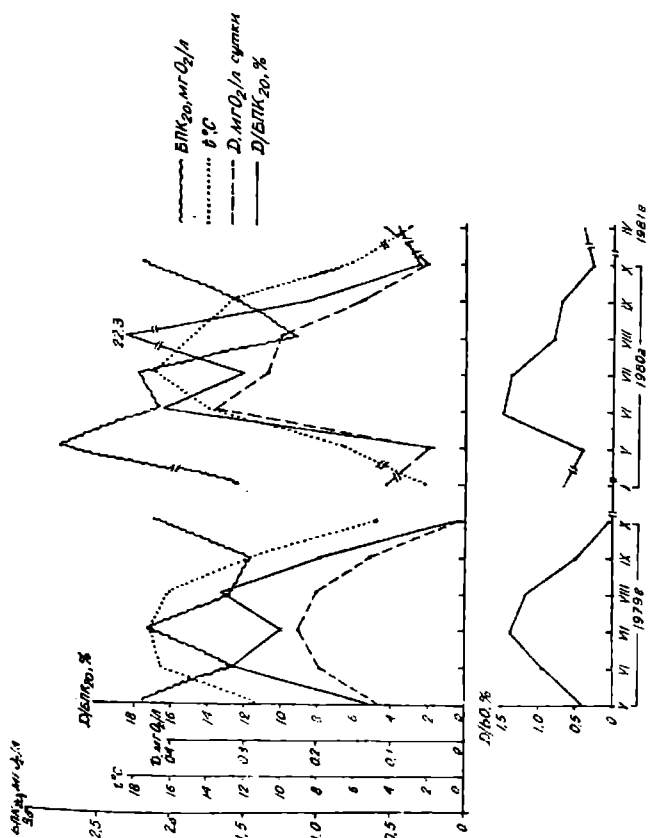


Рис.1. Температура, абсолютные величины деградации (Д) и отношение деградации к биохиматной окисляемости и  $BPK_{20}$  в разные месяцы 1979 и 1980 гг. в воде оз. Риндозеро

ется прямая связь деструкции с температурой воды. Зависимость величины деструкции от температуры отражена в табл. I и 2. Одну и ту же пробу воды ставили при температуре водоема (опус-

Таблица I

Суточная деструкция при температуре водоема ( $D_I$ )  
и при оптимальной 18-20° ( $БК_I$ ),  $мгO_2/л$

Озеро	Гори- зонт наблю- дений	Зима (III)			Весна (VI)		
		t во- ды, °C	$D_I$	$БК_I$	t во- ды, °C	$D_I$	$БК_I$
Топозеро	0,5 м	0,1	0,02	0,24	2,9	0,04	0,33
	У дна	1,2	0,11	0,23	3,2	0,04	0,13
Пяозеро, ст. I	0,5 м	0,1	0,04	0,37	3,6	0,01	0,27
	У дна	1,2	0,05	0,20	3,8	0,01	0,27
Пяозеро, ст. 9	0,5 м	0,1	0,07	0,30	5,9	0,03	0,10
	У дна	0,5	0,10	0,19	-	0,00	0,05
Ковдозеро, ст. II	0,5 м	-	-	-	7,4	0,06	0,14
	У дна	-	-	-	7,2	0,05	0,12

Таблица 2

Суточная деструкция при температуре водоема ( $D_I$ )  
и при оптимальной 18-20° ( $БК_I$ ) летом в воде оз.  
Топозеро,  $мгO_2/л$

Ст. II				Ст. 4			
Гори- зонт	t во- ды, °C	$D_I$	$БК_I$	Гори- зонт	t во- ды, °C	$D_I$	$БК_I$
0,5	16,7	0,10	0,09	0,5	14,8	0,17	0,18
5,0	14,4	0,08	0,14	У дна	9,0	0,27	0,53
10,0	12,3	0,06	0,10	-	-	-	-
15,0	10,2	0,07	0,12	-	-	-	-
20,0	8,0	0,09	0,23	-	-	-	-
30,0	7,6	0,07	0,15	У дна	-	-	-
У дна	6,0	0,05	0,18	-	-	-	-

кали в водоем) и в лаборатории при оптимальной температуре ( $18-20^{\circ}$ ). Результат первой обозначен как  $D_T$  (суточная деструкция), второй — как  $BPK_T$  (однодневное  $BPK$ ). Зимой, как можно видеть из табл.1, в оптимальных условиях деструкция в 2-10 раз, т.е. на порядок, выше, чем в водоеме при температуре  $0,1-1,2^{\circ}$ . То же наблюдается весной при температуре  $2,9-5,9^{\circ}$ : деструкция в водоеме ниже по сравнению с ее величиной при  $20^{\circ}$ . В летний период при температуре выше  $15^{\circ}$  суточная деструкция в водоеме почти совпадает с  $BPK_T$  (табл.2). Однако с глубиной по мере снижения температуры воды деструкция в водоеме начинает отставать в 2-3 раза по сравнению с  $BPK_T$  в оптимальных условиях.

Очень показателен также сезонный ход величин отношения деструкции к общему содержанию органических веществ, выраженному данными бихроматной окисляемости, и к лабильной части его (величинам  $BPK_5$  и  $BPK_{20}$ ). Процент величин деструкции относительно к указанным косвенным показателям мал зимой, весной и осенью и заметно возрастает летом. Так, в оз.Риндозеро (рис.1) в августе суточная деструкция достигала 22,3% от  $BPK_{20}$ , в то время как в холодное время года она составляла от 1,8 до 3,5%.

На рис.2 показано отношение в процентах величин деструкции к  $BPK_5$  в оз.Каменном. Летом окисляется за сутки до 20% и более лабильных веществ, выраженных величиной  $BPK_5$ , зимой не более 1%, а в среднем по озерам в зимний период окисляется за сутки 4-8% от величины  $BPK_5$ . Поэтому в холодное время года в озерах Карелии величины  $BPK$  более высокие по сравнению с теплым периодом (рис.3). Относительно к общему содержанию органических веществ процент суточной деструкции невелик: от 0,1-0,2 зимой до 1,1-2,2% летом. Ход данного отношения в годовом плане можно видеть на рис.1.

Рассмотрим особенности деструктивных процессов в различных по типу озерах с учетом их географического положения. Крупные, площадью 600-1000 км<sup>2</sup>, олиготрофные и олигогумусные озера распространены главным образом в Северной и Средней Карелии (Онежское оз. не рассматривается). Они глубоководны и холодноводны. Так, температура воды оз.Пяозеро в 1976 г. была зимой  $0,1^{\circ}$  в поверхностном слое,  $1,8^{\circ}$  в придонном; весной (в



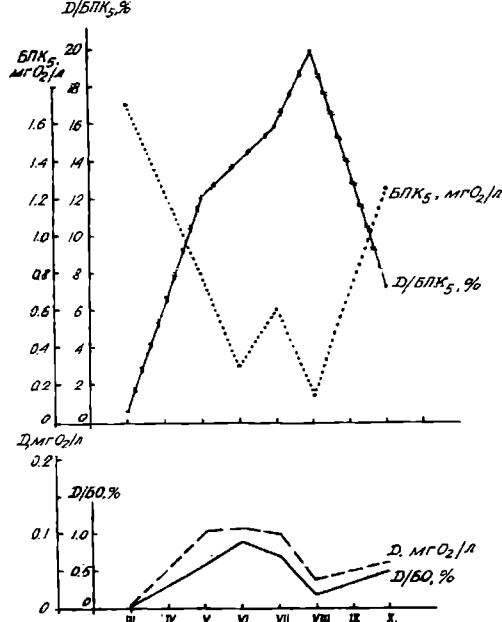
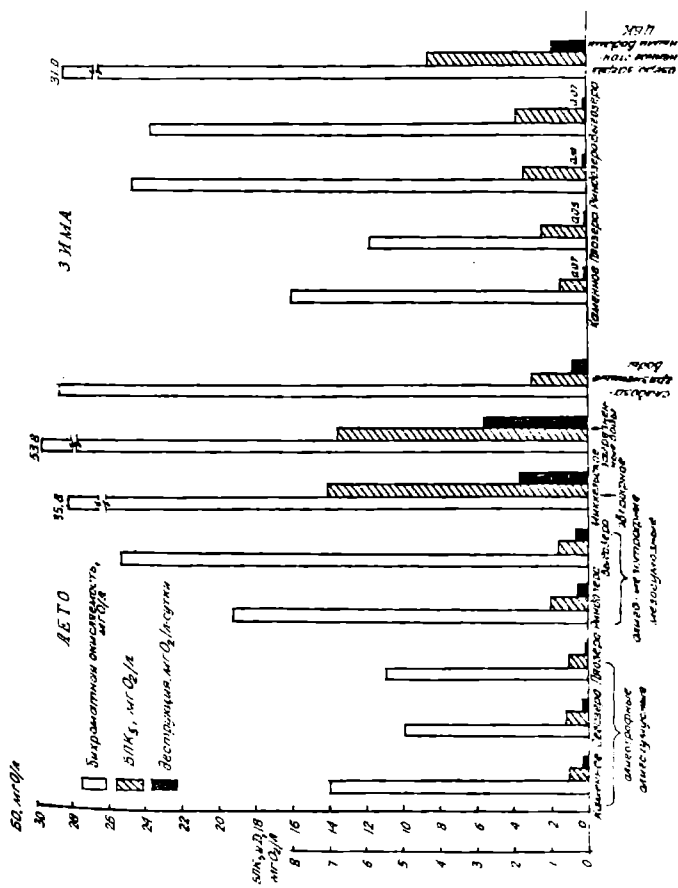


Рис.2. Суточная деструкция (Д),  $BOD_5$  и отношение величины деструкции к биохимической окисляемости ( $\frac{D}{BOD_5}$ ) и  $BOD_5$  ( $\frac{D}{BOD_5}$ ) в воде оз.Каменного в разные месяцы

середине июня) 2,9-3,2° по всей глубине; в июле - 16,7° в поверхностном слое и 6,6° в придонном (табл.2); в октябре гомотермия - 5,2°. На глубинах свыше 20 м температура даже летом не достигает 10°, а в слое 0-20 м вода прогревается выше 10° лишь в июле и августе.

Воды озер очень маломинерализованы, хорошо насыщены кислородом: зимой абсолютные концентрации его слабо убывают ко дну, летом, наоборот, возрастает (в соответствии с понижением температуры воды); в воде постоянно присутствует  $CO_2$ , реак-

Рис.3. Деструкция (Д) в водоемах с раз- личным содержанием общего органи- ческого вещества (БО) и его ла- бильной части (БЛК<sub>5</sub>) в летний и зимний периоды



ция от слабокислой до слабощелочной. Воды крайне бедны биогенными элементами. Например, содержание минерального фосфора не превышает  $2-3 \text{ мг/м}^3$  в течение всего года.

Немного также в воде органических веществ. Цветность не более 20-30 град., БО 9-17  $\text{мгО/л}$ . Органическое вещество представлено преимущественно стойким водным гумусом. Лабильная часть по БПК<sub>5</sub> составляет 4-10%, максимум до 13% от всей массы ОВ, по БПК<sub>20</sub> - 9-25%. Наибольшие величины БПК<sub>5</sub> и БПК<sub>20</sub> по всей водной массе наблюдаются в зимний период, а летом - в глубоких холодноводных слоях (рис.4).

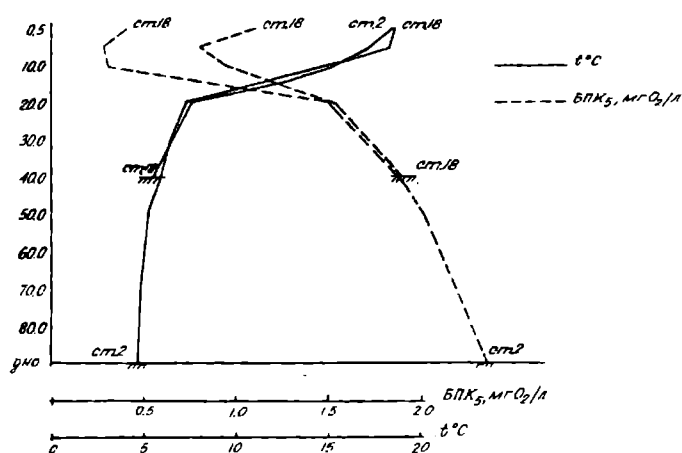


Рис.4. Распределение температуры и величин БПК<sub>5</sub> по глубине в воде оз. Сегозеро летом

Образование органических веществ за счет фотосинтеза фитопланктона невелико. Средние суточные величины фотосинтеза колеблются от 0,01 до 0,12  $\text{мгО}_2/\text{л}$ , максимум летом в поверхностном слое до 0,50.

Деструктивные процессы в воде озер очень замедлены. При

низких температурах на суточную деструкцию расходуется от 0,02 до 0,10 мгО<sub>2</sub>/л, в редких случаях до 0,20. При температуре воды выше 10° - 0,04-0,32 мгО<sub>2</sub>/л·сутки<sup>-1</sup> (средние не превышают 0,23). Относительно к лабильной части ОВ (по БПК<sub>5</sub>) суточная деструкция зимой и весной составляет от 4 до 7%. Иными словами, разложение органических веществ замедляется по сравнению с оптимальными условиями на 15-20 дней. Летом процент окисления за сутки возрастает до 10-20 от наиболее лабильной части, т.е. процесс окисления идет, как при оптимальных условиях, или немного задерживается. По отношению ко всей массе органического вещества процент суточной деструкции при низких температурах в этих озерах составляет 0,2-0,4, летом - 0,6-1,0, редко до 2%. Наиболее замедлена деструкция в переходные периоды - весной и осенью. Для примера приводим данные величин деструкции под 1 м<sup>2</sup> водной массы в озерах Пяозеро, Топозеро и Ковдозеро (табл.3).

Таблица 3

Суточная первичная продукция (А) и деструкция (В)  
в олиготрофных озерах северной Карелии в разные  
сезоны года (гО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>)

Сезон	Топозеро		Пяозеро		Ковдозеро	
	А	В	А	В	А	В
Зима	-	1,51	0,74	1,22	0,54	1,47
Весна	0,65	0,56	0,47	0,11	0,34	0,58
Лето	0,93	2,67	5,67	2,16	1,22	2,60
Осень	-	-	1,02	0,32	0,84	0,52

Если учесть, что низкие температуры воды (ниже 5-6°) господствуют в данных озерах в течение 9-10 мес., то можно сделать вывод, что самоочистительная способность воды озер низкая и в случае значительного антропогенного загрязнения они не будут справляться с ним. Следует отметить, что в озерах этой группы зимой не наблюдается накопления минеральных форм биогенных элементов (вследствие малого содержания лабильных ОВ и низкой скорости их минерализации.)

В олиготрофных мезогумусных озерах, наиболее распространенных в Средней и Южной Карелии, короче холодноводный период и более высоки летние температуры воды. Наряду с большим общим содержанием ОВ в воде (цветность 60-70 град. , БО 20-30 мгО/л) несколько выше и абсолютные концентрации лабильной части (БПК<sub>5</sub>) (рис.2, оз.Выгозеро, Риндозеро). Воды этих озер также бедны фосфором. Несколько больше в них, чем в предыдущей группе, аммонийного азота и железа. Деструкционные процессы здесь идут более активно. Зимой суточная деструкция 0,04-0,20 мгО<sub>2</sub>/л, летом средние 0,15-0,30, максимум до 0,60. Такого порядка величины приводятся Г.Л.Марголиной [4] для свирских водохранилищ, сходных с нашими по цветности и общему содержанию ОВ.

Сезонный ход суточной деструкции ОВ в мезогумусном олигомезотрофном озере представлен на рис.1. Здесь, как и в северных олиготрофных озерах, минимальная интенсивность деструкции отмечена весной и осенью. По-видимому, в переходные периоды года происходит переформирование состава микрофлоры и разрушительная ее активность понижена.

Относительно к общему содержанию ОВ в холодное время года за сутки окисляется 0,1-0,4% его, в теплое - 0,9-1,0%; по отношению к наиболее лабильной части (по БПК<sub>5</sub>) соответственно 4-10 и 10-26% (максимум 30%). В холодное время года деструкция замедляется в 3-5 раз, летом скорость ее в водоеме такая же, как и при оптимальных температурных условиях. Константа скорости окисления в летнее время в этой группе озер порядка 0,03-0,07 сутки<sup>-1</sup>.

Наиболее высокие показатели деструкционных процессов характерны для автотрофных водоемов. Таких озер в Карелии немного. Они встречаются в южной ее части - в Приладожье, в бассейне р.Шуи, в восточном Прионежье. Они сравнительно мелководны, хорошо прогреваемы, с сельскохозяйственным освоением водосбора и поэтому с повышенным содержанием минеральных и органических форм азота и фосфора. В их воде высокий процент наиболее лабильной части ОВ. Так, величины БПК<sub>5</sub> составляют 16-35% от бихроматной окисляемости. Суточная деструкция, например в оз.Миккельском (см.рис.3), летом - 1,6-1,8 мгО<sub>2</sub>/л, что составило 4-5% от БО и 25-26% от БПК<sub>5</sub>. В этих озерах в

процессе деструкции: накапливается минеральный фосфор, аммонийный азот, нитраты.

Некоторые особенности деструктивных процессов наблюдаются на участках водоемов, загрязненных сточными водами ЦБК. В районах, где общая масса ОВ превышает его количество в природных водах в 1,5-3 раза, лабильное органическое вещество составляет 10-20% и более от его суммы. Деструктивные процессы здесь идут более энергично. В зимних условиях при температуре 0,5-2° в сутки на окисление затрачивается 0,5-1,0 мгО<sub>2</sub>/л, т.е. деструкции подвергается до 3,5% суммарного ОВ. Однако по сравнению с оптимальными температурными условиями разложение ОВ замедляется в 1,5-2,5 раза. Константа скорости распада при 20° 0,16 сутки<sup>-1</sup>, при 1-2° - 0,06.

Осенью и весной при том же примерно количестве ОВ окисляется за сутки - 1-1,5% его, т.е. меньше, чем зимой, а летом суточная деструкция составляет до 5% от общей массы ОВ и до 20% от БПК<sub>5</sub>. Например, летом при величине БО 54 мгО/л за сутки на окисление израсходовано 2,6 мгО<sub>2</sub>/л (см.рис.3), а в незагрязненном горизонте того же участка - 0,4 мгО<sub>2</sub>/л. Здесь меньше лабильного органического вещества и ниже показатели деструкции.

Меньше данных получено по аэробной деструкции в верхнем слое ила в различных озерах, но можно сказать, что в олиготрофных олигогумусных озерах илы поглощают значительно меньше кислорода по сравнению с илами мезогумусных олиготрофных и олигогумусных мезотрофных озер (табл.4).

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что скорость деструктивных процессов в воде зависит от содержания лабильных органических веществ и температуры. В условиях Карелии, особенно в северной ее части с длительным периодом низких температур, процессы самоочищения замедляются. Вместе с тем, несмотря на слабую интенсивность деструктивных процессов в северных природных водоемах, в них не наблюдается накопления ОВ. Здесь выработалось определенное равновесие. Небольшое количество вновь образованного за год ОВ успевает окислиться и трансформироваться. Однако для них опасно дополнительное антропогенное поступление ОВ. Примером этого являются водные объекты, испытывающие влияние сточных вод. Хотя ин-

Суточная деструкция в верхнем слое иловых отложений ( $\text{гO}_2/\text{м}^2$  ила) в различных озерах южной Карелии (1980 г.)

Дата	Уросозеро (олиготрофное олигогумусное)	Риндозеро (олиготрофное мезогумусное)	Вендорское (мезотрофное олигогумусное)
21-28/V	0,366	0,593	0,653
18-21/VI	0,480	0,688	1,015
10-13/VII	0,602	0,526	0,849
30/VII-1/VIII	0,234	0,876	0,590
16-19/IX	0,280	0,968	1,147
17-20/X	0,418	0,923	1,405

тенсивность деструктивных процессов в них повышена по сравнению с природными водами, т.е. мобилизованы резервы, наблюдается постепенное расширение зоны загрязнения. Водоемы без очистки сточных вод не справляются с нагрузкой.

#### Литература

1. Ведягина С. В., Каплин В. Т., Филимонова Н. А. Скорость превращения органических веществ промстоков ЦБК (сульфатный способ производства целлюлозы) в условиях лабораторного моделирования. - Гидрохим. матер., 1977, т.70, с.55-64.
2. Гашева В.Ф. Некоторые особенности гидрографии Карельской АССР. - В кн.: *Сб. работ Ленингр. гидрометеообсерватории*. Л., 1967, вып.4, с.114-123.
3. Литинская К. Д. Режим уровней воды озер и водохранилищ Карелии. Л., 1976. 147 с.
4. Марголина Г. Л. Процессы самоочищения воды в свирских водохранилищах. - В кн.: *Продуцирование и круговорот органического вещества во внутренних водоемах*. М.; Л., 1966, с.200-203.
5. Харкевич Н. С. Опыт раздельной оценки процессов биохимического самоочищения и разбавления сточных вод

по гидрохимическим данным. - Матер. 16 конфер. по изучению внутр. водоемов Прибалтики. 18-21 мая 1971 г. Петрозаводск, 1971, ч. I, с.302-304.

6. Харкевич Н. С., Басов М. И. О самоочищении водохранилища от сточных вод целлюлозно-бумажного производства в условиях средней Карелии. - В кн.: Крутооборот вещества и энергии в водоемах. Листвничное на Байкале, 1977, с.233-236.

Н.А.Филимонова, Т.М.Тимакова

#### БАКТЕРИАЛЬНАЯ ДЕСТРУКЦИЯ ЛИГНИНА В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Сульфатный лигнин является постоянным компонентом сбрасываемых в водоемы сточных вод сульфатного производства целлюлозы. В настоящее время наряду с большим фактическим материалом по структуре лигнина имеются сведения о разрушении его микроорганизмами, осуществляемом преимущественно грибной флорой в процессе ее энзиматической деятельности [1,4].

Наблюдения за бактериальной деструкцией лигнина, выделенного из черного щелока Сегейского ЦБК, проводились одновременно с физико-химическими исследованиями [2] с целью качественной оценки трансформации лигнина по динамике развития углеродразрушающей бактериофлоры.

Опыты проводились в лабораторном азротенке по следующей схеме: вода + лигнин + микрофлора [2]. Использовалась водорастворимая натриевая соль очищенного сульфатного лигнина при исходном содержании ее 0,17 мг/л.

В качестве источника микрофлоры применялся биологически активный ил очистных сооружений Котласского ЦБК (I вариант), содержимое кишечника леща *Abramis brama* (II), экскременты аквариумных улиток (III). Во всех вариантах пробы отбирались на 1, 7, 14-е сутки и в более поздние сроки. Было отобрано 14 проб воды, проведено 126 анализов.

В пробах воды из азротенка определялась общая численность микроорганизмов как показатель активности микробных процессов в системе с учетом их морфологического состава [3]. На



стандартных питательных средах выращивались микроорганизмы, участвующие в круговороте углерода.

1. На МПА (мясо-пептонный агар) - сапрофитная микрофлора с дифференциацией спорных форм на МПС (МПА + сусло-агар), в том числе и фунгиальная флора;

2. На агаризованной среде с лигнином - лигнинразрушающие бактерии. Посевы культивировались при 20-22°C в течение 48 ч., на среде с лигнином - 45 суток в аэробных и анаэробных условиях.

Анализ полученных материалов показал, что колебания общей численности микроорганизмов, их биомасса, изменение морфологического состава и динамика развития микрофлоры во всех вариантах подтверждают участие микроорганизмов в биохимической трансформации лигнина (табл. I, 2, 3).

Значительного изменения общей численности микроорганизмов в опыте с активным илом очистных сооружений Котласского ЦБК (I вариант) не отмечено. Колебания численности микроорганизмов в опыте составили от 750 млн. в начале до 780 млн. кл./мл к концу наблюдений (табл. I). Преобладание в бактериоценозе палочковидных форм (59-74%), динамика развития которых идентична сапрофитной микрофлоре, свидетельствует о ходе трансформации органического вещества. Кокки составляли 18-39%, другие бактериальные формы - 2,2-12%. Увеличение бактериальной биомассы в период опыта было незначительным. Наиболее активно микробиальные процессы протекали в течение первых двух недель. Для данного варианта характерно увеличение численности сапрофитной микрофлоры от 1 млн. до 8 млн. кл./мл и уменьшение спорных форм. Содержание лигнинразрушающих бактерий увеличилось к концу наблюдений. Небольшие колебания общей численности микроорганизмов обусловлены, по-видимому, наличием в активном иле консументов - потребителей бактерий, достигавших здесь значительного развития на протяжении всего периода наблюдений, в отличие от II варианта, где появление *Protozoa* наблюдалось после 2-недельной экспозиции\*. Разложение лигнина микрофлорой, содержащейся в продуктах жизнедеятельности рыб (II вариант), сопровождалось колебаниями об-

---

\* Определение простейших проведено Н.Б.Лазаревой.

Таблица I

Динамика развития микрофлоры в опыте с активным илом Котласского ЦБК

Время отбора проб, сутки	Общая числ., млн.кл./мл	Кожи, %	Палочки, %	Дрожже-подобные и др., %	Сырая биомасса, мг/л	Биомасса, мкгС/л	МПА, млн.кол./мл		МПС, млн.кол./мл		Литини Аэробн Анаэробн	
I-е	753	38,9	58,8	2,2	3,2	22,5	1,0	0,03	0,03	1,6	0,77	0,77
7-е	607	18,1	73,8	8,1	2,9	20,3	7,1	0,04	0,04	1,5	0,62	0,62
14-е	714	23,1	68,2	8,7	3,3	23,2	7,2	0,04	0,04	3,4	0,25	0,25
40-е	613	24,9	63,5	11,6	2,8	19,7	1,8	0,03	0,03	1,5	0,30	0,30
60-е	785	21,9	68,2	9,9	3,6	25,7	8,2	0,01	0,01	2,1	0,24	0,24

Таблица 2

Динамика развития микрофлоры в опыте с содержимым кишечника леща

Сроки отбора проб, сутки	Общая числ., млн.кл./мл	Кожи, %	Палочки, %	Дрожже-подобные и др., %	Сырая биомасса, мг/л	Биомасса, мкгС/л	МПА, млн.кол./мл		МПС, млн.кол./мл		Литини Аэробн Анаэробн	
I-е	-	-	-	-	-	-	Сквозной рост		-	-	0,9	0,36
7-е	728	22,0	59,0	19,0	3,3	23,6	19,0		-	-	1,8	0,98
14-е	860	23,0	71,0	6,0	5,4	38,3	7,0		0,03	0,03	1,9	0,53
28-е	814	32,0	58,9	9,1	3,6	25,3	7,5		0,01	0,01	1,6	0,21
80-е	921	29,5	54,6	15,9	4,1	28,8	7,5		0,00	0,00	1,4	0,13

Таблица 3

## Динамика развития микрофлоры в опыте с экскрементами улиток

Сроки отбора проб, сутки	Общая числ., млн. кл./мл	Кокки, %	Палочки, %	Дрожже-подобные и др., %	Сырая биомасса, мкг/л	МПА, млн. кол./мл	МПС, млн. кол./мл	Лигнин		
								Аэробы	Анаэробы	
										млн. кол./мл
Без лигнина										
I-e	1100	13,7	72,2	14,0	5,4	37,9	24,0	-	0,34	1,3
С лигнином										
I-e	960	8,4	77,8	13,8	4,8	33,7	163,0	-	0,34	1,2
I4-e	616	10,1	80,5	9,4	3,0	21,4	1,5	-	0,80	0,8

щей численности микроорганизмов от 700 млн. кл./мл в начале опыта до 900 в конце (см. табл. 2). На-  
растание числа микроорганизмов, отмеченное на 14-й день наблюдений, характеризовалось и увеличением бактериальной биомассы более чем в 1,5 раза. Содержание углерода, вовлеченного в бактериосинтез, увеличилось с 23,6 до 38,3 мкг/л. В бактериоценозе отмечалось преобладание крупных (до 0,5 мкм) палочковидных форм, количество которых в период наблюдений составляло 54-71% (содержание кокков 22-23%, клеток дрожжей и грибной флоры - 6-19%). Число сапрофитов на 14-й день уменьшилось, но еще достигало 19 млн. кл./мл. Спорообразующие бактерии - индикаторы наличия биохимически стойких форм органического вещества (на МПС) составляли 0,03

млн.кл/мл. Уменьшение числа сапрофитов сопровождалось увеличением лигнинразрушающих микроорганизмов.

В III варианте при разложении лигнина микрофлорой, содержащейся в продуктах жизнедеятельности улиток, микробиологические процессы в течение двух недель протекали аналогично процессам в I и II вариантах. В этом варианте наблюдения проводились с добавлением лигнина и без него (контроль). В опыте с добавлением лигнина число микроорганизмов было несколько ниже, что, по-видимому, связано с токсическим действием лигнина на микрофлору (см.табл.3).

Полученные данные по содержанию микроорганизмов, участвующих в круговороте углерода, более чем в 1000 раз превышающему их численность в природной воде, отражают активно протекающие процессы в системе. Преобладание в бактериоценозе палочковидных форм в период наблюдений, идентично сапрофитной и спорообразующей микрофлоре, характеризует наряду с напряженностью микробиологических процессов и первоначальные стадии минерализации органического вещества.

Менее выраженные колебания численности микроорганизмов в I варианте, вероятно, являются следствием регулирующего действия одного из компонентов биоценоза - *Protozoa*, использующего бактерии в качестве трофического материала, отмирание которых на 60-й день наблюдений сопровождается увеличением содержания сапрофитной микрофлоры более чем в 8 раз. Численность лигнинразрушающих бактерий порядка млн. и сотен тыс. кол/мл свидетельствует о деструкции лигнина бактериями, использующими продукты его разложения в процессе обмена.

Наибольшая активность микробиальных процессов во II варианте обусловлена, по-видимому, деструкцией органического вещества, аккумулярованного в конгломератах пищевых частиц, адсорбированной на них микрофлорой, действием ее ферментов, содержащихся во вносимом субстрате, что сопровождалось увеличением синтезированного в бактериальную биомассу углерода.

#### Выводы

Во всех вариантах опыта по окончанию минерализации легкоокисляемого органического вещества, о чем косвенно можно

сказать по уменьшению содержания сапрофитов, значительного развития достигают лигнинразрушающие бактерии, численность которых к концу наблюдений увеличивается. Наиболее активно протекают процессы в аэробных условиях (ст.табл. I, 2, 3). Динамика численности лигнинразрушающих бактерий на питательной среде с единственным источником углерода — лигнином не отражает полностью истинный ход процессов его микробиальной деструкции в системе. Однако снижение содержания лигнина (до 60% от исходного в первые 5–6 суток и до 20% на 60–80-е сутки [2]) одновременно с увеличением численности лигнинразрушающих бактерий свидетельствует о его биохимической трансформации.

#### Литература

1. Антропова О. Н. Исследование разложения сульфатного лигнина осины микромицетами и выяснение возможности ферментативной делигнификации древесины осины и целлюлоз: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Л., 1973. 24 с.
2. Канючкова Г. К., Комшилов Н. Ф. Биологическая очистка сточных вод сульфатно-целлюлозных предприятий активными илами. — В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978, с. 192–197.
3. Разумов А. С. Прямой метод учета бактерий в воде. — Микробиология, 1932, т. I, вып. 2, с. 131–146.
4. Шуберт В. Б. Биохимия лигнина. М., 1968, с. 100–112.

Т. М. Тимакова

#### ЭКОЛОГИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОРАЗРУШАЮЩИХ БАКТЕРИЙ В НЕКОТОРЫХ ВОДОЕМАХ КАРЕЛИИ

В последние годы в гидробиологических исследованиях возрос интерес к процессам разрушения клетчатки. Это связано с усилением эвтрофикации некоторых водоемов, увеличением мощностей целлюлозно-бумажной промышленности, а также с несоот-

128

димость прогнозирования изменений качества природных вод в связи с территориальным перераспределением озерного и речного стока. Несмотря на важность, вопрос минерализации клетчатки в водоемах с экологических позиций изучен крайне слабо.

Летом 1981 г. были исследованы три крупных водоема Карелии: Пертозеро, Кондопожская губа Онежского оз. и северная часть Выгозера, различавшиеся количеством и процессами поступления клетчатки. В Пертозеро она попадает с биомассой фитопланктона и высшей водной растительности. В Кондопожскую губу Онежского оз. и северную часть Выгозера, на берегах которых находятся целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК), в большом количестве клетчатка вносится с производственными водами. В первом водоеме изучалась профаунда и литораль (заросли макрофитов), во втором и третьем — профаунда (максимально удаление от производств участки) и районы, подверженные влиянию ЦБК.

Цель работы — изучить распространение целлюлозоразрушающей микрофлоры и целлюлозолитическую способность бактериальных ценозов в разных экологических нишах.

Для микробиологической характеристики водоемов использовали общепринятые в водной микробиологии методы [4]. Количество целлюлозоразрушающих бактерий учитывали на питательной среде, в основе которой была природная вода с добавлением биогенных элементов [5]. О целлюлозолитической способности бактериальных ценозов судили по потреблению кислорода на окисление клетчатки [6] и по интенсивности развития целлюлозных бактерий, которую определяли, используя метод гетеротрофной ассимиляции  $\text{CO}_2$  [7].

Для природных вод водоемов характерно высокое насыщение воды кислородом в течение всего года, слабая природная минерализация и низкое содержание биогенных элементов (табл. I).

Сбрасывание в Кондопожскую губу и северную часть Выгозера сточных вод ЦБК привело к изменениям в гидрохимическом режиме отдельных участков водоемов: повышению минерального состава вод, накоплению органического вещества.

В исследуемый период температурный режим водоемов характеризовался резким перепадом температур в толще воды в Кондопожской губе, более слабым в Пертозере и отсутствием

## Гидрологическая характеристика водоемов Карелии

Водоем	Место отбора проб	Площадь зеркала, $\text{км}^2$	Сред. глубина, м	Прозрачность, м	Температура, $^{\circ}\text{C}$	pH	Содерж. кислорода, $\text{мг O}_2/\text{л}$
Пертозеро	Профундаль			3,5	19,0	7,6	9,3
	Литораль	13,4	12,0	1,3	19,6	7,4	7,1
Кондопожская губа	Профундаль			3,5	10,0	7,0	11,1
	Район комбината	243,0	21,0	1,5	17,9	6,1	6,3
Северная часть Выгозера	Профундаль			2,1	19,0	6,9	8,5
	Район комбината	230,0	6,2	0,5	20,4	7,2	0

термоклина в северном Выгозере.

Продукция биомассы планктонных водорослей в Пертозере не превышала  $0,04 \text{ г C/m}^2 \text{ сутки}^{-1}$ , а в Кондопожской губе и Выгозере соответственно колебалась от малых величин в профундали ( $0,03-0,1$ ) до максимальных вблизи комбинатов ( $0,24-1,61 \text{ г C/m}^2 \text{ сутки}^{-1}$ ). Сильное развитие фитопланктона в северной части Выгозера обусловлено высокой температурой по всей толще воды и увеличением в этом районе озера биогенной нагрузки после введения в 1976 г. на Сегежском ЦБК биологической очистки [2].

Максимальная общая численность бактерий отмечена в Выгозере —  $2,0-111,6 \text{ млн./мл}$  (табл.2). Наиболее высокая плотность микроорганизмов в водоемах выявлялась в местах концентрации органического вещества: в Пертозере — в литорали, в Кондопожской губе и Выгозере — около производств. Здесь она соответственно в 5, 15 и 30 раз была выше, чем в профундали, и довольно равномерно распределялась во всей толще воды. Большое количество бактерий в Выгозеро вносятся вместе с аллохтонным стоком после биологической очистки. Часть аллохтонной микрофлоры находится в неактивном состоянии, что, очевидно, связано с полным расходом в процессе биологической очистки лег-

## Краткая характеристика микрофлоры водоемов

Водоем	Место отбора проб	Кол-во сапрофитных бактерий, тыс./мл	Общая числ. бактерий, млн./мл	Гетеротрофная ассимиляция $\text{CO}_2$ , мкг С/л сут <sup>-1</sup>	Деструкция орг. вещ., мкг С/л сут <sup>-1</sup>
Пертозеро	Профундаль	1,1	0,9	0,2	0,02
	Литораль	2,1	4,1	1,3	0,12
Кондопожская губа	Профундаль	0,8	0,5		0,06
	Район комбината	50,0	13,5	5,0	0,5
Северная часть Выгозера	Профундаль	2,2	3,0	3,3	0,06
	Район комбината	100,0	45,0	16,8	0-0,29

коокисляемого органического вещества и присутствием в воде его трудноминерализуемых фракций.

Бактериальная ассимиляция  $\text{CO}_2$  является хорошим показателем активности бактериальных ценозов. В профундали озер она колебалась от 0,17 до 3,3 мкг С/сутки<sup>-1</sup>, а около комбинатов ее величины одновременно с общей численностью увеличивались до 5,0-16,8. Удельная ассимиляция углекислоты в расчете на 1 млрд. клеток имела величины 0,22-1,1 мкг С/сутки<sup>-1</sup>. Наименьшей она была в Пертозере и максимальной в Выгозере. Следует отметить, что в районе комбинатов при высокой концентрации органического вещества количество ассимилированного карбоната на 1 млрд. клеток было невысоким - около 0,04 мкг С/сутки<sup>-1</sup>, что подтверждает аллохтонное происхождение значительной части микрофлоры около комбинатов. На это указывает также большой разрыв между количеством сапрофитных бактерий и общей численностью микроорганизмов.

Деструкция органического вещества в профундали водоемов колебалась от 0,02 до 0,06, а около комбинатов увеличивалась до 0,5 мг С/л сутки<sup>-1</sup>. Она повсеместно превышала продукцию органического вещества фитопланктона, что особенно характер-



но для участков водоемов, испытывающих влияние аллохтонного стока: в Пертозере – в литоральной зоне, а в Выгозере и Кондопожской губе – около комбинатов (табл.2).

Бактерии, способные к разрушению целлюлозы, в исследуемых водоемах встречались повсеместно. Их численность в зоне максимального образования биомассы водорослей достигала 1 тыс./мл. Сопоставление численности целлюлозных бактерий с распределением живых водорослей в водной толще не выявило зависимости между ними, так как воздействию этих бактерий подвергается отмерший, а не живой фитопланктон. В толще воды Кондопожской губы с резко выраженной температурной стратификацией (табл.3, ст.1) целлюлозные бактерии концентрировались в зоне температурного скачка, где происходила задержка и минерализация фитопланктона. На нижней границе термоклина их численность немного повышалась. В Пертозере температурный скачок был растянут и выявить приуроченность целлюлозоразрушающих бактерий к границам термоклина не удалось. В неглубоком плесе Выгозера с более высокой, чем в Пертозере и Кондопожской губе, первичной продукцией фитопланктона и отсутствием термоклина, эти бактерии распределялись довольно равномерно во всей толще воды.

Большое количество целлюлозных бактерий находили в литорали Пертозера в зарослях макрофитов. Зависимость их распределения от разных биотопов водных растений не обнаруживалась. Численность была выше в тех зарослях, где в большом количестве имелись плавающие остатки полуразрушенных водных растений.

Своеобразной экологической нишей целлюлозоразрушающих бактерий были обрастания вегетативных органов высших водных растений. Для развития бактерий здесь складывались наиболее благоприятные условия – наличие субстрата, сильный прогрев воды. Высокая аэрация, особенно на разделе вода – воздух, способствовала развитию ползающих облигатных целлюлозных деструкторов, обладающих высокой ферментативной активностью. В Пертозере обрастания макрофитов были слабыми, затрагивали лишь погруженную в воду часть растений. Сильнее обрастали растения около самого берега. На молодых вегетирующих растениях количество целлюлозоразрушающих бактерий было

Таблица 3

Количество аэробных целлюлозоразрушающих бактерий  
в воде водоемов, тыс./мл

Иероглизо			Кондопожская губа			Выгозеро		
Станция	Горизонт	Числ. целлюлозных бактерий	Станция	Горизонт	Числ. целлюлозных бактерий	Станция	Горизонт	Числ. целлюлозных бактерий
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Северная часть: литераль (заросли) профуциаль	Поверх.	1,0	I	Поверх.	0,01	2	Поверх. Придон.	1,0 1,0
	Поверх.	0,1		Верхняя граница термоклина нижняя граница термоклина	0,1	6	Поверх. Придон.	10,0 100
	Верхняя граница термоклина	0,1		Придон.	1,0 1,0	4 7	Поверх. Придон.	0,1 1,0 1,0 100
	Нижняя граница термоклина		7	Поверх.	1,0	3	Поверх. Придон.	10,0 1,0
	Придон.	0,1	9	Поверх. Придон.	0,1 10,0	8	Поверх. Придон.	10,0 100

Окончание табл. 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Центральная часть: профундаль	Поверх.	0,1	11	Поверх.	10,0	5	Поверх. Придон.	1000,0 10,0
	Придон.	1,0	16	Придон.	100,0 1000,0 100,0			
Книная часть: литораль (заросли) профундаль	Поверх.	10,0						
	Поверх. Придон.	0,1 1,0						

Примечание. В этой и последующих таблицах станции расположены по мере приближения к комбинатам.

меньше, чем на отмирающих, сильно обсемененных этими микроорганизмами. Их количество на стеблях тростника достигало 10 тыс., рогоза - 100 тыс. клеток в 1 г соскобов с поверхности стеблей. Большая численность была обнаружена в месте уреза воды в Пертозере, Якушевой губе, сильно зарастающей водной и наземной растительностью. Волнения здесь не бывает даже во время сильных ветров, а высокое насыщение воды кислородом и повышенное содержание биогенных элементов, приносимых с суши, способствуют их развитию. Число аэробных пеллилозных бактерий достигало 10 тыс. в 1 мл. Как правило, доминировали пигментированные формы.

Своеобразные условия развития целлюлозных бактерий отмечены в Кондопожской губе и Выгозере вблизи

зи комбинатов. Факторами, определяющими распространение здесь аэробной целлюлозоразрушающей микрофлоры, были высокое содержание клетчатки во всей толще воды, значительная часть которой представляет чистую целлюлозу без всяких примесей, и низкое содержание кислорода в воде, особенно около дна. Окислительно-восстановительный потенциал ( $E_h$ ) в отдельных участках Выгозера колебался от  $-141$  до  $-10$  мв\*, однако в большинстве случаев в придонных слоях воды не опускался ниже  $+100$  мв.

Наиболее богатой целлюлозными бактериями была экологическая зона донных отложений водоемов. Здесь выявлено макроорганизмов  $10-100$  тыс./мл грунта, а в районах поступления аллохтонной клетчатки —  $10$  млн./мл. В оз.Пертозеро или из профунали были песчаники с тонким слоем наилка, в Кондопожской губе — представлены песком, серой глиной с наилком и красно-коричневой железистой коркой. Для них были характерны высокие значения окислительно-восстановительного потенциала в поверхностном слое и низкие температуры в течение года. В илах зарослей макрофитов в Пертозере численность целлюлозных деструкторов увеличивалась до  $100$  тыс.— $1$  млн./мл. Или здесь мелкоалевритовые, в поверхностном слое имелись остатки полуразрушенных растений. Развитию аэробных целлюлозных микроорганизмов способствовали хорошая прогреваемость илов, присутствие кислорода, высокое содержание биогенных элементов.

Донные отложения вблизи комбинатов в Кондопожской губе и Выгозере сильно отличались от других районов озера. Им свойственны низкие значения  $E_h$  (от  $-240$  до  $-14$  мв в Выгозере), сильное газообразование и сульфатредукция. Верхний слой илов состоит из древесного волокна и полуразрушенной коры и щепы. Однако, несмотря на неблагоприятные условия для аэробных целлюлозных бактерий, численность их была очень высокой —  $10$  и даже  $100$  млн./мл грунта. Интересно отметить, что в слое воды  $1-2$  см над илами содержалось также большое количество целлюлозоразрушающих бактерий. В узком слое воды над илами наблюдался резкий перепад  $E_h$  — от  $-136$  до  $+140$  мв, свиде-

---

\* Окислительно-восстановительный потенциал в оз.Выгозере определялся П.А.Лозовским.

тальствующий с высокой напряженности бактериальных процессов.

Способность водной микрофлоры к разрушению клетчатки в большинстве исследованных биотопов согласовалась с распределением численности целлюлозоразрушающих бактерий.

Основные факторы, определяющие активность бактериальных ценозов к разрушению клетчатки: наличие клетчатки, температура, состав бактериальных ценозов. В профундали водоемов в поверхностном слое воды, где наиболее интенсивно протекали процессы образования биомассы фитопланктона, целлюлозоразрушающая способность ценозов была очень низкой —  $0-0,1 \text{ мкг С/л сутки}^{-1}$ . В Пертозере глубоководная северная часть заметно отличалась более низкими величинами от мелководной, сильно зарастающей макрофитами южной части (табл.4). В Выгозере, при высокой продукции фитопланктона целлюлозолитическая способность ценозов достигала  $0,25 \text{ мкг С/л сутки}^{-1}$ .

В зоне температурного скачка целлюлозолитическая активность ценозов немного повышалась. Например, в южной части оз. Пертозеро она была в 3 раза выше по сравнению с поверхностным слоем воды. В кондопожской губе небольшое увеличение наблюдалось на нижней границе температурного скачка, что, по-видимому, связано с повышенной концентрацией здесь клетчатки, так как часть легкоминерализуемого органического вещества планктонных водорослей успевала разложиться выше.

Отсутствие термоклина в Выгозере обуславливало увеличение целлюлозолитической активности ценозов около дна. Фитопланктон при высокой продукции биомассы не успевал полностью разложиться в водной толще и скапливался в придонных слоях воды.

В профундали изученных водоемов с выраженными признаками олиготрофии существенным фактором, сдерживающим активность целлюлозоразрушающей микрофлоры, является дефицит биогенных элементов, который особенно ощущается в зоне интенсивно протекающих процессов фотосинтеза. Добавление в воду минеральных форм азота в виде  $\text{NaNO}_3$  в количестве  $2 \text{ г/л}$  и фосфора ( $\text{K}_2\text{HPO}_4$ )  $1 \text{ г/л}$  сильно стимулировало развитие целлюлозных деструкторов. Отмечено, что именно около притоков и в литоральной зоне, куда вместе с аллохтонным стоком вносятся биогенные элементы, целлюлозолитическая способность бактериальных ценозов значи-

Таблица 4

Целлюлозолитическая активность бактериальных ценозов  
воды в озерах Карелии

Пертозеро			Кондопожская губа			Выгозеро		
Станция	Горизонт	Добавочная ассимиляция $\text{CO}_2$ , мкг C/л сут.-1	Станция	Горизонт	Добавочная ассимиляция $\text{CO}_2$ , мкг C/л сут.-1	Станция	Горизонт	Добавочная ассимиляция $\text{CO}_2$ , мкг C/л сут.-1
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Северная часть:			I	Поверх.	0,11	2	Поверх. Придон.	0,25
литораль (заросли)	Поверх.	0,3		Верхняя граница термоклина	0,09	6	Поверх. Придон.	- 0,2
профундаль	Поверх. Придон.	0,02 0,2		Нижняя граница термоклина	0,11	4	Поверх. Придон.	0,25 0,65
Центральная часть:						7	Поверх. Придон.	0,68 2,20
профундаль	Поверх. термоклин	0,05						

I	2	3	4	5	6	7	8	9
Канная часть: литораль (заросли) профундаль	10 м Придон.	0,17 0,21	7	Придон. Поверх. Придон.	0,09 0,07 0,29	3	Поверх. Придон.	1,02 3,3
			9	Поверх. Придон.	0,52 1,26	5	Поверх. Придон.	6,7 14,9
	Поверх.	0,23	11	Поверх.	0,74			
	Поверх. Придон.	0,24 0,25	16	Придон. Поверх. Придон.	0,65 0,24 1,04			

тельно повышалась. Так, в Пертозере в районе впадения лесного ручья она на порядок выше, чем в профундали северной его части.

Высокой целлюлозолитической активностью отличались бактериальные ценозы литорали в зарослях высшей водной растительности. Эта экологическая зона ежегодно пополняется клетчаткой за счет отмирания макрофитов, содержащих в своем составе 9-28,3% целлюлозы от сухой биомассы [1]. В тех зарослях, где преобладали растения с мягкими вегетативными органами, целлюлазная активность ценозов была выше - 0,3 мкг С/л сутки<sup>-1</sup> (табл. 5).

Особой экологической нишей для целлюлозоразрушающих бактерий в водоемах являются обрастания вегетативными органами высших растений, представляющие собой совокупность бактерио- и фитоценозов. Жизнедеятельность целлюлозных

Способность бактерий к разложению клетчатки в зарослях макрофитов в оз.Пертозеро

Заросли макрофитов	Кол-во пат- лн.оз. бак- терий, тыс./мл	Ассимиляция CO <sub>2</sub> целлю- лоз. бакте- риями, мкг С/дл сутки	Потребление кислорода целлюлоз.бак- териями, мг С/л сутки <sup>-1</sup>
Сплавина (подток болотных вод)	10,0	-	0,01
Заросли хвоща, тростника	1,0	0,1	0,04
Смешанные заросли хвоща, ряски, тростника, лютика	10,0	0,23	
Смешанные заросли лютика, ряски, тростника, вахты, рогоза	1,0	0,3	0,03

микроорганизмов здесь связана с клетчаткой отмирающих фитооб-  
растателей, так как при очень высокой плотности последних от-  
мирание происходит довольно быстро. Кроме того, содержание  
клетчатки в обрастающих, возможно, пополняется за счет отми-  
рания эпидермиса растений.

В нише обрастаний водных растений потенциальная целлюло-  
литическая активность бактериальных ценозов была очень вы-  
сокой. На молодых растениях она не превышала 20, а на полу-  
разрушенных, состоящих в основном только из клетчатки, дости-  
гала 160 мкг С/г соскобов в сутки. Выявить связь целлюлозо-  
разрушающей способности бактериальных ценозов обрастаний с  
видовой принадлежностью макрофитов не удалось из-за большо-  
го колебания полученных величин. Однако по усредненным данным  
отмечено, что в обрастающих мягких стеблях рогоза добавочная  
ассимиляция CO<sub>2</sub> целлюлозолитической микрофлорой выше, чем в твер-  
дых стеблях тростника, соответственно 120 и 90 мкг С/г соско-  
бов в сутки\*. Высокое содержание лигнина, придающего твердость

\* Величины целлюлозолитической активности ценозов обра-  
станий, возможно, завышены, так как определения проводились в  
соскобах перифитона. В естественных условиях при очень высо-  
кой плотности бактерио- и фитообрастателей активность бакте-  
рий, по-видимому, будет ниже.



стеблям тростника, повышает их устойчивость к бактериальному разрушению. Вследствие этого они не успевают полностью разрушиться в воде в течение года и опускаются на дно, где претерпевают дальнейшее разложение. В зоне уреза воды потенциальная целлюлозоразрушающая способность бактерий составляла 90 мкг С/л в сутки.

В специфических условиях вблизи комбинатов активность бактериальных ценозов в разрушении целлюлозы имела некоторые особенности. В среднем по сравнению с профундали она повышалась на порядок. Однако на ряде станций были получены чрезвычайно низкие значения прибавочной ассимиляции  $\text{CO}_2$ . Это, по-видимому, связано с присутствием в воде большого количества легкоминерализуемых органических веществ, которые способны не только сдерживать, но и угнетать целлюлозолитическую активность микрофлоры. Это отмечено в литературе для целого ряда целлюлозных бактерий [8, 9, 10].

Аллохтонные воды, богатые органическим веществом, в летний период имеют тенденцию распространяться в поверхностных слоях. Здесь же в большинстве случаев отмечалась очень низкая активность бактерий к разрушению клетчатки. В придонных слоях воды она, как правило, имела положительные величины и была в 1,5-3,0 раза выше, чем в поверхностных (см. табл. 4). Вблизи комбинатов целлюлозолитическая способность, возможно, угнеталась высокой концентрацией сточных вод и лигнина. Производственные воды ЦБК относятся к наиболее ядовитым, и, как показал Т. Савада с сотр. [12], 40%-ное содержание в воде сточных вод сильно снижает скорость роста целлюлозных бактерий. То же наблюдается и в присутствии лигнина [3, 12]. Заметное влияние лигнина, по-видимому, имело место в оз. Выгозеро. Являясь биохимически стойким соединением, он не успевает полностью разрушиться на станции биологической очистки и вместе с аллохтонным стоком выносится в водоем.

Максимальные величины целлюлозолитической способности донных бактериоценозов сравнимы с обрастаниями вегетативных органов водных растений. Илы профундали пополняются преимущественно клетчаткой, содержащейся в отмершем фитопланктоне, который в оз. Пертозеро и Кондопожской губе, по-видимому, не скапливается в илах в больших количествах. Об этом косвенно

можно судить по очень низкой продукции фитопланктона и слабому слою наилка донных отложений. В поверхностных слоях илов клетчатка разрушалась аэробной микрофлорой. Целлюлозоразрушающая активность ценозов при  $4-10^0$  составляла  $3-10$  мкг С/мл илов в сутки. Установлено, что в илах способность бактерий к разрушению клетчатки не лимитируется биогенными элементами.

Вблизи комбинатов большое значение в разрушении клетчатки в поверхностных слоях илов имела микроаэробная и анаэробная микрофлора. Целлюлозолитическая способность составляла  $8,1-147,0$  мкг С/мл сутки<sup>-1</sup> (табл.6). В отдельных районах

Таблица 6

Способность к разрушению целлюлозы в донных отложениях, мкг С/мл сутки<sup>-1</sup>

Зыгозеро		Кондопожская губа	
Станция	Ассимиляция $CO_2$ целлюлозными бактериями	Станция	Ассимиляция $CO_2$ целлюлозными бактериями
3	Около 0	4	2,7
1	13,0	7	9,4
4	Около 0	9	3,1
7	10,0	11	17,1
3	Около 0	13	Около 0
5	147,0	14	Около 0
		15	8,1
		16	68,4
		17	111,2

была очень низкой, несмотря на значительное количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Возможно, снижение целлюлозолитической активности илов связано с высокой концентрацией в них аллохтонной клетчатки, так как крупные частицы ее (кора, щепа, древесное волокно) оседают на дно в непосредственной близости от производства. Вследствие этого клетчатка не успевает полностью минерализоваться в поверхностных слоях илов, захороняется и дальнейший ее распад происходит в анаэробных условиях. На факт снижения активности целлюлозоли-

тических ферментов при высокой концентрации в среде целлюлозы указывают С.Садлер и А.Хан [11].

Определение потенциальной способности бактериальных ценозов к разрушению клетчатки кислородным способом в общих чертах выявило те же закономерности, что и при использовании радиоактивного карбоната. В воде профондали деструкция целлюлозы колебалась от 0,01 до 0,06, а вблизи комбинатов увеличивалась до 0,4 мг С/л сутки<sup>-1</sup>, в воде зарослей водных растений достигала 0,5.

Таким образом, в исследованных водоемах бактерии, способные к разрушению клетчатки, встречались повсеместно, но максимальное их количество было приурочено к местам ее скопления. В профондали озер, характеризующихся автохтонным поступлением клетчатки, они концентрировались согласно распространению детрита - в зоне максимального образования биомассы фитопланктона, около дна, в илах, при наличии хорошо сформированного термоклина - в зоне температурного скачка. В озерах с развитой высшей водной растительностью целлюлозоразрушающие бактерии особенно в больших количествах сосредоточивались в воде зарослей и особенно в обрастаниях макрофитов. В водоемах - приемниках аллохтонной клетчатки ЦБК - разрушение клетчатки наиболее интенсивно происходит около производств, уменьшаясь по мере удаления от них. Распределение целлюлозолитической способности бактериальных ценозов воды зависит от распределения аллохтонной клетчатки. Максимальные величины ее приурочены к придонным слоям воды.

Целлюлозолитическая активность бактериальных ценозов определяется температурным режимом водоемов, концентрацией и составом целлюлозосодержащих субстратов, дефицитом биогенных элементов в воде, а в водоемах, куда клетчатка вносится с производственными водами ЦБК, кроме того, кислородным режимом, присутствием больших концентраций легкоокисляемого органического вещества, целлюлозы, сточных вод.

#### Литература

1. Захаренкова Г. Ф. Первичная продукция морей и внутренних вод. Минск, 1961, с.112-115.

2. Л о з о в и к П. А., Р о д љ к и н а И. С., М а р -  
т ы н о в а Н. Н. и др. Влияние донных отложений Выгозерско-  
го водохранилища на химический состав его воды. - В кн.: Ор-  
ганическое вещество и биогенные элементы во внутр. водоемах:  
Тез. докл. IV Всесоюз. симпози. Петрозаводск, 1983, с.69-71.

3. М а к с и м о в а Э. А., М а к с и м о в В. Н.,  
К о л е с н и ц к а я П. Н. Биодеструкция целлюлозы в дон-  
ных отложениях Байкала. - Гидробиол. журн., 1981, т.17, № 3,  
с.66-72.

4. Р о м а н е н к о В. И., К у з н е ц о в С. И. Эко-  
логия микроорганизмов пресных водоемов. Л., 1974. 194 с.

5. Т и м а к о в а Т. М. Учет количества целлюлозных  
бактерий в водоемах на разных питательных средах. - Микроби-  
ол., 1982, т.51, вып.1, с.168-170.

6. Т и м а к о в а Т. М., Р о м а н е н к о В. И. Ме-  
тод определения потенциальной способности микрофлоры воды к  
разрушению клетчатки. - Биология внутренних вод: Информ. бюл.,  
1981, № 49, с.62-64.

7. Т и м а к о в а Т. М., Р о м а н е н к о В. И. Цел-  
люлозные бактерии и потенциальная способность разложения цел-  
люлозы в сзерах Карелии. - Микробиол., 1984, т.53, вып. 1,  
с.142-148.

8. B r e u i l C., K u s h n e r D.J. Cellulase unduc-  
tion and the use cellulose as a preferred growth substrate by  
Cellvibrio gilvis. - Can.J.Microbiol., 1976, 22,N 12,p.1776-1781.

9. C h a n g L i -Yen E., P a t e J. Nutritional requi-  
rements of Cytophaga johnsonae and some of its auxotrophic mu-  
tants. - Curr. Microbiol., 1981, 5, N 4, p. 235-240.

10. R e i c h a r d t W. Jahreszeitliche Verteilungsmuster  
heterotropher Bakterien, bakterieller Fakabindikatoren und der  
gelosten organischen Substanz un Bodensee (Obersee und Überlin-  
ger see). - Schweiz L.Hydrol., 1979, 40, N 2, S. 249-261.

11. S a d d l e r S.N., K h a n A.W. Cellulase producti-  
on by Acetivibrio cellulolyticus. - Can. J. Microbiol., 1980,  
26, N 7, p. 760-765.

12. S a w a d a T., C h o h j i T., K u n o S. Practi-  
cal application of microorganism for pulp Wastewater treat-  
ment. - Chem. Eng. Sci., 1980, 35, N 1-2, p. 127-134.

# ФИТОПЛАНКТОН И ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ ВЫГОЗЕРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Изучение первичной продукции фитопланктона и содержания хлорофилла в воде Выгозерского водохранилища (площадь 1143 км<sup>2</sup>, средняя глубина 6,2 м) проводилось по всему водоему в весенний и летний периоды 1971 и 1972 гг., а в северной его части, подверженной влиянию сточных вод ЦБК (сульфатное производство), кроме того, и летом 1981 г. после ввода в действие (в 1976 г.) биологической очистки сточных вод. Одновременно отбирался фитопланктон и выполнялись гидрохимические исследования.

Фотосинтетические процессы изучались методом склянок в кислородной модификации [3]. При сборе и камеральной обработке фитопланктона руководствовались методиками, общепринятыми в гидробиологии. Параллельно определялось содержание хлорофилла в планктоне фильтрованием 1 л воды через мембранный фильтр № 6 с растертым стеклом. С подсушенного фильтра снимали стекло с осевшим фитопланктоном, заливали 90%-ным ацетоном для экстракции хлорофилла. Экстракт отделяли центрифугированием и определяли оптическую плотность при  $\lambda = 630, 645$  и 750 нм. Расчет содержания хлорофилла вели по определенной формуле [25].

Выгозерское водохранилище по морфологическим признакам разделяется на три основных района: северный, центральный и юго-восточный (рис.1). Гидрохимическая характеристика указанных районов подробно дана в работе Н.С.Харкевич [24]. Здесь приводятся лишь краткие сведения об абиотических условиях среды.

Гидрохимические особенности Выгозерского водохранилища

Минерализация природной воды оз.Выгозеро летом низкая (18,6–30,6 мг/л), а в районе антропогенного влияния – значительно выше. Зимой минерализация резко (в 2 раза и более) повышается в юго-восточной части озера, а также в придонных слоях глубоководных участков центрального района водохрани-

лища (53-86 мг/л). Более высокие ее показатели отмечались в нижних слоях воды северного Выгозера, особенно в зоне повышенного антропогенного влияния.

Вода озера высокоцветная (60-120 град.).

Величина перманганатной окисляемости в природных водах составляет II-18 мгО/л (максимальная 24). Органическое вещество природных вод представлено стойким к биохимическому окислению аллохтонным водным гумусом. Наиболее гумифицированы воды южных участков водохранилища, менее -

центрального и северного районов. Содержание биогенных элементов, особенно их минеральных форм, в водах Выгозера довольно низкое. Сезонные колебания средних концентраций аммонийного азота составляли 0,12-0,22 мгН/л. Наименьшие из них определялись в водах центрального Выгозера, наибольшие - в северном участке. Нитриты и нитраты в воде летом аналитически не улавливались в связи с активным потреблением их фитопланктоном. Зимой содержание их в воде заметно увеличивалось, особенно в участках, примыкающих к устью рек. Концентрация нитритов в это время колебалась в пределах 0,0003-0,003 мгН/л, нитратов - 0,011-0,11 мгН/л. Весной нитраты отмечались на единичных станциях (до 0,01 мгН/л), осенью они были определены повсеместно (0,005-0,011 мгН/л). Среднегодовые концентрации органического азота по участкам колебались в пределах 0,39-0,49 мгН/л.

Минерального фосфора в воде также крайне мало: в при-



Рис. I. Схематическая карта комплексных станций на Выгозере

родных водах концентрация его колеблется в пределах 0,001–0,003 мг Р/л во все сезоны. Наиболее богаты фосфатами воды юго-восточных притоков оз. Выгозеро. В летний период здесь определены высокие концентрации фосфора (до 0,032 мг Р/л). Зимой наблюдается увеличение фосфатов в устьевых участках рек, а также в придонных слоях глубоководных участков центрального (0,009–0,012 мг Р/л) и северного районов водохранилища (0,025–0,050 мг Р/л). Концентрации органического фосфора в среднем за год составляли по участкам 0,032–0,064 мгР/л.

Воды Выгозерского хранилища богаты железом. Наиболее высокие концентрации его обнаруживались в зимний период в придонных слоях воды южных участков (до 2,72 мг Fe/л), наиболее низкие – у поверхности (0,09–0,20). Весной и летом содержание железа в воде достаточно велико (0,18–0,86 мг Fe/л). Больше всего содержат железа во все сезоны года воды южных участков. Низкие концентрации характерны для северного Выгозера.

Кислородом вода озера даже летом, как правило, недонасыщена. На большинстве станций насыщение составляет 88–81% (9,44–8,06 мг/л). В зимний период отмечается дефицит кислорода у дна, особенно в северных и южных участках озера (насыщение до 20–5%, или 2,83–0,60 мг/л).

В воде постоянно присутствует двуокись углерода. Минимальная концентрация достигала 1,2 мгСО<sub>2</sub>/л, но чаще, даже летом, она была значительно выше: 2,1–4,4 – у поверхности и 3,1–5,7 мг/л – в придонных слоях. Максимальные величины ее отмечались в зоне повышенного антропогенного влияния. Активная реакция воды Выгозерского водохранилища слабощелочная, иногда приближается к нейтральной (рН 6,2–7,0).

#### Фитопланктон

В период наблюдений (1971–1972 гг.) в фитопланктоне Выгозерского водохранилища было встречено до 160 видов и разновидностей водорослей из семи систематических групп. Наибольшее таксономическое разнообразие было отмечено летом 1971 г. (90 видов), наименьшее – весной и летом 1972 г. (56 видов). Основу систематического разнообразия фитопланктона составляли диатомовые, зеленые и сине-зеленые водоросли (до 90% состава).

Руководящий комплекс был представлен немногочисленными видами диатомовых - *Melosira islandica* subsp. *helvetica*, *M. distans* var. *alpigena*, *M. ambigua*, *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*; зеленых - *Ankistrodesmus pseudomirabilis*, *Coccosystis planctonica*; сине-зеленых - *Oscillatoria tenuis* и пиропитовых - *Peridinium aciculiferum*, которые определяли фон планктона в различных участках водохранилища. Небольшой процент массовых видов фитопланктона Выгозера (6% от общего) - характерная особенность водоемов олиготрофного типа [8, 12-14]. Видовой состав выгозерского фитопланктона однороден по всему водохранилищу. Коэффициенты сходства видового состава фитопланктона северного Выгозера с его центральным и юго-восточным районами были близки. Большую степень сходства имели северное и центральное Выгозеро (0,80), меньшую - северный и юго-восточный его участки (0,60).

Низкая минерализация и малые концентрации биогенных элементов в водах Выгозера [24] обуславливают преимущественное развитие флоры диатомовых водорослей на протяжении всего вегетационного периода. Другие группы фитопланктона, как правило, заметной роли не играли, за исключением пиропитовых, которые дали вспышку зимой 1972 г. Впервые доминантом стал *Peridinium aciculiferum*. Биомасса его в центральном Выгозере оказалась в 10 раз выше биомассы диатомовых (0,20 против 0,02 г/м<sup>3</sup>), численность увеличилась вдвое.

В видовом составе фитопланктона отмечено 50 таксонов - индикаторов сапробности. По сводкам А.В.Макуштина [10] и по списку индикаторных организмов Сладечка [22], из них олигосапробов - 10, олиго-β-мезосапробов - 11, β-мезосапробов - 21, α-β-мезосапробов - 3, α-мезосапробов - 2, полисапробов - 1. В выгозерском фитопланктоне заметно преобладали мезосапробные организмы (42%) и олиго-β-мезосапробы (22%) от всех показательных форм. Среди них выделялись *M. islandica* subsp. *helvetica*, *Tabellaria fenestrata*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, вошедшие в состав руководящего комплекса. Из α-мезосапробов (4%) следует отметить *Oscillatoria tenuis*. Олигосапробы составляли 18% от общего числа показательных форм, это *Sphaerocystis schroeteri* и *Gomphos-*



*phaeria lacustris*.

Ход сезонной динамики фитопланктона полностью определяется развитием диатомовых. Распределение количественных показателей фитопланктона по водохранилищу было неравномерным. Значительное развитие его наблюдалось в центральном и юго-восточном районах озера. Максимальной была биомасса в южных участках центрального Выгозера (до 4 г/м<sup>3</sup>). Менее всего развивался фитопланктон в северном Выгозере (табл. I). В среднем биомасса фитопланктона по всему водохранилищу варьировала в пределах 0,11-0,90 г/м<sup>3</sup>.

Таблица I

Количественные показатели развития фитопланктона

Выгозерского водохранилища ( $\frac{\text{биомасса, г/м}^3}{\text{числ., тыс.кл/л}}$ )

Район	Зима	Весна	Лето
Северный	<u>0,03</u>	<u>0,05</u>	<u>0,390</u>
	28,4	35,6	223,2
Центральный	<u>0,22</u>	<u>0,91</u>	<u>1,782</u>
	48,7	385,7	838,0
Юго-восточный	<u>0,11</u>	<u>0,40</u>	<u>0,760</u>
	30,5	175,3	625,7

Весной руководящими в планктоне были диатомовые. Средняя по водохранилищу биомасса этой группы составляла 0,340 г/м<sup>3</sup>, причем в центральной части водохранилища она отличалась высокими показателями (до 0,700) в сравнении с юго-восточным и северным районами (0,300 и 0,03 г/м<sup>3</sup> соответственно). На таком же уровне, что и зимой, вегетировали пиродитовые, достигая высоких показателей у поверхности, особенно в глубоководных участках центрального Выгозера (до 0,700 г/м<sup>3</sup>). Незыскую биомассу показывали сине-зеленые (0,01 г/м<sup>3</sup>), а доля золотистых и зеленых водорослей очень мала (0,00003 г/м<sup>3</sup>). Среди них следует отметить в весеннем планктоне *Dinobruon divergens*, *D. bawaricum*, *D. suecicum*, *Ankistrodesmus pseudomirabilis*, *Scenedesmus quadricauda*, *Coenocystis planctonica*, встре-

чались они в большинстве случаев единичными экземплярами. Лишь в 1972 г. (наиболее тепловодном) в южных участках центрального района водохранилища биомасса этих групп водорослей достигла своего годового максимума на 5-метровой глубине ( $0,028 \text{ г/м}^3$ ).

Основная масса фитопланктона концентрировалась в поверхностных слоях воды. Наиболее богаты фитопланктоном были воды центральных и юго-восточных участков водохранилища (до  $0,800 \text{ г/м}^3$ ), значительно беднее северного Выгозера (до  $0,200$ ). В целом распределение количественных показателей фитопланктона Выгозера имело тенденцию возрастания от северных (более бедных фитопланктоном участков Выгозера) к центральному и юго-восточному районам (табл. I).

В летнем фитопланктоне отмечались заметные изменения в сторону увеличения его видового состава и количественных показателей. Значительно возрастало таксономическое разнообразие зеленых водорослей с преимуществом десмидиевых. Доминировали в планктоне по-прежнему диатомовые водоросли ( $90-98\%$ ), представленные видами весеннего комплекса. На фоне диатомового планктона продолжали обильно вегетировать сине-зеленые водоросли, однако роль их в общей биомассе фитопланктона незначительна ( $I, I-I, 7\%$ ). Крайне мало было в планктоне зеленых водорослей ( $0,02-0,5\%$  от общей биомассы). Количественные показатели летнего фитопланктона значительно колебались по районам:  $0,033-1,5 \text{ г/м}^3$  в северном,  $0,200 - 4,5$  в центральном и  $0,170-2,60$  в юго-восточном Выгозере. Анализ данных вертикальной стратификации летнего фитопланктона в различных районах водохранилища показывает, что в центральном и юго-восточном районах она подчинена общей закономерности: убыванию биомассы с глубиной. Максимум ее отмечался в верхнем  $0-5$ -метровом слое воды (до  $1,200 \text{ г/м}^3$ ), минимум — у дна (до  $0,200$ ). В северном Выгозере фитопланктон концентрировался преимущественно на глубине  $5 \text{ м}$ , составляя  $0,400 \text{ г/м}^3$ . Плотность его у поверхности была минимальной по водохранилищу ( $0,360 \text{ г/м}^3$ ).

#### Содержание хлорофилла

Количество хлорофилла в воде характеризует уровень развития фитопланктона, его фотосинтетическую активность, а так-

же служит биологическим показателем трофности водоемов [3, 7]. Невысокий уровень развития фитопланктона в Выгозерском водохранилище подтверждается низким содержанием хлорофилла "а", являющегося основным компонентом растительной клетки, необходимым участником фотосинтеза (табл.2).

Таблица 2

Содержание хлорофилла "а" (мг/м<sup>3</sup>) в воде различных районов Выгозерского водохранилища летом (июль-август)

Глубина, м	1971 г.		1972 г.
	Северный район	Центр. и юго-вост. район	Северный район
0,25	0,23*	0,71	0,88
	0,10-0,61	0,32-1,97	0,28-1,78
0,5	0,26	1,03	0,94
	0,12-0,38	0,35-2,00	0,17-1,76
1,0	0,53	1,01	0,77
	0,31-0,87	0,31-2,02	0,39-1,99
2,0	0,25	0,89	0,95
	0,12-0,50	0,17-1,41	0,52-1,85
3,0	0,31	1,14	0,83
	0,12-0,55	0,17-2,89	0,36-1,28
4,0	0,32	0,65	0,73
	0,06-0,68	0,69-0,98	0,44-1,07
5,0	0,49	0,62	0,47
	0,06-0,99	0,17-1,76	0,12-1,16

\* В числителе - средние, в знаменателе - мин.-макс. значения.

Концентрация хлорофилла "а", полученная в различных районах Выгозерского водохранилища в 1971-1972 гг., характерна для олиготрофных северных водоемов [17, 18], а также для оз. Байкал [25].

В Выгозерском водохранилище содержание хлорофилла "а" летом колебалось в пределах 0,06-2,89 мг/м<sup>3</sup> (табл.2). В юго-западной части центрального Выгозера (ст.208) наибольшее ко-

личество хлорофилла "а" ( $2,02 \text{ мг/м}^3$ ) было определено на глубине 1 м. В юго-восточном районе водохранилища (ст.213<sup>а</sup>) максимум хлорофилла "а" отмечался на глубине 3 м (табл.2). Средние концентрации хлорофилла "а" в слое 0-5 м составляли  $0,16-1,85 \text{ мг/м}^3$  (табл.3).

Высокое содержание хлорофилла "а" отмечено в этих участках и весной 1972 г. (табл.4). Максимальная концентрация хлорофилла "а" в весенний период составляла  $2,23 \text{ мг/м}^3$  (на глубине 2 м). Среднее содержание хлорофилла в слое 0-5 м по всему водохранилищу изменялось в пределах  $0,19-1,65 \text{ мг/м}^3$ .

В направлении к северу концентрация хлорофилла "а" в воде уменьшалась. Так, в открытом плесе центрального Выгозера (ст.201,220) летом содержание хлорофилла "а" составляло  $0,47-0,35 \text{ мг/м}^3$  (максимум на глубине 0,5 м -  $0,50-0,60$ ), весной -  $0,32 \text{ мг/м}^3$ . Однако на станции 25<sup>б</sup>, где уже проявляется влияние антропогенного фактора, хлорофилла "а" было почти в 2 раза больше (см.табл.3).

В восточной практически чистой части северного Выгозера (ст.69) и в зоне, подверженной антропогенному влиянию, хлорофилла в летний период мало ( $0,16-0,26 \text{ мг/м}^3$ ), максимальное содержание его составляло  $0,35$  и  $0,43 \text{ мг/м}^3$  соответственно.

Весной 1972 г. концентрация хлорофилла "а" в открытом плесе центрального Выгозера и в северном районе водохранилища была на уровне летних 1971 г. (см.табл.3, 4).

Лето 1972 г. было аномально теплым [23]. Наблюдения за хлорофиллом велись только в северном Выгозере. Концентрация в этот период была более высокой по сравнению с летом 1971 г. и изменялась аналогично биомассе (табл.3, 4, 5).

Относительное содержание хлорофилла "а" в сырой биомассе фитопланктона летом 1971 г. изменялось в пределах  $0,04-0,25\%$ . В северном Выгозере колебания этих величин составили  $0,05-0,17\%$ . Наиболее высоким было количество хлорофилла "а" в биомассе весной 1972 г. в районе слабого антропогенного воздействия -  $0,29\%$  (см.табл.4). Минимальный процент хлорофилла "а" ( $0,04$ ) отмечен в юго-западном участке центрального Выгозера летом при максимальной для водохранилища биомассе -  $4586 \text{ мг/м}^3$  (ст.208). Достаточно высокое удельное содержание хлорофилла "а" ( $0,20\%$ ) отмечено на ст.201 в откры-

Абсолютное и относительное содержание хлорофилла "а",  
биомасса фитопланктона и биогенные элементы в иле-  
августе 1971 г. в Выгозерском водохранилище (слой 0-5 м)

Район	Станция	Хлорофилл "а"		Био- масса, мг/м <sup>3</sup>	Биогор., мг/л		Азот, мг/л		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
		мг/м <sup>3</sup>	% от биомассы		орг.	минер.	орг.	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Северный	69	0,16	0,05	290	0,03	0,002	0,31	0,001	0,12
	43	0,26	0,10	250	0,059	0,003	-	0,000	0,35
	25 <sup>б</sup>	0,70	0,17	420	0,037	0,003	0,37	0,000	0,09
	37 <sup>а</sup>	0,26	0,07	386	0,029	0,003	0,58	0,002	0,08
Центральный	201	0,47	0,20	232	0,018	0,002	0,27	0,000	0,10
	220	0,35	0,11	326	0,022	0,003	0,68	0,000	0,12
	208	1,85	0,04	458	0,046	0,002	0,40	0,000	0,14
Юго-восточный	211	1,21	0,19	622	0,041	0,002	0,43	0,000	0,12
	214 <sup>а</sup>	0,91	0,16	570	0,049	0,002	0,40	0,000	0,10
	213 <sup>а</sup>	1,44	0,25	584	0,042	0,002	0,48	0,000	0,14

Таблица 4

Абсолютное и относительное содержание хлорофилла "а",  
биомасса фитопланктона, биогенные элементы в июне  
1972 г. в Волговерском водохранилище (слой 0-5 м)

Район	Станция	Хлорофилл "а"		Био-масса, мг/м <sup>3</sup>	Фосфор, мг Р/л		Азот, мг N/л		
		мг/м <sup>3</sup>	% от биомас- сы		орг.	минер.	орг.	N-NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Северный	52	0,27	0,29	92	-				
	37	0,19	0,11	174	0,014	0,001	0,62	0,000	0,12
Центральный	307	1,65	0,16	1024	0,065	0,002	0,37	0,000	0,11
	220	0,32	0,15	204	0,024	0,002	0,55	0,006	0,09
	205	0,55	0,12	472	0,020	0,002	0,32	0,010	0,12
Юго-восточный	211	0,64	0,26	250	0,037	0,001	0,30	0,000	0,13
	214 <sup>а</sup>	0,90	0,13	700	0,023	0,003	0,50	0,000	0,14
	213 <sup>а</sup>	0,93	0,19	497	0,066	0,002	0,42	0,000	0,14

Абсолютное и относительное содержание хлорофилла "а",  
биомасса фитопланктона в северном районе водохранилища  
в июле-августе 1972 г. (слой 0-5 м)

Станция	Хлорофилл "а", мг/м <sup>3</sup>	% хлорофилла в сырой био- массе	Биомасса, мг/м <sup>3</sup>
52 <sup>Г</sup>	0,94	0,26	356
37 <sup>а</sup>	0,97	0,19	502
7	0,59	0,20	288
43	0,27	0,08	324

гом плесе этого района при минимальной биомассе 232 мг/м<sup>3</sup> (см. табл.3).

Как показали наблюдения на озерах Карельского перешейка, такая зависимость имеет место только при дефиците биогенных элементов, в частности нитратного азота. Учитывая это обстоятельство, следует отметить, что во все сезоны года нитраты были определены в водах Выгозерского водохранилища в крайне небольших количествах. Весной и летом в связи с активным потреблением их фитопланктоном они практически отсутствовали (см. табл.3, 4). Полученные величины относительного содержания хлорофилла в биомассе фитопланктона оз.Выгозеро находятся в пределах величин, приводимых для других водоемов, %: в оз. Красном - 0,08-0,70 [19, 20], Харбейских озерах - 0,37 [17], озерах Кривом и Крутом - 0,15-0,54 [1], Онежском - 0,11-1,30 [21], Рыбинском водохранилище - 0,2-0,4 [6].

#### Интенсивность фотосинтеза

Для водной массы Выгозерского водохранилища характерны невысокие величины интенсивности фотосинтеза. В летний период 1971 г. средние величины его в слое 0-5 м по всему водохранилищу, исключая участки, подверженные антропогенному влиянию, колебались в пределах 0,08-0,17 мг O<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup> (табл.6). Максимальная величина составляла 0,39. Интегральная продукция под 1 м<sup>2</sup> изменялась от 0,40 до 0,85 г O<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> сутки<sup>-1</sup>. Наиболь-

Суточная продукция (А) и деструкция (R) в различных районах Выгозерского водохранилища в июле-августе 1971 г. (в слое 0-5 м)

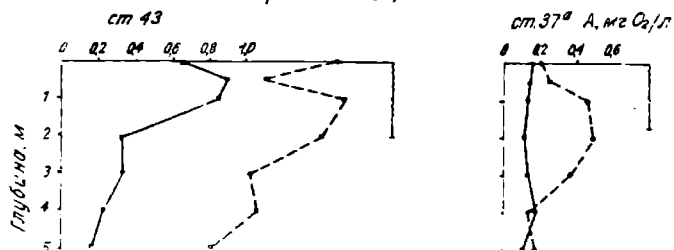
Районы	Стан- ция	А		A <sub>max</sub>	R		R <sub>max</sub>
		мг O <sub>2</sub> /л	гC <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>	мг O <sub>2</sub> /л	мг O <sub>2</sub> /л	г O <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>	мг O <sub>2</sub> /л
Северный	69	0,08	0,40	0,13	0,16	0,80	0,22
	43	0,30	1,50	0,88	1,37	6,83	2,50
	25	0,16	0,80	0,48	0,43	2,15	0,69
	37	0,13	0,65	0,22	0,32	1,60	0,48
Центральный	201	0,10	0,50	0,32	0,12	0,60	0,32
	220	0,10	0,50	0,21	0,33	1,65	0,64
	208	0,11	0,55	0,32	0,30	1,50	0,64
	209	0,17	0,85	0,32	0,28	1,40	0,48
Юго-восточный	211	0,08	0,40	0,16	0,17	0,85	0,32
	214 <sup>a</sup>	0,12	0,60	0,16	0,16	0,80	0,18
	213 <sup>a</sup>	0,14	0,70	0,39	0,25	1,25	0,39

шая интенсивность фотосинтеза весной и летом определена в слое 0-1 м, реже на глубине 3-5 м (рис.2, 3).

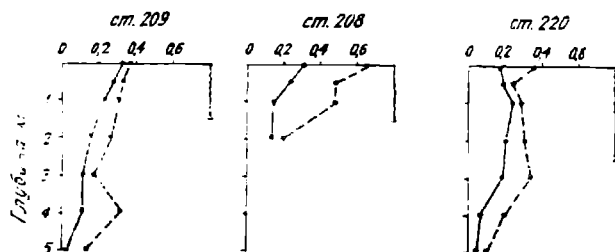
Распределение средних величин интенсивности фотосинтеза в природных водах Выгозерского водохранилища в значительной мере сходно с распределением хлорофилла "а" и биомассы фитопланктона. Повышенная интенсивность фотосинтеза (0,17 мгO<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>) отмечалась в южных участках центрального Выгозера, характеризующихся высокой биомассой фитопланктона. Несколько ниже она была в юго-восточных участках водохранилища - 0,12 (ст.214<sup>a</sup>) и 0,14 мгO<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup> (ст.213<sup>a</sup>). В открытом плесе центрального Выгозера (ст.201, 220) скорость фотосинтеза снижалась до 0,10 мгO<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>. Минимальный фотосинтез отмечался в самой южной части водохранилища (ст.211) и в восточном участке северного Выгозера (ст.69) - 0,08.

В направлении к северу в районе слабого влияния сточных вод фотосинтез возрастал (до 16 мгO<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>). Самая высо-





## Центральное Выгозеро



## Юго-восточное Выгозеро

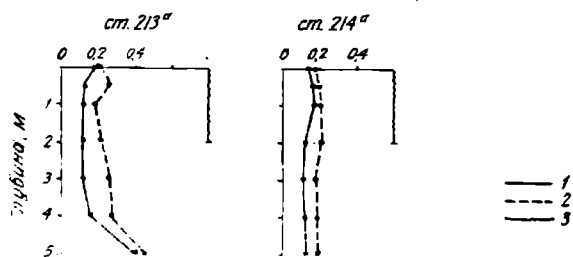
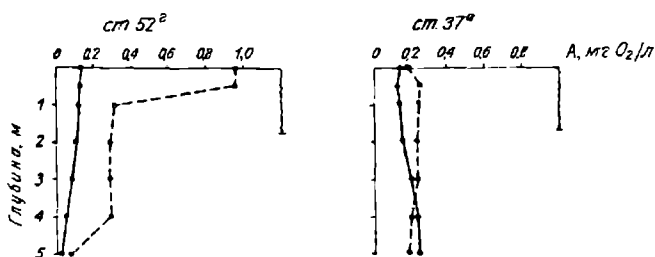
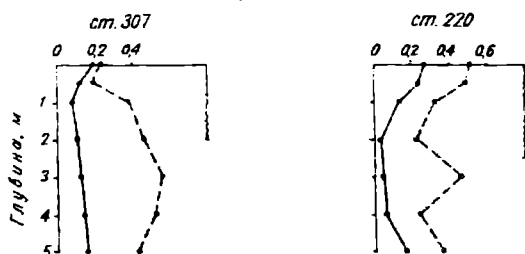


Рис. 2. Зависимость интенсивности фотосинтеза планктона (1), деструкции (2) от глубины и прозрачности воды (3) в различных участках Выгозерского водохранилища в июле-августе 1971 г.



## Центральное Выгозеро



## Юго-восточное Выгозеро

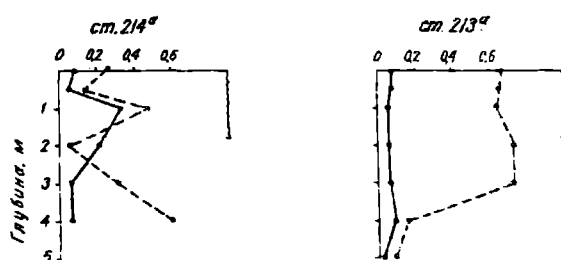


Рис.3. Зависимость интенсивности фотосинтеза планктона (1), деструкции (2) от глубины и прозрачность воды (3) в различных районах Выгозерского водохранилища в июне 1972г. Усл. обозначения те же, что и на рис.2.

кая для водохранилища средняя величина интенсивности фотосинтеза (табл.6) при низкой концентрации хлорофилла и биомассе фитопланктона была определена в зоне повышенного антропогенного воздействия - 0,30. Аналогичная картина наблюдалась в северном Выгозере и летом 1972 г. (табл.7).

Таблица 7

Суточная продукция (А) и деструкция (R) в различных районах Выгозерского водохранилища в июле-августе 1972 г. (слой 0-5 м)

Станция	А		A <sub>max</sub>	R		R <sub>max</sub>
	мгО <sub>2</sub> /л	гО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>		мгО <sub>2</sub> /л	гО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>	
52 <sup>a</sup>	0,11	0,55	0,50	0,23	1,15	0,16
37 <sup>a</sup>	0,12	0,60	0,31	0,20	1,0	0,32
7	0,09	0,45	0,14	0,15	0,75	0,32
43	0,14	0,70	0,27	1,31	6,55	2,13

В июне 1972 г. фотосинтез по всему водохранилищу был ниже (0,06-0,10), чем в июле-августе (табл.8). Исключение

Таблица 8

Суточная продукция (А) и деструкция (R) в различных районах Выгозерского водохранилища в июне 1972 г. (в слое 0-5 м)

Район	Станция	А		A <sub>max</sub>	R		R <sub>max</sub>
		мгО <sub>2</sub> /л	гО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>		мгО <sub>2</sub> /л	гО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup>	
Северный	52	0,07	0,35	0,13	0,33	1,65	0,96
	37 <sup>a</sup>	0,18	0,90	0,24	0,23	1,15	0,25
Центральный	367	0,10	0,50	0,13	0,38	1,90	0,46
	220	0,09	0,45	0,25	0,35	1,75	0,49
	205	0,06	0,30	0,17	0,13	0,65	0,51
Юго-восточный	211	0,17	0,85	0,29	0,22	1,10	0,30
	214 <sup>a</sup>	0,09	0,45	0,30	0,26	1,30	0,69
	213	0,09	0,45	0,70	0,42	2,10	0,71

составляли южный участок (ст.2II) и восточная часть северного района водохранилища - 0,17 и 0,18 мгО<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup> соответственно. Деструкция органического вещества, как правило, превышала интенсивность фотосинтеза на всех участках водохранилища: в природных водах в 1,5-3 раза в зоне антропогенного воздействия 1,5-4 раза (табл.6, 7, 8).

Средние величины деструкции органического вещества в природных водах летом колебались в пределах 0,16-0,33 мгО<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>, в зоне антропогенного влияния 0,15-1,37. Интегральная продукция под 1 м<sup>2</sup> для слоя 0-5 м составила в чистых 0,60-1,65 гО<sub>2</sub> сутки<sup>-1</sup>, в зоне антропогенного влияния 2,15-6,65.

Весной деструкционные процессы превышали фотосинтетические в 2-5 раз, кроме указанных станций с более высоким фотосинтезом (табл.8).

Высокий уровень деструкционных процессов в Выгозерском водохранилище по сравнению с интенсивностью фотосинтеза свидетельствует о том, что разрушению подвергаются не только образующиеся в водоеме органические вещества, но и аллохтонные, поступающие с водосбора и в результате антропогенного воздействия.

Из литературных источников известно, что отрицательный баланс органического вещества - характерное явление для олиготрофных, малопродуктивных водоемов. Наше данные по фотосинтезу фитопланктона и деструкции органического вещества в Выгозерском водохранилище ( $A_{\max}$  - 0,39 мгО<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>,  $D_{\max}$  0,64) сопоставимы с соответствующими величинами для других северных водоемов. Так, для олиготрофных озер Кривого и Круглого приводятся  $A_{\max}$  0,16-0,31,  $D_{\max}$  - 0,38-0,45 [1], Б.Харбой  $A_{\max}$  0,20 мгО<sub>2</sub>/л сутки<sup>-1</sup>,  $D$  - 0,57 [17].

Полученные нами суточные Р/В-коэффициенты в летний период колебались в природных водах Выгозера от 0,08 до 1,38, в зоне антропогенного влияния от 0,98 до 3,92. Высокий Р/В-коэффициент отмечался в северном, подверженном антропогенному воздействию участке Выгозера (табл.9).

Весной 1972 г. фотосинтетическая активность фитопланктона в центральном и юго-восточном районах водохранилища была на уровне летней за исключением самой южной его части (ст.

Фотосинтетическая активность летнего фитопланктона  
Выгозерского водохранилища под 1 м<sup>2</sup> в слое 0-5 м

Год	Район	Стан- ция	B, мгС/м <sup>2</sup>	A, мгС/м <sup>2</sup>	Хлоро- филл "а", мг/м <sup>2</sup>	P/B	САЧ
1971	Северный	69	145,0	130,0	0,80	0,89	162,5
		43	125,0	490,0	1,30	3,92	376,9
		25 <sup>б</sup>	210,0	250,0	3,50	1,19	71,4
		37 <sup>а</sup>	193,0	200,0	1,30	1,03	153,8
	Централь- ный	201	116,0	153,0	2,35	1,38	65,1
		220	163,0	163,0	1,75	0,98	93,1
		208	2293,0	182,0	9,25	0,08	19,7
	Юго- восточный	211	311,0	131,0	6,05	0,42	21,6
		214	285,0	188,0	4,55	0,67	41,3
		213 <sup>а</sup>	292,0	220,0	7,20	0,75	30,6
1972	Северный	52 <sup>б</sup>	178,0	176,0	4,70	0,98	37,4
		37 <sup>а</sup>	251,0	192,0	4,85	0,76	39,6
		43	162,0	224,0	1,35	1,40	165,9
		7	144,0	145,0	2,95	1,00	49,2

211), В северном Выгозере (ст.37<sup>а</sup>) P/B-коэффициент оказался в 3 раза выше летнего (табл.10).

Минимальный за весь период наблюдений суточный P/B-коэффициент был определен летом в южной части центрального Выгозера (ст.208) при максимальной для водохранилища биомассе (см.табл.9). Причину снижения фотосинтетической активности фитопланктона в этом случае, вероятно, можно объяснить очень низким относительным содержанием хлорофилла "а" в клетках в сравнении с другими участками Выгозера, обусловленным дефицитом биогенных элементов. Подобная зависимость отмечена и для озер Карельского перешейка [20].

В целом средние величины суточных P/B-коэффициентов по всему водохранилищу весной и летом были довольно высоки - 1,37, 1,10 и соответствовали величинам, приведенным для ола-

готрофных водоемов [9, 12, 17].

Известно, что весенний фитопланктон обладает высокой фотосинтетической активностью. Это подтверждается и нашими наблюдениями. Высокие значения суточных Р/В-коэффициентов в летний период объясняются сменой руководящих комплексов и высокой фотосинтетической активностью более мелких видов водорослей [6, 11, 15]. Поскольку лето 1971 г. по температурным характеристикам отнесено к числу холодных [23], можно предположить, что фитопланктон (преимущественно диатомовый) сохранял высокую фотосинтетическую активность и в летний период.

Таблица 10

Фотосинтетическая активность фитопланктона  
Выгозерского водохранилища весной 1972 г.  
(июнь) под 1 м<sup>2</sup> в слое 0-5 м

Районы	Стан- ция	В мгС/м <sup>2</sup>	А мгС/м <sup>2</sup>	Хлороф. "а", мг/м <sup>2</sup>	Р/В	САЧ
Северный	52	46,0	112,0	1,35	2,40	82,9
	37 <sup>a</sup>	87,2	294,4	0,95	3,40	309,9
Центральный	307	512,0	163,2	8,35	0,32	19,5
	220	102,0	137,6	1,60	1,35	86,0
	205	237,0	99,2	2,75	0,42	36,1
Юго-восточный	211	125,0	268,8	3,20	2,15	84,0
	214 <sup>a</sup>	350,0	140,8	4,50	0,40	31,3
	213 <sup>a</sup>	248,0	144,0	4,65	0,58	30,9

Ассимиляционная активность фитопланктона (САЧ) колеблется в широких пределах: 20-310 мгО<sub>2</sub>/мг хлорофилла "а". Изменения ассимиляционных чисел во всех участках водохранилища в основном параллельны изменению Р/В-коэффициента (табл. 9, 10). Более низкие величины САЧ характерны для участков с более высокими концентрациями хлорофилла. Высокие значения САЧ весной и летом отмечены в зоне повышенного антропогенного воздействия. Полученные величины САЧ соответствуют приводимым в литературе [1, 17, 20, 21].

Проведенные в 1981 г. исследования на Выгозерском водохранилище выявили изменения в его экосистеме в связи с введением в 1976 г. на ЦБК биологической очистки сточных вод, которая способствовала уменьшению содержания легкоокисляемых органических веществ, снижению их токсичности. Увеличилась биогенная нагрузка на водоем. Содержание минерального фосфора в северном Выгозере возросло в 2-6 раз и составило в летний период 0,005-0,020 мг/л, концентрация аммонийного азота осталась примерно на прежнем уровне, содержание нитратов увеличилось в 5-10 раз, что явилось одной из основных причин повышения уровня развития фитопланктона в подверженном антропогенному воздействию северном районе водохранилища (табл. II). Значительно возросла роль в планктоне летних форм диатомовых водорослей *Asterionella*, *Tabellaria*, *Fra-*

Таблица II

Первичная продукция, средневзвешенная биомасса, хлорофилл, фотосинтетическая активность единицы биомассы в северном Выгозере летом

Год	Биомасса, г/м <sup>3</sup>	Первичная продукция, мгС/м <sup>2</sup>	Хлорофилл "а", мг/м <sup>3</sup>	Р/В
1971	0,390	267	0,32	1,40
1981	1,850	637	5,70	1,30

*gilaria*, являющихся при массовом развитии показателем эвтрофирования. Увеличилась доля сине-зеленых - *Microcystis pulvereae*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, ранее отсутствовавших в планктоне. Богаче стало таксономическое разнообразие саженовых водорослей - показателей повышенного накопления органических веществ. Средняя биомасса фитопланктона в северном Выгозере летом возросла в 4 раза по сравнению с 1971 г. (табл. II). Средневегетационная биомасса фитопланктона составила 1,2 г/м<sup>3</sup> в 1981 г. против 0,2 в 1971 г. При сопоставлении функциональных характеристик фитопланктона (продукция, хлорофилл, фотосинтетическая активность биомассы) также выявлены изменения, наблюдаемые в водоемах при переходе от олиготрофии в начальную стадию эвтрофии.

1. Бульон В. В. Первичная продукция озер. - В кн.: Биологическая продуктивность северных озер. Л., 1975, 56, с.32-41.
2. Бульон В. В. Первичная продукция Байкала. - В кн.: Проблемы зоологии. Л., 1976, с.13-15.
3. Винберг Г. Г. Первичная продукция водоемов. Минск, 1960. 329 с.
4. Вислянская И. Г. Фитопланктон Выгозерского водохранилища. - В кн.: Гидробиология Выгозерского водохранилища. Петрозаводск, 1978, с.15-42.
5. Вотинцев К.К., Поповская Г. И. О первичной продукции Байкальского фитопланктона. - Гидробиол. журн., 1966, № 4, с.3-7.
6. Вотинцев К. К., Мещерякова Л. И., Поповская Г. И. О значении ультрамикропланктонных водорослей в создании первичной продукции Байкала в летний период. - Там же, 1972, т. 8, №3, с.21-27.
7. Захаренков И. С. Содержание хлорофилла в планктоне как биологический показатель при классификации озер. - Тр. УП науч. конф. по изуч. внутр. водоемов Прибалтики. Тарту, 1962, I, с.193-195.
8. Кожова О. М. Фитопланктон Иркутского водохранилища. - Тр. Лимнолог. ин-та, 1964, т. II, с.41-114.
9. Летанская Г. И. Фитопланктон и первичная продукция озер Кольского полуострова. - В кн.: Озера различных ландшафтов Кольского полуострова. Л., 1974, с.78-119.
10. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974. 59 с.
11. Михеева Т.М. Фитопланктон и продукция органического вещества. - В кн.: Биологические процессы и самоочищение на загрязненном участке реки. Минск, 1972, с.115-127.
12. Никulina В. Н. Фитопланктон. - В кн.: Биологическая продуктивность северных озер. Л., 1975, 57, с.37-52.
13. Петрова Н.А. Фитопланктон Ладожского озера.



- В кн.: Растительные ресурсы Ладожского озера. Л., 1968, 21, с.73-130.

14. П е т р о в а Н. А. Фитопланктон Онежского озера. - В кн.: Растительный мир Онежского озера. Л., 1971, с.88-129.

15. П ы р и н а И. Л. Зависимость первичной продукции от состава фитопланктона. - В кн.: Первичная продукция морей и внутренних вод. Минск, 1961, с.308-313.

16. П ы р и н а И. Л., Е л и з а р о в а В. А. Содержание хлорофилла в фитопланктоне некоторых пресных водоемов. - В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975, с.85-90.

17. П ы р и н а И. Л., Г е ц е н М. В., В а н ш т е й н М. Б. Первичная продукция фитопланктона озер Харбейской системы Большеземельской тундры. - В кн.: Продуктивность озер восточной части Большеземельской тундры. Л., 1976, с.63-76.

18. П ы р и н а И. Л., Е л и з а р о в а В. А., Н и к о л а е в И. И. Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне Онежского озера и их значение для оценки уровня продуктивности этого водоема. - В кн.: Микробиология и первичная продукция Онежского озера. Л., 1973, с.108-123.

19. Т р и ф о н о в а И. С. Фитопланктон и его продукция. - В кн.: Биологическая продуктивность оз.Красного и условия ее формирования. Л., 1976, с.69-104.

20. Т р и ф о н о в а И. С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Л., 1979. 168 с.

21. У м н о в а Л.П. Первичная продукция фитопланктона, содержание хлорофилла "а" и сестона в заливе Большое Онего Онежского озера. - В кн.: Лимнологические исследования на заливе Онежского озера Большое Онего. Л., 1982, с.81-93.

22. У н и ф и ц и р о в а н н ы е методы исследования качества вод. Методы биологического анализа вод. М., 1975. 176 с.

23. Ф р е й н д л и н г В. А. Формирование температурного режима Выгозерского водохранилища. - В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978, с.22-56.

24. Х а р к е в и ч Н. С. Характеристика химического состава и качества вод Выгозерского водохранилища.- В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978.

25. Scor - UNESCO, Working group 17 .Determination of photosynthetic pigments in seawater. Paris, 1966. 69 p.

В.Н.Коваленко

#### СОДЕРЖАНИЕ ХЛОРОФИЛЛА И ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛИЧНЫХ ПО ТРОФНОСТИ ОЗЕРАХ

Изучение первичной продукции и деструкции в различных водоемах имеет большое значение для решения многих теоретических и практических вопросов лимнологии. Благодаря фотосинтезу происходит новообразование органического вещества (ОВ) и создается пищевая база для гетеротрофных организмов.

При образовании первичной продукции выделяется молекулярный кислород и пополняются его запасы в воде. Основную роль в новообразовании ОВ играют фотосинтетические водоросли, осуществляющие процесс фотосинтеза под действием пигментов, в первую очередь хлорофилла "а". По его содержанию можно судить о биомассе фитопланктона, степени трофности водоема, его экологическом состоянии и, в конечном итоге, о его биопродуктивности [1].

Наряду с первичной продукцией планктона энергетическую основу звеньев трофической цепи составляют и аллохтонные органические вещества. Как отмечают некоторые авторы [4, 5], величины деструкции отражают суммарное участие в биологических процессах в водоемах автохтонных и аллохтонных органических веществ.

Целью данной работы было изучение уровня развития фитопланктона (по хлорофиллу), первичной продукции и деструкции ОВ и их взаимосвязи на примере различных по трофии водоемов северных широт.

Исследования проводились на Вендюрско-Вохтозерской групп-

не озер (табл. I), включающей озера Урос, Вендёрское, Риндозеро, Вохтозеро и несколько небольших озер-лаб. Эти водоемы находятся в средней части южной Карелии. Озера относятся к бассейнам двух рек: Суны и Шуи, притоков Онежского оз. Общая территория водосборных бассейнов исследуемых водоемов вытянулась с юга на север примерно на 20 км, с запада на восток — на 13 км.

Таблица I

Некоторые гидрологические показатели Вендёрской группы озер [3]

Показатели	Урос	Риндозеро	Вендёрское
Площадь, км <sup>2</sup> :			
озера	4,26	1,84	10,10
зеркала	4,25	1,83	9,98
водосбора	9,9	43,6	82,8
Наибольшая длина, км	3,9	4,1	7,0
Наибольшая ширина, км	1,9	1,2	2,4
Средняя глубина, м	2,8	3,9	6,2
Объем водных масс, 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	12,2	7,85	64,1
Показатель усл. водообмена	0,22	1,5	0,35

По степени трофики эти водоемы классифицируются [6]: Риндозеро — олиготрофный с признаками дистрофии, Вендёрское — олигомезотрофный, Вохтозеро — эвтрофированный для условий Карелии водоем.

Первичная продукция фитопланктона озер Вендёрско-Вохтозерской группы наиболее полно исследовалась в течение 1979 и 1980 гг. Наблюдения проводились ежемесячно с февраля по октябрь по определенной сетке станций. Измерения фотосинтеза выполнялись скляночным методом в его кислородной модификации [2] с экспозицией склянок на центральных станциях исследуемых водоемов. Интенсивность фотосинтеза и деструкцию определяли в поверхностном слое (0,25 и 0,5 м), на горизонтах 1, 2, 3, 5, 7 и придонном. Одновременно отбирались пробы воды для определения содержания хлорофилла и ОВ. Хлорофилл определя-

ли спектрофотометрически по стандартной методике. Расчеты вели по формулам, представленным рабочей группой № 17 ЮНЕСКО [7].

По содержанию ОВ и хлорофилла в воде эти водоемы отличаются друг от друга (рис.1, 2; табл.2). Оз.Урос, например, характеризуется очень низкими концентрациями органических веществ. Цветность воды 8-10 град. имитационной шкалы, бихроматная окисляемость около 9,5, перманганатная - 2,8-3,0 мгО/л.

В воде оз.Риндозеро содержится больше органических веществ. В период открытой водной поверхности их содержание характеризуется следующими косвенными показателями: перманганатная окисляемость - 9,3-12,4; бихроматная - 18,7-26,2 мгО/л, цветность - 60-95 град.

Вода оз.Вендорского по содержанию органических веществ относится к олигомезогумозному типу [6]. Цветность воды - 30-35 град. Средние величины перманганатной окисляемости составляют 7,3-8,9, бихроматной - 15,5-17,6 мгО/л. В оз.Вохтозеро отмечена неоднородность в распределении органических веществ по акватории. Высоким содержанием органического вещества выделяются воды заливов, для которых характерны и повышенные концентрации хлорофилла. Суммарное содержание органического вещества в этом водоеме под влиянием притоков и внутриводоемных процессов примерно того же порядка, что и в оз.Риндозеро. Но качественный состав его иной (рис.1).

В оз.Вендорском концентрация  $\Sigma chl$  изменялась от 0,91 до 5,25 мг/м<sup>3</sup> (табл.2). Хлорофилл "а" составлял 30-90% от общего (0,40-4,56 мг/м<sup>3</sup>). Наибольшие его концентрации отмечались в мае 1980 г., сразу же после освобождения озера ото льда. Распределение хлорофилла в поверхностном слое довольно однообразно по всей акватории озера. В последний период (конец марта) концентрация его низкая - 0,53 мг/м<sup>3</sup>. Исследования показали, что это озеро имеет относительно невысокую общую биомассу фитопланктона. Максимум развития приключается на весенний и осенний период. Содержание хлорофилла, по данным 1979-1980 гг., в период открытой воды составило 2,5 мг/м<sup>3</sup>.

Для этого водоема характерны малые величины интенсивности фотосинтеза и деструкции органического вещества, малая чистая продукция (рис.3). Оз.Вендорское характеризуется невысо-

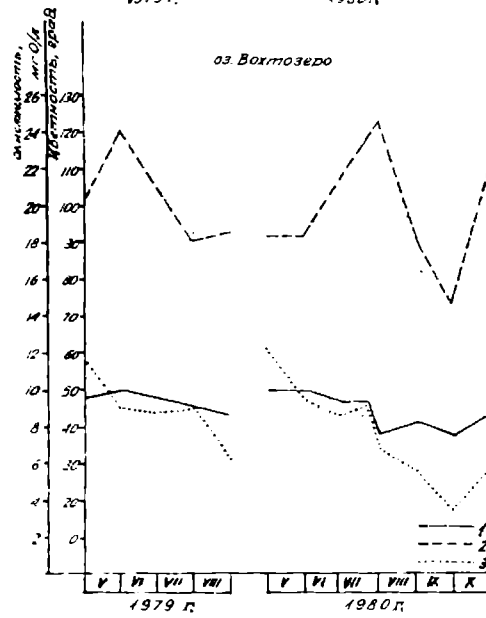
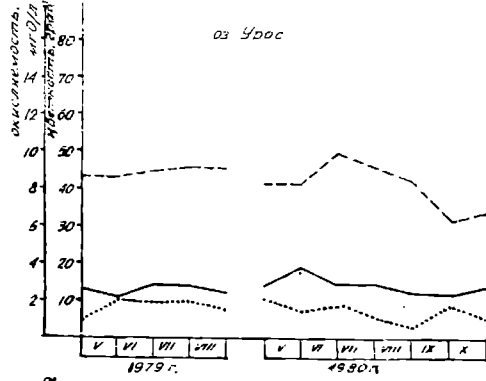


Рис. I. Содержание органических веществ в воде озер Урос и Вохтозеро  
 I - перманганатная окисляемость, 2 - бихроматная, 3 - цветность

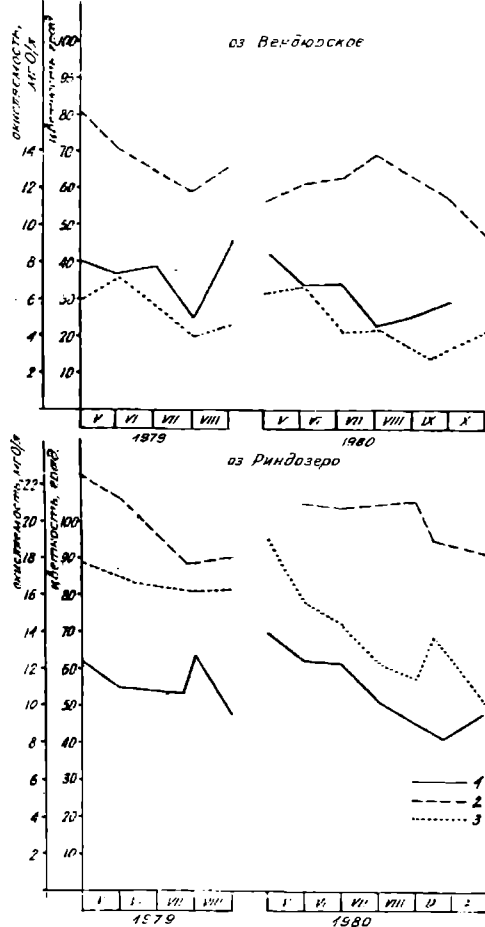


Рис.2. Содержание органических веществ в воде озер Риндозеро и Вендорском  
Усл.обозначения те же, что и на рис.1

Таблица 2  
Среднее содержание суммарного хлорофилла "а" + "в" + "с" (мг/м<sup>3</sup>)  
в Венцурско-Вохтозерской группе озер

Оз. Венцурское		Оз. Ринцозеро		Оз. Урос		Оз. Вохтозеро	
Дата	Σ chl	Дата	Σ chl	Дата	Σ chl	Дата	Σ chl
1979 г.							
23.05	1,30	28.05	1,23	30.05	1,20	25.05	3,67
29.06	1,26	2.07	2,29	5.07	0,56	4.07	8,53
16.07	2,63	23.07	1,99	18.07	1,64	20.07	7,26
24.08	3,75	20.08	1,77	26.08	1,53	22.08	10,54
12.11	2,37	14.09	1,64	16.09	0,53	19.09	6,09
1980 г.							
17.05	2,30	20.05	0,76	22.05	1,07	19.05	7,62
10.06	0,91	19.06	1,12	21.06	0,43	22.06	2,28
10.07	1,80	13.07	2,97	15.07	1,23	12.07	13,08
9.08	5,25	13.08	3,05	14.08	2,67	11.08	10,19
16.09	5,63	19.09	3,30	24.09	1,91	23.09	8,13
17.10	9,39	20.10	1,97	21.10	2,34	23.10	4,60

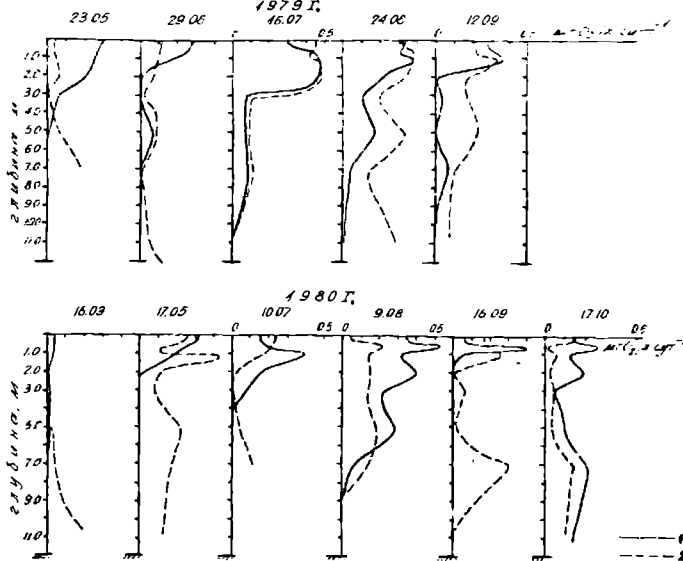


Рис. 3. Интенсивность фотосинтеза фитопланктона по данным опытов в оз.Вендырском  
1 - фотосинтез, 2-деструкция

кой прозрачностью воды (около 3 м). В апреле величина фотосинтеза увеличилась по сравнению с февралем и составила 0,06-0,26  $\text{mg O}_2/\text{л сутки}^{-1}$ . Сезонный ход первичной продукции в основном аналогичен изменению концентрации хлорофилла. Но максимумы интенсивности фотосинтеза не совпадали с максимумами содержания хлорофилла. Они были сдвинуты по срокам, причем "пики" продукции часто опережали "пики" хлорофилла, т.е. фотосинтетическая активность фитопланктона была выше в период наращивания биомассы фитопланктона, чем в период его наибольшего развития. Первый максимум первичной продукции отмечен в



мае и составлял  $0,74 \text{ гО}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ . С середины июля отмечалось его снижение до  $0,34$ . Летний максимум наблюдался, как правило, в июле-августе ( $1,32 \text{ гО}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ ). Максимальная интенсивность фотосинтеза в августе 1979 г. составляла  $0,12 \text{ мгО}_2/\text{л} \text{ сутки}^{-1}$ . В сентябре и октябре шло дальнейшее ее снижение и, хотя в отдельных случаях у поверхности отмечался значительный фотосинтез (до  $0,45$ ), осенью наблюдался спад продукции (рис.3). Полученные данные показывают, что фотосинтез резко снижается с глубиной, а деструкция слабо изменяется по вертикали. Наибольшая величина деструкции составила  $2,84 \text{ гО}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ . Характер сезонных изменений фотосинтеза и деструкции в основном совпадает. В оз.Зенцюрском деструкция преобладает над первичной продукцией в течение всего года. Следовательно, скорость образования органического вещества фитопланктоном за весь период наблюдений ниже его затрат.

Оз.Вохтозеро отличалось наиболее высоким из исследуемых озер данной группы содержанием хлорофилла. Концентрация суммарного хлорофилла в его воде изменялась от  $2,28$  до  $10,54 \text{ мг/м}^3$ . Доля хлорофилла "а" составила  $30-90\%$  ( $0,46-8,50 \text{ мг/м}^3$ ). В 1979 г. максимальные концентрации хлорофилла наблюдали в июне и августе, в 1980 г. - в мае, июле-августе (табл.2). При этом отмечено весьма неоднородное его распределение по акватории озера. Наибольшие концентрации (до  $25-30 \text{ мг/м}^3$ ) отмечены в мелководных губах. В подледный период его содержание довольно низкое ( $0,75 \text{ мг/м}^3$ ). Среднее содержание хлорофилла в оз. Вохтозеро за период исследований составило  $7,6 \text{ мг/м}^3$ . В этом водоеме наиболее интенсивно, по сравнению с другими озерами данной группы, протекают фотосинтетические процессы. В отдельных случаях величина интенсивности фотосинтеза составила  $0,24 \text{ мгО}_2/\text{л} \text{ сутки}^{-1}$ . Средние величины фотосинтеза в течение большей части вегетационного периода составляют  $0,16$ , а максимальные -  $0,40 \text{ мгО}_2/\text{л} \text{ сутки}^{-1}$ . Значительный фотосинтез обнаружен уже в первой половине мая (рис.4). В июне и июле наблюдался некоторый спад. В августе отмечен еще один пик фотосинтеза. Начиная с сентября интенсивность фотосинтеза постепенно падает и перед ледоставом в верхних слоях воды составляет всего  $0,06 \text{ мгО}_2/\text{л} \text{ сутки}^{-1}$ . Примерно такого же порядка она и ранней весной (апрель).

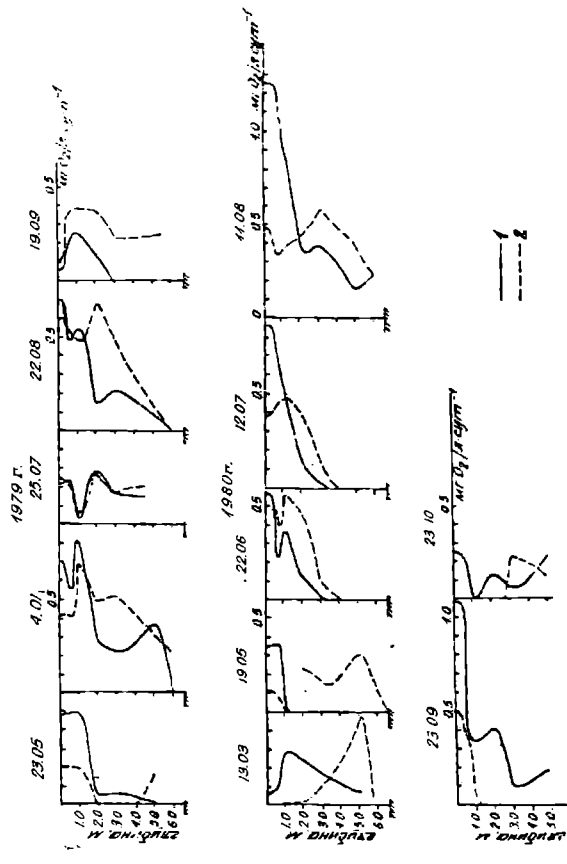


Рис. 4. Интенсивность фотосинтеза фитопланктона по данным оценок в оз. Вохтозеро  
I - фотосинтез, 2 - деструкция

Годовая изменчивость фотосинтеза в оз.Вохтозеро может быть представлена в виде двухвершинной кривой, причем вершины этой кривой соответствуют наибольшим значениям содержания хлорофилла в воде. Фотосинтез происходит по всей толще воды, т.е. до глубины 6 м (рис.4). Первичная продукция менее  $1 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$  наблюдается ранней весной (апрель) и поздней осенью (октябрь-ноябрь). В мае и августе она составила 1-2, а в июне-июле - более  $2,5 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ . В оз.Вохтозеро процессы деструкции, в отличие от оз.Вендюрского, не всегда преобладают над фотосинтезом (рис.4). Так, например, в мае 1979г. первичная продукция измерялась величиной  $0,84 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ , а деструкция - 0,56. Это свидетельствует о том, что Вохтозеро более продуктивный водоем, чем Вендюрское.

В оз.Риндозеро количество  $\Sigma \text{chl}$  в  $1 \text{ м}^3$  изменялось от 0,76 до 3,05 мг в безледный период. Максимальное содержание хлорофилла наблюдалось в июле-августе 1980 г. (табл.2). Концентрация хлорофилла "а" колебалась в пределах 0,30 - 2,60  $\text{мг}/\text{м}^3$  (35-90% от  $\Sigma \text{chl}$ ). Распределение хлорофилла по разным участкам озера равномерное. В зимний период концентрация его низкая ( $0,21 \text{ мг}/\text{м}^3$ ). Среднее содержание хлорофилла за период исследований составило  $1,9 \text{ мг}/\text{м}^3$ . В оз.Риндозеро был зафиксирован пик только в июне 1979 г. ( $2,29 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) и в августе 1980 г. ( $3,05 \text{ мг}/\text{м}^3$ ).

Интенсивность фотосинтеза в оз.Риндозеро невысокая. Данные показывают, что фотосинтез в нем осуществляется в основном в поверхностном слое, а процессы деструкции протекают одинаково по всей толще воды (рис.5). Даже в период максимального фотосинтеза процессы потребления кислорода преобладают над его выделением. В 1979 г. фотосинтез фитопланктона был выше, чем в 1980 г. В поверхностных слоях воды интенсивность фотосинтеза составляла от 0,06 до  $0,17 \text{ мгO}_2/\text{л} \text{ сутки}^{-1}$ . Изменения фотосинтеза и деструкции зависят от гидрометеорологических условий. Фотосинтез имеет один пик в год, в конце лета ( $1,28 \text{ гO}_2/\text{м}^2 \text{ сутки}^{-1}$ ), в это же время увеличивается концентрация хлорофилла в воде.

В оз.Урос содержание  $\Sigma \text{chl}$  составляло в разные месяцы периода открытой воды от 0,43 до  $2,67 \text{ мг}/\text{м}^3$ . На хлорофилл

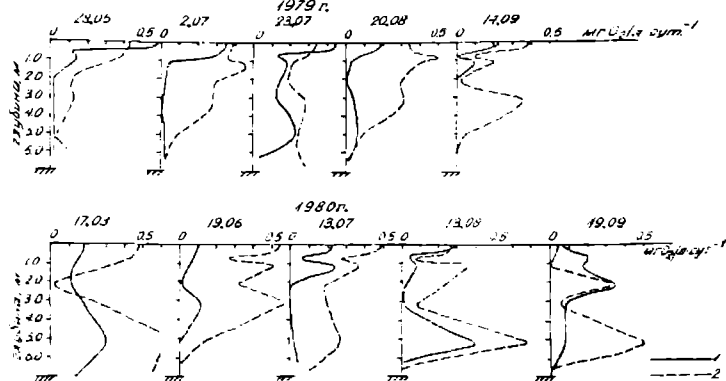


Рис.5. Интенсивность фотосинтеза фитопланктона по данным опытов в оз.Риндозеро

1 – фотосинтез, 2 – деструкция

"а" приходилось от 30 до 96% суммарного ( $0,42-2,35 \text{ мг/м}^3$ ). Наибольшая концентрация была отмечена в мае и июне-августе (1,20 и 2,67). По акватории озера хлорофилл распределен равномерно. Заметны межгодовые различия содержания этого пигмента. Так, в вегетационный период 1979 г. содержание его было выше, чем в 1980 г. Повышенная концентрация отмечена в мае после освобождения озера ото льда. В середине августа прослеживается новый подъем – до  $2,67 \text{ мг/м}^3$ .

Интенсивность фотосинтеза в оз.Урос невысокая. В поверхностных слоях воды ее величины в весенние и летние месяцы колеблется в пределах  $0,09-0,28 \text{ мг O}_2/\text{л сут}^{-1}$  и поздней осенью – от 0,0 до 0,19 (рис.6). Весной и летом, когда зарегистрированы наибольшие величины содержания хлорофилла, интенсивность фотосинтеза сравнительно невысокая. В период летнего минимума содержания пигмента в воде (конец июня – июли) фотосинтез может измеряться величинами, близкими к максимальным. Максимум фотосинтеза наблюдается до глубины 2 м, далее его интенсивность убывает. Благодаря высокой прозрачности воды (до 8 м) фотосинтез идет почти до дна.

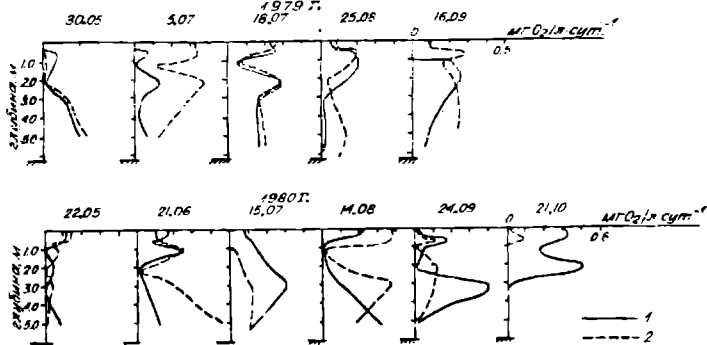


Рис.6. Интенсивность фотосинтеза фитопланктона по данным опытов в оз.Уросозеро  
1 - фотосинтез, 2 - деструкция

#### Выводы

1. Содержание в воде хлорофилла, уровень фотосинтетических процессов подтверждают данную ранее оценку трофи водоемов Вендорско-Вохтозерской группы.

2. Выявлены различия в уровне фотосинтеза фитопланктона и его сезонном ходе в различных водоемах.

3. В исследованных водоемах процессы деструкции преобладают над процессами фотосинтеза, что связано, по-видимому, с поступлением органического вещества с водосбора.

#### Литература

1. Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л., 1983, с.86-93.

2. В и н б е р г Г. Г. Первичная продукция водоемов.

Минск, 1960, с.56-90.

3. Л и т и н с к а я К.Д., П о л я к о в Ю.К. Озера Вендорской группы - Урос, Риндозеро, Вендорское. - В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1975, с.57-67.

4. О д у м Ю. Экология. М., 1968. 167 с.

5. Р о м а н е н к о В. И. Соотношение между фотосинтезом планктона и деструкцией органического вещества в водохранилищах. - Тр. Ин-та биол. внутр. вод АН СССР, 1967, вып. 15, с.61-74.

6. Х а р к е в и ч Н. С. К типологическим различиям в гидрохимии некоторых озер Вендорско-Вонтозерской группы. - В кн.: Операт.-инф. материалы (Гидрология, гидрохимия, гидробиология, гидрогеология водоемов Северо-Запада по материалам 1978 г.). Петрозаводск, 1980, с.38-41.

7. UNESCO, Report of SCOR - UNESCO. Working group 17 on determination of photosynthetic pigments. Paris, 1964, p.1-12.

А.В.Фрейншлинг, Е.А.Клюкина

ПРОДУКЦИЯ И ДЕСТРУКЦИЯ МАКРОФИТОВ И ИХ РОЛЬ В  
БАЛАНСЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В  
ВОДОЕМАХ КАРЕЛИИ

В функционировании водных экосистем немаловажная роль принадлежит макрофитам. Они участвуют в круговороте веществ и трансформации энергии в водоеме, продуцируют органическое вещество, создают особую среду обитания зоокомпонентов водного биоценоза, относятся к числу биологических факторов, определяющих чистоту воды.

Высшая водная растительность является существенным "поставщиком" органического вещества в озера. Судьба его в во-

доемах различна — оно частично минерализуется, накапливается в донных отложениях, выносится из озерных экосистем.

Исследование высшей водной растительности разнотипных озер, расположенных в различных климатических зонах Карелии, проводилось по методике В.М.Катанской [1]. Видовой состав растений устанавливался по определителям В.Н.Чернова и Е.П.Черновой [5], М.Л.Раменской [2].

В основном работы по изучению зарастания озер и оценке продукционных возможностей их макрофитов носили рекогносцировочный характер. Только на одном из водоемов (оз.Вендурское) они проводились в течение 1978–1980 гг., что позволило проследить межгодовую динамику продукции растений.

Годовая фитопродукция вычислялась по формуле, предложенной И.М.Распоповым [3]:  $P = 1,2 \times V_{\max}$ ,

где  $P$  — общая фитопродукция,

$V_{\max}$  — максимальная фитомасса.

Принято, что содержание углерода равно 46,4% от веса абсолютно сухих растений.

Роль макрофитов в балансе органических и минеральных веществ в водоеме оценена на основе данных химического анализа водных растений и запасов их фитомассы. Химический состав макрофитов определен лабораторией химических анализов Эстонского научно-исследовательского института земледелия и мелиорации.

Продукционные возможности макрофитов озер Карелии рассматриваются на примере ряда водоемов, условно выделенных с учетом площади их зеркала и глубины в группы: I — водохранилища Топозерс, Выгозеро; II — озера Куроярви, Сяргозеро, Вендурское; III — озера Аламярви, Перяламби, Вязозеро, Шогоярви.

К I группе отнесены крупные по площади (967–1285 км<sup>2</sup>) глубоководные (средние глубины 6,2–10 м) различные по уровню трофи (Топозеро — олиготрофный, Выгозеро — мезотрофный) водохранилища.

Растительный покров этих водоемов, вследствие меняющихся условий среды и неустановившегося режима уровней, находится в стадии формирования. Степень зарастания их невелика, макрофитами покрыто от 0,4 (Выгозеро) до 0,5% (Топозеро) площади их акватория. Ведущая роль в зарастании оз.Топозера принадле-

жит сообществам гелофитов, Выгозера — нейстофитов.

В оз.Топозеро гелофиты создают 73% годовой продукции макрофитов, в Выгозере — 61%. Основным продуцентом органического вещества являются сообщества тростника обыкновенного. В Топозере при покрытой ими площади 100 га (20%) они дают 44% (135 т) годовой продукции, производимой макрофитами. Второстепенное значение в создании органического вещества играют фитоценозы камыша озерного и кубышки желтой, годичный прирост фитомассы их соответственно равен 20 и 13%.

В Выгозере основным продуцентом органического вещества являются тростниковые, хвощовые и кубышковые сообщества. Фитоценозы тростника обыкновенного и хвоща топяного производят его одинаковое количество (по 30%), хотя площадь мелководий, заросших тростником, в два раза меньше. Сообщества кубышки, имеющие равную площадь зарослей с хвощом, дают фитомассы в полтора раза меньше. Степень участия представителей гидатофитов в процессе создания органического вещества в рассматриваемых водохранилищах невелика.

Ко II группе отнесены небольшие по площади (9,56–10,54 км<sup>2</sup>) неглубокие озера. Зарастают они в большей степени: Куроярви на 7,2; Сяргозеро на 4,5; Вендорское на 3,1% площади акватории. Господствующая роль в формировании растительного покрова оз.Куроярви принадлежит сообществам нейстофитов — 59, озера Сяргозеро и Вендорское — гелофитов соответственно 44 и 66% общей площади зарослей. Растениями этих экологических групп в указанных озерах создается основная доля продукции.

Степень участия представителей гидатофитов в процессе зарастания данных водоемов невелика: в Куроярви — 16, Сяргозере — 24, Вендорском — 5% общей площади мелководий, покрытых растительностью. Их роль в создании органического вещества незначительна.

К III группе принадлежат небольшие (0,27–1,88 км<sup>2</sup>) мелководные озера с наиболее благоприятными условиями для развития макрофитов. В озерах Аланъярви и Перяламби (северная Карелия) ими занято соответственно 39 и 86% площади акватории. Определяющая роль в зарастании этих озер принадлежит сообществам нейстофитов, составляющим 62 и 52% общей пло-



щади, покрытой водной растительностью, причем из них на долю ежеголовниковых сообществ приходится соответственно 54 и 38%. Нейстофитами в этих водоемах создается 60 и 67% органического вещества, продуцируемого макрофитами. В озерах Бягозеро и Шогоярви (Южная Карелия) водными растениями покрыто соответственно 22 и 79% их площади. Основной фон зарослей составляют гелофиты (75 и 65%), среди которых доминируют фитоценозы тростника обыкновенного (68 и 60%), являющиеся основными продуцентами фитомассы. Гелофитами в этих озерах ежегодно создается до 78–94% растительной продукции.

Годовая продукция макрофитов рассматриваемых водоемов варьирует в широких пределах. Так, в водохранилищах ее величина изменяется от 139 (Топозеро) до 169 т (Бягозеро) органического вещества. При пересчете суммарного его количества, создаваемого водными растениями, на единицу площади акватории получены равные величины – по 0,1 г/м<sup>2</sup> органического углерода. Значительная часть органического вещества макрофитов после их отмирания вступает в биотический круговорот в пределах мелководной зоны, она характеризуется количеством органического углерода, поступающего на 1 м<sup>2</sup> зарослей за вегетационный период. В оз. Топозеро его величины равны 28,1 гС/м<sup>2</sup> площади, покрытой макрофитами, в оз. Бягозеро – 31,1.

В водоемах II группы водные растения продуцируют до 7,6 (Курортви) – 14,7 т (Сяргозеро) органического углерода, что составляет 0,1–1,3 гС/м<sup>2</sup> площади водной поверхности и 17,7–31,0 гС/м<sup>2</sup> площади зарослей.

На оз. Вендорском при наблюдениях в 1978–1980 гг., существенно отличающихся по климатическим условиям (табл. I), величины продукции макрофитов изменялись в широких пределах: 13,1 т органического углерода – в 1978 г.; 19,2 в 1979 г.; 22,5 в 1980 г. На единицу площади водной поверхности в эти годы соответственно поступало – 1,3; 1,9; 2,3 гС/м<sup>2</sup>, на единицу площади зарослей – 42,0; 61,5; 72,1 гС/м<sup>2</sup>.

В соответствии с температурными условиями развивались водные растения, формировалась их продукция. В 1980 г. вследствие более благоприятного режима (табл. I) в июне, несмотря на холодную весну, в августе макрофиты были развиты лучше,

Интенсивность нарастания суммы  
положительных температур воздуха (ст.Суоярви)

Год	Месяц			
	Май	Июнь	Июль	Август
1978	265,5	384,7	459,9	371,3
1979	327,2	409,2	474,2	440,5
1980	185,6	522,2	466,6	406,5

чем в аналогичный период 1979 г., что, безусловно, сказалось на величине их продукции.

Среди водоемов третьей группы, в растительном покрове которых преобладают нейстофиты, суммарное количество органического углерода, создаваемое макрофитами, варьирует от 18,5 (Аланъярви) до 28,7 т (Перяламби), на единицу площади водной поверхности соответственно приходится 9,8 и 19,1, на единицу площади зарослей - 26,1 и 26,3 гС/м<sup>2</sup>.

В озерах этой группы с доминированием в растительном покрове гелофитов величина суммарной продукции водных растений составляла в оз.Вягзеро - 5,4 т, в оз.Шогоярви - 19,2; в пересчете на единицу поверхности озер поступает 4,2 и 72,0 гС/м<sup>2</sup>, на единицу площади зарослей - 19,3 и 91,0.

По данным химического анализа водных растений рассматриваемых озер и величине запасов в них фитомассы оценена роль макрофитов в балансе органических и минеральных веществ. В процессе роста растений в надземной их части ежегодно накапливаются минеральные вещества, большая часть которых при отмирании поступает в водоемы (табл.2).

К концу вегетационных периодов 1979 и 1980 гг. водные растения оз.Вендорского содержали соответственно: протеина 3,25 и 3,61; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0,11 и 0,07; СаО - 0,28 и 0,27; К<sub>2</sub>О - 0,56 и 0,60; MgO - 0,05 и 0,11 т.

Количество веществ, продуцируемых макрофитами в течение летнего периода, в пересчете на единицу площади зарослей представлено в табл.3.

Содержание химических веществ ( $\Sigma_m$ )  
в макрофитах

Озеро	Протеин	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Топозеро	28,2	1,00	4,00	0,70	0,40
Выгозеро	54,6	7,19	10,9	3,83	3,28
Куроярви	2,10	0,10	0,45	0,15	0,18
Сяргозеро	3,69	0,14	0,64	0,19	0,06
Вендорское*	2,39	0,12	0,55	0,22	0,04
Аланъярви	6,00	0,31	1,13	0,48	0,34
Перяламби	9,60	0,48	1,78	0,73	0,51
Вягозеро	1,07	0,03	0,18	0,10	0,02
Шогоярви	3,00	0,08	0,33	0,14	0,03

\* Данные 1978 г.

Таблица 3

Количество органических и минеральных веществ (г/м<sup>2</sup>),  
на единицу площади зарослей в озерах

Озеро	Протеин	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
Топозеро	5,70	0,20	0,81	0,14	0,08
Выгозеро	12,1	1,60	0,24	0,09	0,07
Куроярви	4,56	0,20	0,98	0,33	0,40
Сяргозеро	7,72	0,30	1,33	0,40	0,12
Вендорское*	7,65	0,38	1,76	0,71	0,12
Аланъярви	8,22	0,42	1,55	0,65	0,46
Перяламби	7,44	0,37	1,38	0,56	0,39
Вягозеро	3,84	0,11	0,65	0,34	0,06
Шогоярви	1,17	0,03	1,27	0,54	0,01

\* Данные 1978 г.

При отмирании макрофитов в 1979 и 1980 гг. на единицу площади зарослей оз. Вендорского соответственно поступало: протеина - 10,40 и 11,60; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0,35 и 0,24; CaO - 0,90 и

0,85;  $K_2O$  - 1,81 и 1,93;  $MgO$  - 0,15 и 0,35 г/м<sup>2</sup>.

Наименее зарастающими водоемами Карелии, вследствие большой динамичности водной массы, открытости берегов ветроволновому воздействию, слабого развития литоральной зоны, выложенной преимущественно каменисто-галечными и каменисто-песчаными грунтами, являются крупные водохранилища. Определенное влияние на формирование растительного покрова оказывает также изменение режима уровней, низкая минерализация вод и бедность их биогенными элементами.

Продуктивность фитоценозов водохранилищ олиготрофного и дистрофного типа невелика. В малых водоемах условия для произрастания более благоприятны. Существенное влияние на процесс формирования растительного покрова и продуктивность зарослей оказывает трофность вод.

Наиболее разнообразны по зарастанию мезотрофные и эвтрофные водоемы. Фитоценозы их отличаются наибольшей продуктивностью. В определенной степени процессы формирования растительного покрова связаны с местоположением водоемов. Среди озер одинаковой степени трофики их растительный покров наиболее развит в южной, наименее - в северной части Карелии.

Участие отдельных видов водных растений в зарастании озер и продуцировании органического вещества неоднозначно. Основную роль играют фитоценозы: среди гелофитов - тростниковые, реже - хвощовые; среди нейстофитов - кубышковы и ежеголовниковые сообщества, довольно широко распространены фитоценозы рдеста плавающего; среди гилатофитов - сообщества погруженных рдестов, особенно пронзеннолистного.

Вышперечисленные растительные ценозы являются основными "поставщиками" органического вещества в озера Карелии. В крупных водоемах их роль в этом процессе незначительна.

Органическое вещество растений после их отмирания подвергается деструкции, вступает в круговорот веществ и участвует в трансформации энергии в водоеме, оказывая влияние на его гидрохимический режим, состав и качество вод.

Интенсивность процессов разложения высших водных растений в условиях водоемов Карелии рассматривается на основе материалов исследований на Выгозерском водохранилище (1969-1972 гг.) и ряде малых озер Вендзерско-Вохтозерской группы - Вендзер-

ском, Риндозере и Урос (1979-1981 гг.). Наблюдения проводились в такой последовательности: отбирались укосы растений различных экологических групп, из них готовились навески по 100 г сырого вещества, которые закладывались в мешочки из капроновой ткани. Помещенные в ящики из металлической сетки, они опускались на дно водоема. Местоположение пробы фиксировалось контрольной вехой.

Исследовалось разложение следующих видов растений: из галофитов - тростника обыкновенного, камыша озерного, хвоща топяного; из нейстофитов - кубышки желтой, рдеста плавающего, горца земноводного; из гидатофитов - рдеста пронзеннолистного, злodeи канадской.

Опыты проводились в двух модификациях:

I - закладывались образцы сведескопченных зеленых растений, собранные в период начала отмирания макрофитов (август - начало сентября);

II - закладывались образцы остатков растений, перезимовавших в водоеме в естественных условиях, собранные после вскрытия водоема (май - начало июня).

Образцы растений изымались из водоема один раз в сезон, в период открытой воды - чаще. Во время отбора проб осуществлялся контроль за состоянием условий среды - температурным режимом вод и их химическим составом. Опытные образцы высушивались, определялись воздушно-сухой вес и зольность растительных остатков.

Интенсивность разложения водных растений устанавливалась по убыли веса опытных образцов по сравнению с контрольными. Аналогичным путем определялось изменение зольности растительных остатков в ходе опыта.

На оз.Выгозеро проводились наблюдения за разложением хвоща топяного и рдеста плавающего.

Опыт I (модификация I). Заложен в середине августа 1970г.

Период экспозиции 9 мес. Пробы отбирались осенью, зимой и весной.

За первые 2 мес. вес растительных остатков хвоща уменьшился на 66, рдеста плавающего на 38% от их первоначальной величины. В ноябре-январе вес опытных образцов снизился соответственно на 75 и 57% от исходной величины, к июню - на

76 и 59%. Таким образом, в ходе наблюдений, проведенных в условиях крупного водоема, отмечено снижение веса опытных образцов хвоща до 24%, рдеста плавающего – до 41% их исходной величины. При этом в последние 4 мес. (февраль–май) разложение образцов практически не происходило.

Опыт 2 (модификация I). Охватывает годичный цикл наблюдений – с августа 1971 г. по август 1972 г. Ход деструкционных процессов был аналогичен рассмотренному. Так, в течение 9-месячной экспозиции вес растительных остатков хвоща уменьшился до 22, рдеста плавающего – до 40%; к концу опыта (через 12 мес.) – до 10 и 33% от первоначальных величин (рис. I).

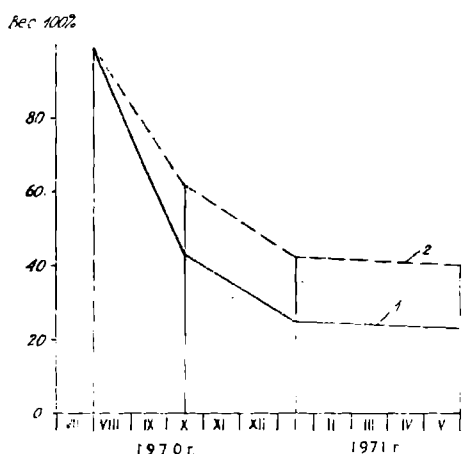


Рис. I. Потери веса при разложении свежескошенных хвоща топяного (1) и рдеста плавающего (2). Оз. Выгозеро. Опыт I (модификация I)

Опыт 3 (модификация II). Заложен в конце мая 1971 г. Период экспозиции 14 мес. В течение первых 2 мес. наблюдений (к началу августа) растительные остатки хвоща и рдеста плавающего, перезимовавшие в естественных условиях в водоеме,

разложился на 50 и 37%; после годичной экспозиции (к началу июня 1972 г.) вес опытных образцов хвоща составил 27, рдеста плавающего – 35%; через 14 мес. – соответственно 22 и 27% от их исходного веса (рис.2).

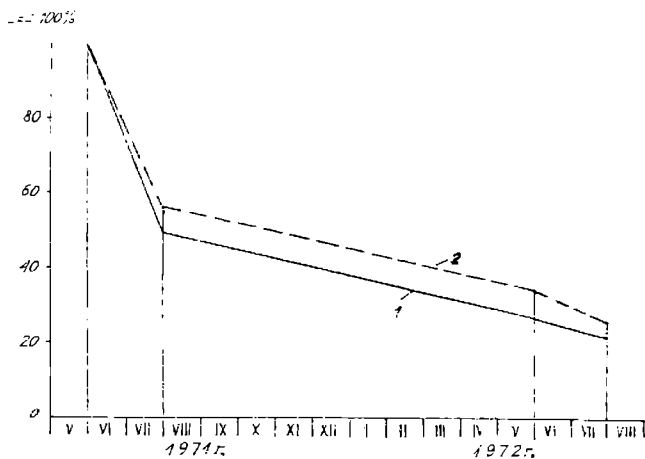


Рис.2. Потери веса при разложении перезимовавших остатков хвоща топьяного (1) и рдеста плавающего (2). Оз. Вытезеро. Спыт 3 (модификация 2)

Результаты опытов показали, что в первой и второй модификациях эксперимента хвощ разлагался быстрее рдеста плавающего. Процесс деструкции остатков перезимовавших в водоеме растений протекал медленнее, чем свежескошенных зеленых.

Изучение деструкции макрофитов в малых разнотипных водоемах дополняет картину протекания данного процесса в условиях северных водоемов в целом и, в частности, в водах различной степени трофии.

Опыт I (модификация I). Выясняли особенности распада макрофитов различных экологических групп в водоеме определенной трофии – олигомезотрофном (оз.Вендорское) [4]. Время экспозиции 2 года.

Интенсивность процесса разложения у тростника и камыша

была примерно равной. К концу опыта вес растительных остатков уменьшился соответственно до 39,7 и 37,4% от исходной величины. За первые 10 мес. экспозиции (рис.3) у тростника он снизился до 26,8%; в период с июля по октябрь — до 21,0%. В течение первого года этот процесс протекал более интенсивно. Разложение камыша было аналогичным.

Образцы хвоща, кубышки и алодеи выдерживались в воде в течение 13 мес. Так, у хвоща и кубышки в начальный период опыта (с сентября по октябрь) вес остатков снижался соответственно до 94,0 и 93,3% от исходного, с октября 1978 г. по июль 1979 г. этот процесс у хвоща замедлялся (с 94,0 до 71,9%), у кубышки был выражен более ярко (с 93,3 до 46,3% от сухого веса). Процесс распада алодеи в первые месяцы (сентябрь-октябрь) проходил замедленно, в дальнейшем был идентичным отмеченному для хвоща и кубышки.

Образцы рдеста плавающего и горца земноводного находились в экспозиции 10 мес. Скорость распада их остатков также определялась температурными условиями: она была более интенсивной в начале опыта (сентябрь-октябрь), в подледный период снижалась и возрастала к лету по мере прогревания водоема.

Среди гелофитов наименьшая скорость разложения отмечалась у тростника и камыша, наибольшая — у хвоща. Среди нейстофитов процесс распада протекал наиболее ровно у кубышки. У рдеста плавающего отмечено существенное, по сравнению с кубышкой, уменьшение веса в начальный период эксперимента. Горец являлся одним из наименее разлагающихся среди растений этой экологической группы. У алодеи отмечено отсутствие уменьшения веса растительных образцов в начале экспозиции, что, очевидно, связано с некоторыми особенностями ее произрастания и развития.

В течение второго года эксперимента интенсивность деструкции снижалась в связи с уменьшением выщелачивания подвижных соединений из тканей растений, которому предшествовало более раннее усвоение легкорастворимых веществ бактериями.

Опыт II (модификация II). Устанавливали, существует ли различие в процессе разложения перезимовавших остатков одинаковых видов макрофитов в озерах различной степени трофии:



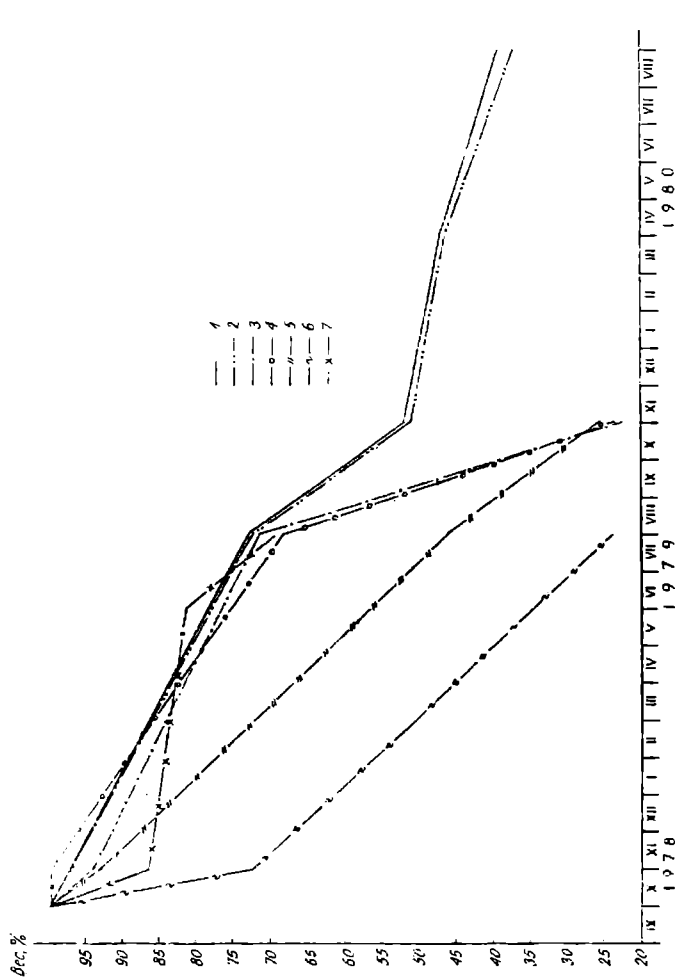


Рис. 3. Потери веса при разложении различных видов макрофитов. Оз. Венг-  
дирское. Опыт 1 (модификация I)  
I - тростник обыкновенный, 2 - камыш озерный, 3 - хвощ топяной, 4 - ало-  
дея канадская, 5 - кубышка желтая, 6 - рдест плавающий, 7 - горец земно-  
водный

Вендорском - олигомезотрофном; Риндозере - олиготрофном с признаками дистрофии и Урос - олиготрофном с признаками ацидности [4].

Ход распада остатков тростника и хвоща определялся температурными условиями на всех озерах и был идентичным, интенсивность - различной. Наиболее активно процесс деструкции протекал в летний период. Скорость распада тростника была выше в оз.Вендорском (рис.4). В июле-августе в связи с мак-

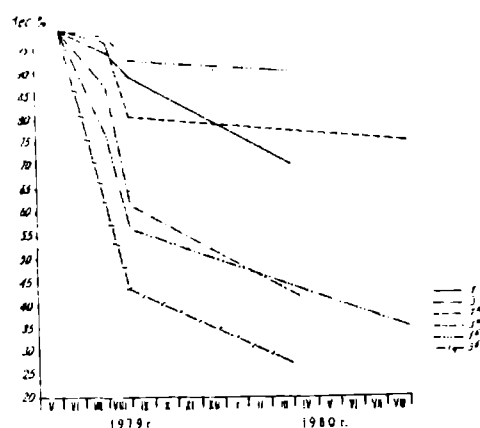


Рис.4. Потери веса при разложении одинаковых видов макрофитов в различных озерах. Опыт II (модификация II)

Оз.Вендорское: I - тростник обыкновенный, 3 - хвощ топяной;  
 Оз.Риндозеро: Ia - тростник обыкновенный, 3a - хвощ топяной;  
 Оз. Урос: Ib - тростник обыкновенный, 3б - хвощ топяной

симальным прогревом воды в озере интенсивность процесса была наибольшей (уменьшение веса с 95,1 до 83,0%); осенью и зимой в условиях низких температур ниже — за 7 мес. вес остатков снизился с 88,0 до 71,0%. За равный период экспозиции (10 мес.) он уменьшился в оз.Риндозеро на 22,5, в Урос-менее чем на 10% от первоначального.

Скорость разложения хвоща была наиболее интенсивной в оз.Урос. В течение мая-августа деструкция перезимовавших его остатков достигала 43,5% от исходного значения. В течение 10-месячной экспозиции (май 1979 г. — март 1980 г.) наблюдалось снижение веса остатков хвоща: в оз.Урос — до 27,5, в оз.Риндозеро — до 44,5, в оз.Вендорском — до 29,0% от начальной величины.

Процессы деструкции разных видов макрофитов в водоемах различной трофии протекают с неодинаковой скоростью. Из гелофитов менее подвержен разложению тростник, имеющий плотный стебель и высокое содержание клетчатки. Быстрее разлагается он в озерах повышенной трофии. Хвощ, имеющий мягкий стебель и низкое содержание клетчатки, быстрее разрушается в водоемах более низкой трофии.

Результаты опытов по деструкции макрофитов, поставленных на Выгозерском водохранилище и водоемах Вендорско-Вохтозерской группы, показали, что интенсивность этого процесса определяется в основном температурными условиями. Наиболее выражен он в летний период; при низких температурах воды разложение растений практически приостанавливается. В течение второго года эксперимента распад макрофитов происходит медленнее. Процесс деструкции гидатофитов протекает быстрее, чем гелофитов. Внутри экологических групп растений интенсивность деструкционных процессов различна. Тип водоема накладывает определенный отпечаток на скорость разложения, которая, кроме температуры, зависит от химического состава воды, а также от качественного и количественного состава микрофлоры.

В течение двухлетнего периода наблюдений остатки любых групп растений не разлагались полностью, что свидетельствует о длительности процесса их деструкции в водоемах Карелии.

Подводя итог, можно сказать, что роль макрофитов в про-

дуцировании органических и накоплении минеральных веществ в северных водоемах, вследствие незначительных в целом площадей зарастания и невысоких величин продукции, невелика.

В связи с неполным разложением водные растения на довольно длительный срок частично "извлекают" из круговорота в водоемах различные химические вещества, оказывая тем самым определенное влияние на состав и качество вод.

### Литература

1. Катанская В. М. Методика исследования высшей водной растительности. - В кн.: Жизнь пресных вод СССР. М.; Л., 1956, т.4, ч.1, с.160-182.

2. Раменская М. Л. Определитель высших растений Карелии. Петрозаводск, 1960. 485 с.

3. Распопов И. М. Фитомасса и продукция макрофитов Онежского озера. - В кн.: Микробиология и переработка продукции Онежского озера. Л., 1973, с.123-142.

4. Харкевич Н. С. К типологическим различиям в гидрохимии некоторых озер Вендлерско-Вохтозерской группы. - В кн.: Операт.-инф. матер. (Гидрология, гидрохимия, гидробиология, гидрогеология водоемов Северо-Запада по материалам 1976 г.). Петрозаводск, 1980, с. 38-41.

5. Чернов В. Н., Чернова Е. П. Флора озер Карелии. Петрозаводск, 1949. 162 с.

Н.Н.Мартынова, П.А.Лозовик,  
А.М.Глинский

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ НЕПРЕРЫВНОГО ГАЗОВОГО ПОТОКА

Определение углерода органического вещества природных вод является одной из главных задач элементного органичес-

кого анализа в химии природных вод. Содержание его в органическом веществе (ОВ) достигает 50%, а сопоставление с различными косвенными показателями ОВ дает возможность получить их качественную характеристику [21].

В настоящее время имеется довольно большое разнообразие методов определения органического углерода (Сорг). Возможности и достоинства их в значительной степени зависят от того, насколько совершенен используемый способ минерализации органического вещества. Предложенные методы по характеру окисления ОВ условно можно разделить на три основные группы: "сухого" и "мокрого" сожжения, фотохимического окисления.

Первая группа методов ("сухое" сожжение) основана на термическом разложении органического вещества с последующим окислением продуктов пиролиза в большом избытке кислорода. Впервые таким способом было проведено определение органического углерода в грунтовых водах Англии и в водах некоторых озер и рек Финляндии еще в 70-х годах прошлого столетия [21]. В нашей стране "сухое" сожжение для определения Сорг было использовано Л.П.Крыловой [12], а позднее такой способ окисления ОВ был применен при анализе поверхностных высокоминерализованных [7] и морских [23] вод. Специальные исследования показали, что в воде эвтрофных водоемов, в атмосферных водах и особенно в глубинных подземных водах ошибка метода может достигать 30%, так как наблюдаются высокие потери летучей органики при выпаривании [22].

К методу "сухого" сожжения ОВ в высушенных остатках после упаривания воды относится и способ окисления органических веществ в плаве селитры [17]. При нагревании селитра разлагается, и образующийся кислород идет на окисление ОВ. Метод позволяет учитывать углерод растворенных и взвешенных веществ отдельно, однако и здесь также не исключаются потери летучих ОВ.

Полностью этот недостаток устраняется, если использовать полужамкнутую систему упаривания воды досуха, а затем органическое вещество сухого остатка сжигать под током очищенного воздуха. Точность определения 5-10% при содержании 10-20 мкг углерода в пробе [2]. При этом методе не нужен контроль загрязнения реактивов, но требуется тщательная

очистка воздуха от  $\text{CO}_2$ . В настоящее время данный вариант "сухого" сжигания используется для определения валового содержания  $\text{C}_{\text{орг}}$  в незагрязненных и сточных водах [1].

Вторая группа включает методы, основанные на "мокром" сжигании органических веществ с применением сильных окислителей:

- 1 - сернохромовой смеси [6, 11, 13, 20, 29];
- 2 - смеси хромовой, серной, фосфорной и кобальтовой кислот [32];
- 3 - персульфата калия [4, 16, 23, 31, 34, 35].

Методы "сухого" и "мокрого" сжигания обеспечивают достаточно полное окисление  $\text{O}_2$  и позволяют определять небольшие количества органического углерода с ошибкой  $\pm 5\%$ . Однако и им присущи некоторые недостатки, снижающие точность определения [14]. Наиболее удобными в этой группе являются методы с использованием персульфата калия, особенно "ампульный вариант", предложенный Э.А.Румянцевой [16].

Широко применяется и третья группа методов, основанная на разложении органических веществ под действием ультрафиолетового (УФ) излучения [6, 24, 26, 27]. Этот способ минерализации  $\text{O}_2$ , использованный еще в 1936 г. [33], был применен для снижения цветности и окисляемости сильно окрашенных вод [9]. Возможность использования УФ-метода проверена на пресных водах [6].

Дальнейшее развитие фотохимический метод получили в работах В.Г.Сейера и А.Д.Семенова, изучавших фотолиз слабых водных растворов различных органических веществ под действием мощного ультрафиолетового облучения [25]. Было установлено, что степень их окисления близка к 100%, а наиболее эффективными источниками УФ-излучения являются ртутно-кварцевые лампы высокого давления.

Для ускорения и полноты процесса фотолиза дополнительно применяют сенсибилизаторы. Повышение скорости фотохимического окисления отмечено в присутствии перекиси водорода, при разложении которой образующийся атомарный кислород может служить дополнительным источником окисления [9]. Описан метод фотохимического окисления  $\text{O}_2$  морской воды в присутствии персульфата калия [30]. Некоторые тонкодисперсные порошки металлов имеют фотохимически активную поверхность. В част-

ности, при определении Сорг в морских водах был использован металлический тонкодисперсный цинк, влажная поверхность которого при освещении УФ-светом дает большое количество перекисей. В результате скорость фотоллиза органических соединений значительно увеличивается [19]. Была сделана попытка использовать для ускорения фотохимического окисления довольно широко применяемые в качестве сенситизаторов соли  $\text{Fe}$  (III) и  $\text{U}$  (VI) и др. [18]. Однако они оказались малоэффективными, что связано с их ограниченной способностью образовывать светочувствительные комплексы только с небольшим количеством органических веществ. Более эффективным сенситизатором является атомарная ртуть, при облучении которой возникает большое количество возбужденных атомов [24]. Кроме атомарной ртути, фотокаталитическим эффектом обладает и ртуть [11]. Все растворы различных ОВ чувствительны к ее присутствию. Скорость протекания фотохимического окисления повышается по логарифмическому закону с ростом ее концентрации [18].

Для повышения производительности работы и увеличения точности определения образующейся двуокиси углерода наряду с широко применяющимися титриметрическими способами все шире используются кулонометрические [24], кондуктометрические [3, 13, 29] и инфракрасные методы газового анализа [5, 34, 35].

Рекомендованный в настоящее время фотохимический метод определения органического углерода предназначен для анализа природных вод с содержанием до 10 мгС/л [15]. Минимально определяемая концентрация — 0,2 мгС/л, относительное стандартное отклонение — 2%. Продолжительность определения единичной пробы 20 мин. При УФ-облучении этим способом образующаяся двуокись углерода накапливается в замкнутом пространстве установки и определяется фотометрически с помощью ИК-газоанализатора. В качестве источника света использована ртутно-кварцевая лампа ПРК-2, а для повышения скорости окисления — раствор хлорида ртути. Мешающие определению угольную кислоту и ее соли удаляют, подкисляя пробу до pH 3-4 и вытесняя образующийся  $\text{CO}_2$  током очищенного воздуха. Для поглощения паров воды на пути газового потока помещают поглотитель с порошком безводного перхлората магния (ангидрон).

Основным недостатком является высокий фон помех, создаваемый за счет накопления углекислого газа, источником которого являются резиновые детали установки (прокладки, муфты, клапаны компрессора и др.), что, естественно, ограничивает чувствительность определения, ухудшает воспроизводимость результатов. Кроме того, при работе на установках с замкнутым газовым потоком часто наблюдается разрыв стеклянных деталей, в первую очередь, фотохимической ячейки, что небезопасно и требует массового их изготовления из дорогостоящего оптического кварца.

Таким образом, проведенный анализ данных литературы показал, что существует достаточно большое количество разнообразных методов определения органического углерода в воде. Авторы выбрали метод фотохимического сжигания органического вещества и ИК-спектроскопический вариант регистрации  $\text{CO}_2$  и произвели некоторую его модернизацию.

#### Описание установки фотохимического определения органического углерода в воде

ИК-методы регистрации  $\text{CO}_2$  обладают достаточно высокой чувствительностью. Выпускаемые оптико-акустические анализаторы имеют различные пределы измерения  $\text{CO}_2$  — от 0 до 0,01 объемных процентов и выше. Поэтому, используя наиболее чувствительные анализаторы, к примеру со шкалой 0–0,01%, можно определить  $\text{CO}_2$  не в замкнутой газовой системе, а непрерывно проходящий через анализатор.

На рис. I приведена схема установки фотохимического определения  $\text{CO}_2$  в воде с непрерывным газовым потоком, разработанной в лаборатории гидрохимии Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР и применяемой с 1982 г.

В качестве источника УФ-излучения использованы две ртутно-кварцевые лампы ДРТ-375, между которыми помещают фотохимическую ячейку, изготавливаемую из оптического кварца (расстояние между пробиркой и лампами ДРТ-375 1 см). Конструкция холодильника и пробирки аналогичны описанным в "Руководстве по химическому анализу вод суши" [15]. Фотохимический блок изготовлен на основе двух приборов для флуоресцентного анализа витаминов в растворах (модель 833-МРТУ 42-1080-63),



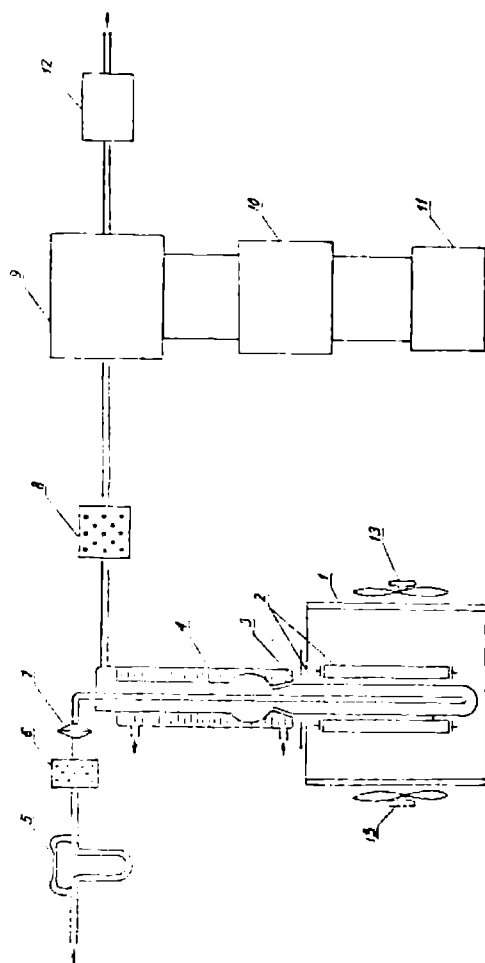


Рис. 1. Установка фотохимического окисления органических веществ  
 1 - фотохимический блок, 2 - лампы ДРТ-375, 3 - кварцевая пробирка, 4 - обратный  
 холодильник, 5 - арсометр, 6 - патрон с аскаридом, 7 - стандартный фильтр, 8 - пат-  
 рон с ангидридом, 9 - окиско-акустический газоманометр "Инфралит", 10 - самопи-  
 сец КОП-4, 11 - интегратор, 12 - микрокомпрессор, 13 - Вентильаторы

причем один является основным, второй используется в качестве пускорегулирующего устройства для одной из ламп ДРТ-375. Для устранения мешающего влияния паров  $H_2O$  использован патрон с  $K_2CO_3$ . Очистка воздуха от  $CO_2$  осуществляется аскаритом. Для удаления механических частиц применен фильтр из стекловолокна. Принцип работы установки и ход анализа заключается в следующем. Пробу воды объемом до 5 мл помещают в кварцевую пробирку. Добавляют на 1 мл пробы 0,1 мл раствора, состоящего из равных объемов 1 М раствора  $H_2SO_4$  и 3%-ного раствора  $HgCl_2$ . Присоединяют обратный холодильник. Запускают ток воздуха, очищаемого от  $CO_2$ . При этом газ непрерывно проходит через оптико-акустический анализатор. Через 1-2 мин. газовая линия освобождается от  $CO_2$ , а из воды удаляется растворенный  $CO_2$ . Контроль ведут по диаграмме регистрирующего прибора. По возвращении пера самописца на "0" выключают ртутно-кварцевые лампы. В процессе фотоллиза  $OB$  выделяющийся  $CO_2$  увлекается током воздуха и регистрируется ИК-анализатором, электрический сигнал с которого подается на самописец, что позволяет регистрировать процесс выделения  $CO_2$  во времени. К самописцу подключен интегратор для автоматического определения площадей кривых. После завершения процесса фотоллиза, когда стрелка регистрирующего прибора выйдет на "0", отключают фотохимический блок, с помощью трехходового крана прекращают ток воздуха через установку и приступают к подготовке для анализа очередной пробы. На одно определение требуется около 10 мин. Очистку раствора осуществляют фотохимически.

#### Характеристика метода

Кривая выделения  $CO_2$  имеет вид параболы (рис.2), площадь которой пропорциональна концентрации углекислого газа. Последнюю определяют с помощью интегратора или расчетным путем, умножая высоту пика на его ширину на половине высоты. Оптимальная скорость газа - 10 мл/мин. При этом удается анализировать пробы с содержанием  $CO_2$  до 20 мг/л. Изменение скорости на  $\pm 20\%$  существенно не сказывается на площади пика (при увеличении ее растет высота пика, уменьшается его ширина, при уменьшении - наоборот). Ввиду того что наблюдается некоторая неравномерность газового потока, расчет концентрации  $CO_2$

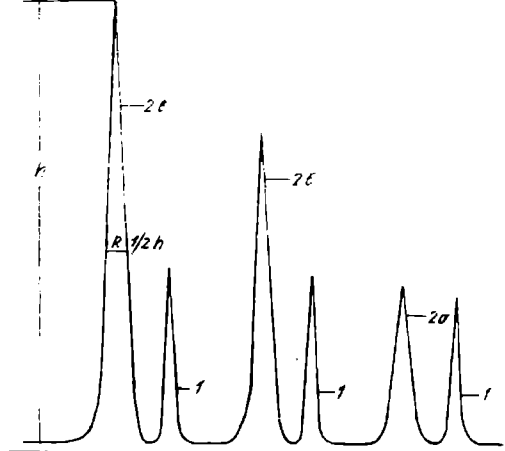


Рис.2. Диаграмма записи выделения  $\text{CO}_2$  при УФ-облучении стандартных растворов  
 1 - кривые выделения минерального  $\text{CO}_2$ , 2 а, б - кривые выделения  $\text{CO}_2$  при облучении стандартных растворов лимонной кислоты (а - 1,8, б - 5,4 мгС/л), 2 в - природные воды  
 h - высота пика,  $R\ 1/2h$  - ширина пика на половине высоты

по высотам пиков дает большую погрешность.

Калибровочный график строят в координатах площадь пика - содержание  $\text{C}_{\text{орг}}$  в пробе. В качестве стандартного вещества для построения калибровочной кривой использована лимонная кислота (100 мгС/л) марки "х.ч.". Выбор ее в качестве стандарта связан с тем, что фотолиз лимонной кислоты в большей степени соответствует фотолизу ОВ природной воды. Уксусная кислота, рекомендуемая в качестве стандарта [15], фотохимически трудно окисляется. Это приводит к асимметричным кривым выделения  $\text{CO}_2$  и не соответствует кривым большинства исследованных проб воды (рис.3).

Фотохимическое окисление взвешенных веществ происходит

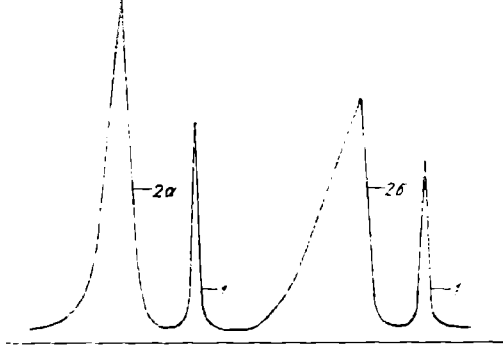


Рис.3. Диаграмма записи выделения  $\text{CO}_2$  при  
УФ-облучении образцов поверхностных вод  
1 - кривые выделения минерального  $\text{CO}_2$ , 2 - кривые выделения  $\text{CO}_2$  при облучении незагрязненных  
(а) и сточных (б) вод

относительно медленно. При большом их содержании наблюдается явная асимметрия пиков (рис.3). Фактически метод пригоден для определения растворенного  $\text{CO}_2$  при низком содержании взвешенных веществ без какой-либо подготовки проб воды. При высоких концентрациях взвеси пробы необходимо фильтровать.

Для того чтобы избежать выпадения в осадок  $\text{CaCO}_3$ , происходящего при хранении проб, следует проводить определение  $\text{CO}_2$  в свежесточных пробах воды, особенно это относится к загрязненным, сточным и высокоцветным природным водам. Допустимо хранение этих проб при температуре  $3-5^\circ\text{C}$  не более двух недель.

Для установления точности предлагаемого метода проведены исследования со стандартными растворами лимонной кислоты. Расчет [10] показал (см.табл.), что в диапазоне концентраций

Результаты определения органического углерода  
с добавками стандартных растворов лимонной  
кислоты

Содержание Сорг в растворе, мг/л		[d]	d <sup>2</sup>	t <sub>0,95</sub> при n=10	Стан- дартное откло- нение, S <sub>g</sub> , мг/л	Макси- мальное откло- нение, Σ, мг/л
расчет- ное	обнару- женное					
9,2	8,9	0,3	0,09	2,26	0,181	0,410
12,7	12,3	0,4	0,16			
16,3	16,5	0,2	0,04			
13,6	13,8	0,2	0,04			
11,7	11,9	0,2	0,04			
13,5	13,7	0,2	0,04			
2,0	2,4	0,4	0,16			
4,0	3,9	0,1	0,01			
6,0	6,0	0,0	0			
8,0	8,0	0,0	0			

от 1 до 20 мгС/л стандартное отклонение при 95%-ной обеспе-  
ченности составляет  $\pm 0,18$  мгС/л, максимальное -  $\pm 0,41$ . Чув-  
ствительность метода составляет 0,5 мгС в пробе.

Таким образом, предложенный вариант фотохимического ме-  
тода определения Сорг в системе непрерывного газового потока  
обладает высокой чувствительностью и дает хорошо воспроизво-  
димые результаты. Фотохимическая установка обеспечивает быст-  
рый и полный фотолиз ОВ. Метод является наиболее простым и  
надежным в работе, не требует особых мер предосторожности.  
На его основе возможна полная автоматизация процесса анали-  
за. Он хорошо себя зарекомендовал при анализе ОВ различных  
вод Северо-Запада европейской территории Союза.

#### Литература

И. А л е к с и н О. А., С е м е н о в А. Д., С к о п и н-  
ц е в Б. А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.,  
200

1973.

2. Бакулина А. Г., Скопинцев Б. А. Определение валового содержания органического углерода в природных водах методом сухого сжигания. - Гидрохим. материалы, 1969, т.52, с.133-141.

3. Бейсова М. П., Крюков П. А. Кондуктометрический метод определения органического углерода в природных водах. - Там же, 1961, т.32, с.171-183.

4. Бикбулатов Э. С. Простой способ окисления органического вещества природных вод для определения углерода. - Там же, 1974, т.60, с.174-178.

5. Бикбулатов Э. С., Скопинцев Б. А. Определение органического углерода в природных водах и взвешях. - В кн.: Тез. докл. на Всесоюз. совещ. по хим. и инструмент. методам анализа природных и сточных вод. М., 1973, № 2, с.101-102.

6. Бикбулатова Е. М., Скопинцев Б. А., Бикбулатов Э. С. Определение валового органического углерода в пресных водах фотохимическим методом. - В кн.: Матер. к совещанию по прогнозированию содержания биоген. элементов и орг. вещества в водохранилищах. Рыбинск, 1969, с.141-146.

7. Бродовская А. А. Метод определения органического углерода в высокоминерализованных подземных водах. - Гидрохим. матер., 1961, т.34, с.147-156.

8. Давко В. Г., Давко В. Е. Методы определения органического углерода в природных водах. - Докл. АН СССР, 1950, т.73, № 2, с.337-339.

9. Драчев С. М., Митягина О. В. Действие ультрафиолетового облучения на органические вещества воды. - Вестн. АН СССР, 1957, № 3, с.61-63.

10. Каплан Е. Я. Рекомендации по представлению результатов химического анализа. - Журн. аналит. химии, 1971, т.26, вып.5, с.1021-1023.

11. Крылова Л. П. Микрометод определения углерода органического вещества природных вод. - Гидрохим. матер., 1953, т.20, с.63-67.

12. Крылова Л. П. Определение углерода органичес-

ного вещества природных вод методом сухого сжигания. - Там же, 1957, т.26, с.237-243.

13. Л ю ц а р е в С. В. Автоматизированный прибор для определения углерода органических веществ в природных водах. - Там же, 1959, т.49, с.207-214.

14. Л ю ц а р е в С. В. Методы рыбохозяйственных химико-океанических исследований. М., 1968, ч. II, с.13-34.

15. Р у к о в о д с . в с по химическому анализу вод суши. Л., 1977.

16. Р у м я н ц е в а Э. А. Модификация ампульного персульфатного метода определения органического углерода в пресных водах. - Гидрохим. матер., 1977, т.69, с.97-104.

17. С е м е н о в А. Д., Д а ц к о В. Г. Модификация микрометода определения органического углерода в природных водах сжиганием в плаве селитры. - Там же, 1959, т.29, с.236-241.

18. С е м е н о в А. Д., С о й е р В. Г., Б р и з - г а л о В. Н., К о с м е н к о Л. С. Фотохимическая минерализация органических веществ при определении углерода, фосфора и азота в природных водах. - Журн. аналит. химии, 1976, т.31, вып.10, с.2030-2037.

19. С е м е н о в А. Д., С о й е р В. Г., Р о м е н - с к а я Н. Н. Фотохимический метод определения органического углерода в морской воде. - Гидрохим. матер., 1978, т.71, с.94-99.

20. С к о п и н ц е в Б. А. К вопросу об определении органического углерода в пресных водах. - Журн. аналит. химии, 1949, т.4, вып.3, с.192-198.

21. С к о п и н ц е в Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). - Тр. ГОИН, 1950, вып.17(29).

22. С к о п и н ц е в Б. А., Б а к у л и н а А. Г. Оценка размеров потерь органического вещества при выпаривании природных вод. - Гидробиол. журн., 1971, т.7, № 6, с.13-18.

23. С к о п и н ц е в Б. А., Т и м о ф е е в а С. Н. Применение метода сухого сжигания, предложенного Крыловой Л.П., к определению органического углерода в морских водах.

- Гидрохим. матер., 1961, т.32, с.133-134.

24. Со́йер В. П., Семенов А. Д. Фотохимический метод определения органического углерода. - Там же, 1971, т.56, с.111-120.

25. Со́йер В. П., Семенов А. Д. К вопросу о полном фотохимическом окислении органических веществ в водном растворе. - Там же, 1973, т.57, с.195-201.

26. Armstrong F.A., Williams F.M., Strickland J.D.E. Photooxidation of organic matter in sea water by Ultraviolet radiation analytical and other applications. - Nature, 1966, v.211, N5048, p. 481-484.

27. Armstrong F.A., Tibbitts S. Photochemical combustion of organic matter in sea water for nitrogen, phosphorus and carbon determination. - J.Marine.Biol.Ass., 1968, v.48, N 1, p.143-152.

28. Battley E.A. Carbon determination with alkaline persulfate in the Warburg manometer. - J.Biol.Chem., 1957, v. 226, N 1.

29. Duursma E.K. Dissolved organic Carbon, Nitrogen and Phosphorus in the sea. - Netherl.J.Sea.Res., 1961, N 1/2, p. 1-147.

30. Ehrhardt M.A. A new method for the automatic measurement of dissolved organic carbon in sea water. - Deep.-Sea Res., 1969, v.16, N 14, p. 393-397.

31. Ehrenberger F. Termokonduktometrische Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes (DOC) von Meerestwässern nach der Nasser-Oxidation mit Peroxydisulfat/Selbernitrat. - D.Wasser- und Abwasser-Forsch., 1975, v.8, N 3, p. 75-81.

32. Forsblad I. Eine Mikromethode zur Bestimmung von organisch gebundenem Kohlenstoff in Seewasser. - Mikrochimica Acta, 1955, N 1, p. 176-179.

33. Fricke H., Hart E.J. Studies of Reactions Induced by the Photoactivation of the Water Molecule. - J.Chem. Phys., 1936, v.4, N 7, p. 418-422.

34. Menzel D.W., Vaccaro R.F. The measurement of dissolved organic and particulate carbon in sea water. - Limnology and Oceanography, 1964, v.9, N 1, p. 138-142.

35. Wilson R.F. Measurement of Organic Carbon in sea water. - Limnology and Oceanography, 1961, v.6, N 3, p.259-261.



Введение . . . . .	3
Н.С.ХАРКЕВИЧ. Состав гумусовых веществ поверхностных вод Карелии . . . . .	5
Н.Н.МАРТИНОВА. Содержание органического вещества в воде крупных водоемов Карелии . . . . .	19
Т.П.ТИРСИЗОВА. Динамика органического фосфора. Характеристика природы органического вещества воды Онежского озера . . . . .	30
Б.П.ВАСИЛЬЕВА. Динамика органического вещества биогенных элементов в озанах залива Большое Онего Онежского озера . . . . .	52
П.А.ЛЕВЗОВИЧ. Взаимодействие донных отложений северного Выгозера с водой . . . . .	61
А.В.САБЫЛИНА, Р.Г.ИПАТОВА. Липофильные органические вещества в воде озер Куйто . . . . .	75
С.В.КУРАШЕВА. Изменения режима биогенных элементов водотоков в условиях антропогенного воздействия (сельскохозяйственная мелиорация) . . . . .	84
Н.С.СТАРЦЕВ. Об органическом веществе в подземных водах Карелии . . . . .	93
Б.А.СКОПИНЦЕВ. Сера - неперенный компонент водного гумуса . . . . .	104
Н.С.ХАРКЕВИЧ, А.В.САБЫЛИНА, М.И.БАСОВ. Интенсивность распада органического вещества в воде различных по типу озер Карелии . . . . .	III
Н.А.ФИЛИМОНОВА, Т.М.ТИМАКОВА. Бактериальная деструкция лигнина в водной среде . . . . .	I23
Т.М.ТИМАКОВА. Экология целлюлозоразрушающих бактерий в некоторых водоемах Карелии . . . . .	I28
И.Г.ВИСЛИНСКАЯ, Н.С.ХАРКЕВИЧ. Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища . . . .	I44

В.Н.КОВАЛЕНКО. Содержание хлорофилла и продук- ционные процессы в различных по трофности озерах .....	166
А.В.ФРЕЙДЛИНГ, Е.А.КУЖИНА. Продукция и де- струкция макрофитов и их роль в балансе органичес- ких и минеральных веществ в водоемах Карелии .....	177
Н.Н.МАРТЫНОВА, П.А.ЛОЗОВИК, А.М.ГЛИНСКИЙ. Опре- деление органического углерода в природных водах с использованием системы непрерывного газового потока ...	191

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
В ВОДАХ КАРЕЛИИ

Печатается по решению Ученого совета  
Отдела водных проблем Карельского филиала АН СССР

Редактор Г.В.Козлова  
Корректоры Т.З.Кайдалова, И.Г.Варваровская

Подписано к печати 26.II.85. Б 04582.  
Формат 60х84/16. Бумага офсетная. Ротапринт.  
Уч.изд.л. II,5. Усл печ.л. II,0. Тираж 350 экз.  
Изд. № 47. Заказ 937 . Цена 1р.10к.

Карельский филиал АН СССР, г.Петрозаводск,  
ул.Пушкинская, II. УОП.

УДК 556.551(470.22)

Состав гумусовых веществ поверхностных вод Карелии. Харкевич Н.С. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.5-19, лит. - 5 назв.

Рассматриваются результаты исследований группового состава гумусовых веществ, растворенных в воде озер и рек бассейнов рек Суны и Шуи и рек Приналожья. В средне- и высокогумусных водах Карелии гумусовые кислоты, фульвокислоты и истинно растворенные органические вещества содержатся в среднем в соотношениях 1:4,4:3,2. Наибольшую цветность имеет группа гуминовых кислот, затем группы фульвокислот и наименьшую истинно растворенные ОВ (среднее отношение цветности к перманганатной окисляемости соответственно 11,5: 7,9; 2,0). Перманганатом окисляются гуминовые кислоты и фульвокислоты, по средним данным, на 50 и 52%, истинно растворенные, как правило, менее чем на 40%. Наблюдаются сезонные различия в составе ОВ в воде, особенно в группе истинно растворенных ОВ.

УДК 556.551(470.22)

Содержание органического вещества в воде крупных водоемов Карелии. Мартынова Н.Н. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.19-30, лит. - 20 назв.

Приведены результаты исследований содержания органического вещества (по данным определения Сорг, ПО, БО и цветности) в ряде водоемов Карелии (Снежское оз., Сямозеро и озера Култо). Дана качественная его характеристика. Установлено, что содержание и распределение ОВ зависят от гидрологических и гидробиологических особенностей исследованных водоемов и отдельных их участков.

Динамика органического фосфора и характеристика природного органического вещества воды Онежского озера. Пирожикова Г.П. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.30-52, лит. - 2 назв., ил. - 3.

Приводятся данные о содержании органического фосфора в воде различных районов Онежского оз. за последние семь лет исследований. Показана его пространственно-временная динамика в зависимости от различных условий формирования качества воды, в том числе природного и антропогенного влияния. Наряду с предельными и средними значениями приведены соотношения органических форм углерода, фосфора и азота для характеристики природы органических веществ воды озера. Отмечены районы с повышенным содержанием органического фосфора в воде и выявлена тенденция дальнейшего его накопления, что может свидетельствовать о начавшемся их эвтрофировании.

УДК 556.555.7 (282.247.2II)

Динамика органического вещества и биогенных элементов в осадках залива Большое Онего Онежского озера. Васильева Е.П. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.52-61, лит. - 5 назв., ил. - 2.

Рассматривается динамика химического состава осадков. Особое внимание уделено характеристике качественного состава органического вещества и его вертикального распределения. Сезонными наблюдениями выяснено, что максимальное накопление как органических веществ, так и биогенных элементов в донных отложениях происходит в осенний и зимний периоды, летом их содержание заметно снижается.

Взаимодействие донных отложений северного Выгозера с водой. Лозовик П.А. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.61-75, лит. - 14 назв., ил. - 3.

Рассмотрены результаты исследований донных отложений северного Выгозера и их влияния на химический состав воды. Выделены зоны донных отложений, отличающиеся по степени содержания антропогенных продуктов. В природных условиях установлено, что из донных отложений в воду поступают прежде всего ионы:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$ . Методом лабораторного моделирования показано, что седиментация веществ в северном Выгозере преобладает над их выносом из донных отложений. Определены величины поступления биогенных элементов из донных отложений в воду, а также седиментация веществ как в природных условиях, так и в лабораторном эксперименте.

УДК 556.551 (470.22)

Лабильные органические вещества в воде озер Куйто. Сабина А.В., Ипатова Р.Г. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.75-84, лит. - 12 назв., ил. - 1.

Изучено внутригодовое распределение содержания лабильных ОБ: свободных и связанных аминокислот, углеводов, липидов в олиготрофных озерах Куйто (Северная Карелия). В составе азоторганических соединений доля свободных аминокислот не превышает 1,6%, а связанных - 20%. Концентрация углеводов составляет 0,1-10 мг/л. В нефилтрованных пробах воды содержание липидов колеблется от 20 до 200 мкг/л. В составе общего Сорг на липиды приходится 0,2-2,1%. Суммарное содержание лабильных органических веществ, определенных прямыми методами, составляет в течение года 5-15% от общего Сорг.

Изменения режима биогенных элементов воды водотоков в условиях антропогенного воздействия (сельскохозяйственная мелиорация). Курашчева С.В. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.84-93, лит. - 4 назв., ил. - 2.

Рассматриваются внутри- и межгодовая динамика содержания биогенных элементов (азот и фосфор) в воде ручья, принимающего дренажно-поверхностный сток с мелиоративной системы с сельскохозяйственным использованием. Рассчитан вынос веществ и показана его зависимость от водности года.

УДК 556.314.7 (470.22)

Об органическом веществе в подземных водах Карелии. Старцев Н.С. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.93-104, лит. - 11 назв., ил. - 1.

Дана характеристика ОВ в подземных водах ряда районов Карелии. Общее содержание ОВ, вычисленное по бихроматной окисляемости, составляет в них в среднем 3,2-4,6 мг/л. Концентрация ОВ в подземных водах верхней и нижней гидрогеохимической подзоны зоны свободного водообмена фактически не отмечается. В составе ОВ доля соединений, окисляемых перманганатом, по усредненным данным, не превышает 30%. В условиях Карельского региона, значительная площадь которого занята торфяно-болотными отложениями, надежным индикатором, позволяющим судить о том, содержат ли изучаемые подземные воды примесь болотных, могут стать такие показатели, как цветность и перманганатная окисляемость.

УДК 556. 114.7

Сера - неперемный компонент водного гумуса. Скопинцев Б.А. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы

в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.104-111, лит. - 10 назв.

В статье рассмотрены основные источники органической серы в водоемах. Приведенные данные свидетельствуют о том, что сера является неременным компонентом аллохтонного и автотонного водного гумуса.

УДК 556.551 (470.22)

Интенсивность распада органического вещества в воде различных по типу озер Карелии. Харкевич Н.С., Сабылина А.В., Басов М.И. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.111-123, лит. - 6 назв., ил. - 4.

Рассматриваются особенности деструктивных процессов в различных по типу озерах: олиготрофных олигогумозных, олиго-мезотрофных мезогумозных, эвтрофных, подверженных антропогенному влиянию. Показано, что скорость деструкционных процессов в воде зависит от содержания лабильных органических веществ и температуры. В условиях Карелии при длительном периоде низких температур процессы самоочищения замедляются. Однако образованное за год органическое вещество успевает окислиться и трансформироваться.

УДК 556.115:576.8

Бактериальная деструкция лигнина в водной среде. Филимонова Н.А., Тимакова Т.М. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.123-128, лит. - 4 назв.

В условиях лабораторного моделирования изучалась бактериальная деструкция сульфатного лигнина в водной среде. В качестве разрушающего комплекса использовался активный ил очистных сооружений Котласского ЦБК и продукты жизнедеятель-



ности рыб и аквариумных улиток. Исследования показали, что динамика развития углеродразрушающей микрофлоры обнаруживает активно протекающие процессы деструкции лигнина в течение первых двух недель.

УДК 577.152.321 (470.22)

Экология целлюлозоразрушающих бактерий в некоторых водоемах Карелии. Тимакова Т.М. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.128-144, лит. - 12 назв.

Исследовано распространение целлюлозных бактерий и целлюлозолитическая способность бактериальных ценозов в Пертозере, Кондопожской губе Онежского озера, северном Выгозере. Целлюлозолитическая активность бактериальных ценозов в значительной степени определялась температурным режимом водоемов, концентрацией и составом целлюлозосодержащих субстратов, дефицитом биогенных элементов, а в водоемах, куда клетчатка вносится со сточными водами ЦБК, кроме того, - кислородным режимом, присутствием больших количеств легкоокисляемого вещества, целлюлозы и других антропогенных продуктов.

УДК 574.55:556.551

Фитопланктон и первичная продукция Выгозерского водохранилища. Вислянская И.Г., Харкевич Н.С. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.144-165, лит. - 25 назв., ил. - 3.

Представлены результаты исследования химического состава воды, фитопланктона и первичной продукции Выгозерского водохранилища в 1971-1972 гг. и 1981 г. Впервые приводятся данные о содержании хлорофилла в воде и первичной продукции фитопланктона различных участков водохранилища. Показаны изменения биомассы и продукции фитопланктона за прошедшие 10 лет.

212

Наряду с общим повышением биомассы фитопланктона происходят изменения и в его структуре. Отмечено, что увеличение биомассы идет быстрее, чем увеличение интегральной продукции фотосинтеза, что характерно для водоемов, находящихся в начальной стадии эвтрофирования.

УДК 574.55:581.132.1

Содержание хлорофилла и продукционные процессы в различных по трофности озерах. Коваленко В.Н. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.165-177, лит. - 7 назв., ил. - 6.

Представлены результаты изучения уровня развития фитопланктона (по хлорофиллу), первичной продукции и деструкции ОВ на примере различных по трофии водоемов Вендзерско-Вохтозерской группы (Южная Карелия). Содержание в воде хлорофилла, уровень фотосинтетических процессов подтверждают ранее данную оценку трофии этих водоемов: Риндозеро - олиготрофный с признаками дистрофии, Вендзерское - олигомезотрофный, Вохтозеро - эвтрофированный для условий Карелии водоем. Выявлены различия в уровне фотосинтеза фитопланктона и его сезонном ходе в разнотипных водоемах Карелии.

УДК 574.55:581.526.3 (470.22)

Продукция и деструкция макрофитов и их роль в балансе органических и минеральных веществ в водоемах Карелии. Фрейндлинг А.В., Клюкина Е.А. В кн.: Органическое вещество биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.177-191, лит. - 5 назв., ил. - 4.

Приведены сведения о зарастании ряда разнотипных водоемов различных зон Карелии, рассмотрены величины годовой продукции макрофитов, показана их зависимость от климатических

характеристик. Оценена роль растений в балансе органических и минеральных веществ в водных экосистемах, отмечена степень участия отдельных видов макрофитов в зарастании озер и продуцировании органического вещества. Проанализированы данные по деструкции представителей различных экологических групп растений в разнотипных водоемах на протяжении ряда лет.

УДК 556.114.2

Определение органического углерода в природных водах с использованием системы непрерывного газового потока. Мартынова Н.Н., Лозовик П.А., Глинский А.М. В кн.: Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии. Петрозаводск, Карельский филиал АН СССР, 1985, с.191-203, лит. - 35 назв., ил. - 3.

Приведен краткий анализ методов определения органического углерода в природных водах. Предложен вариант фотохимического метода определения Сорг в системе непрерывного газового потока. Новая модификация фотохимической установки обеспечивает быстрый и полный фотолиз органических веществ. Время анализа 1 пробы - 10 мин. Чувствительность метода - 0,5 мкгС в пробе. В диапазоне концентраций от 1 до 20 мкгС/л стандартное отклонение составляет  $\pm 0.41$  мкгС/л (при 95%-ной обеспеченности).