

БИОХИМИЯ

С. В. БРУЕВИЧ, Р. М. ПЕВЗНЯК, В. Л. ПОНИЗОВСКАЯ и М. А. СИБИРЯКОВ  
О НАКОПЛЕНИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИЛОВЫХ РАСТВО-  
РАХ ПРЭСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ

(Представлено академиком В. И. Вернадским 2 X 1938)

При обширном материале по химии воды и по валовому химическому составу донных пресноводных отложений, химическому составу пресноводных иловых растворов до сих пор почти не уделялось внимания,—во всяком случае работы, хотя бы косвенно затрагивающие этот вопрос, исчисляются единицами (3, 4, 5). Между тем влияние донных отложений, т. е. в первую очередь илового раствора, на химический облик водной массы априорно в лимнологии всегда признавалось. У нас в Союзе важность изучения «иловых» или «грязевых» вод неоднократно подчеркивалась академиком В. И. Вернадским, введшим в свою классификацию природных растворов в качестве отдельного семейства «воды илов и грязей», в частности «грязевые воды пресных озер»(2). Настоящая работа представляет, насколько нам известно, первую попытку систематического изучения содержания и динамики биогенных элементов в иловом растворе (не в вытяжках ила!) по вертикали по сезонам года.

В качестве объекта нами было выбрано эйтрофное Бисерово озеро под Москвой с его чрезвычайно мощными, рыхлыми донными отложениями сапропелевого типа. Площадь озера около 100 га, средняя глубина около 1.75 м. Озеро не имеет притоков. Грунтовое питание компенсируется выходом небольшой речки Шаловки. В июле 1936 г. наблюдалось весьма энергичное цветение сине-зеленых: *Anabaena* и *Microcystis*. Донные отложения представляют в основном зеленовато-бурую водорослевую гиттию, в верхнем слое с ясно различимыми элементами господствующих форм фитопланктона, ниже переработанного в детритную массу. Среднее содержание сухого вещества в пробе ила на глубине 25 см—1.68%, на 50 см—1.85% и на глубине около 75 см—4.91%. Пробы воды брались батометром Рутнера—для воды и для двух верхних горизонтов жидкого ила (25 и 50 см ниже дна), дисковым батометром Бруевича—истинный придонный слой и дночерпателем типа Косинской лимнологической станции—или на глубине около 75 см ниже поверхности дна. Иловой раствор получался отжиманием ила. Методику химического исследования см. (1).

В табл. 1 дана сводка средних величин для ряда станций по основным горизонтам для всех четырех сезонов года (1936—1937).

Таблица 1

Физические свойства и химический состав воды и илового раствора Бисерова озера (1936 и 1937 гг.)

1936—1937 гг.	Вода		Иловой раствор ниже поверхности ила		
	поверхн.	придонн. слой	25 см	50 см	75 см
Температура, °С					
					[Воздух
Июль, 1-я полов. . . . .	25.0	23.4	22.3	21.8	26.3
» 2-я » . . . . .	25.5	23.8	22.3	—	31.3
Октябрь . . . . .	2.1	2.2	2.7	—	2.5
Ноябрь . . . . .	3.0	3.3	—	—	4.8
Март . . . . .	1.1	1.8	2.8	—	3.1
Апрель . . . . .	13.5	9.7	9.6	—	—]
Цветность в °Pt—Со шкалы					
Июль . . . . .	25	28	31	36	42
Октябрь—ноябрь . . . . .	15	17	15	15	20
Март . . . . .	14	24	(134?)	—	221
Апрель . . . . .	13	13	10	—	17
Щелочность без поправки на аммиак, мг-экв./л					
Июль . . . . .	0.85	0.81	1.08	2.15	5.64
Октябрь—ноябрь . . . . .	0.99	1.04	1.02	1.82	4.47
Март . . . . .	1.28	1.37	2.55	—	4.05
Апрель . . . . .	1.04	1.01	1.22	—	2.95
Щелочность минус аммиак, мг-экв./л					
Июль . . . . .	0.85	0.81	0.68	1.70	4.41
Октябрь—ноябрь . . . . .	0.94	0.97	0.86	1.21	2.52
Март . . . . .	1.23	1.24	1.92	—	1.80
Апрель . . . . .	0.94	1.11	0.84	—	1.04
pH					
Июль . . . . .	9.70	8.96	7.22	7.07	6.95
Октябрь—ноябрь . . . . .	7.65	7.50	7.00	6.93	6.83
Март . . . . .	7.39	7.30	7.03	—	—
Апрель . . . . .	8.12	7.72	7.12	—	—
Насыщение кислорода O <sub>2</sub> , %					
Июль . . . . .	167	86	—	—	—
Октябрь—ноябрь . . . . .	81	76	—	—	—
Март . . . . .	34	9	—	—	—
Апрель . . . . .	104	85	36	—	—
Нитраты N, мг/л					
Ноябрь . . . . .	0.12	0.11	0.07	0.00	0.00
Март . . . . .	0.52	0.40	0.21	—	0.008
Апрель . . . . .	0.38	0.27	0.10	—	0.007
Нитриты N, мг/л					
Июль . . . . .	0.000	0.000	0.003	0.002	0.003
Октябрь—ноябрь . . . . .	0.007	0.012	0.018	0.017	0.028
Март . . . . .	0.015	0.015	0.050	—	0.040
Апрель . . . . .	0.009	0.006	0.027	—	0.020

Таблица 1 (продолжение)

1936—1937 гг.	Вода		Иловой раствор ниже поверхности ила		
	поверхн.	придонн. слой	25 см	50 см	75 см
Аммиак N, мг/л					
Июль . . . . .	—	0.0	5.6	6.3	17.2
Октябрь—ноябрь . . . . .	—	0.95	2.2	8.6	27.4
Март . . . . .	—	1.89	8.8	—	31.5
Апрель . . . . .	—	1.81	5.3	—	26.7
Органический азот N, мг/л					
Март . . . . .	3.4	5.8	12.0	—	19.9
Апрель . . . . .	2.5	2.6	3.9	—	8.7
Фосфаты P, мг/л					
Июль . . . . .	0.025	0.031	0.026	0.027	0.023
Октябрь—ноябрь . . . . .	0.040	0.043	0.034	0.040	0.040
Март . . . . .	0.013	0.009	0.064	—	0.060
Апрель . . . . .	0.011	0.014	0.019	—	0.051
Органический фосфор P, мг/л					
Март . . . . .	0.042	0.066	0.075	—	0.092
Апрель . . . . .	0.017	0.031	0.035	—	0.059
Отношение органического азота к органическому фосфору, N/P					
9 III 1937, ст. 1 . . . . .	44	—	24	—	—
13 III 1937, ст. 3 . . . . .	44	87	107	—	63
25 IV 1937, ст. 1 . . . . .	58	(225)	228	—	204
21 IV 1937, ст. 1 . . . . .	61	81	50	—	183
21 IV 1937, ст. 5 . . . . .	(317)	88	(470)	—	—
Кремний Si, мг/л					
Июль . . . . .	3.2	3.2	4.7	6.1	5.6
Октябрь—ноябрь . . . . .	5.4	5.3	5.5	7.3	14.2
Март . . . . .	5.5	7.0	10.9	—	13.4
Апрель . . . . .	3.4	3.1	3.6	—	12.0
Закисное железо Fe, мг/л					
Июль . . . . .	0.8	1.3	2.3	9.0	10.4
Октябрь—ноябрь . . . . .	1.0	5.0	2.7	7.4	22.4
Март . . . . .	0.2	0.6	10.4	—	15.6
Апрель . . . . .	0.1	0.2	0.8	—	10.3
Хлориды Cl, мг/л					
Июль . . . . .	1.8	1.8	4.9	4.6	10.1
Октябрь—ноябрь . . . . .	2.9	3.6	5.2	5.8	9.0
Март . . . . .	(0.8)	(1.6)	(5.7)	—	(16.4)
Апрель . . . . .	(1.1)	(1.2)	(1.7)	—	(2.0)

Таблица 1 (продолжение)

1936—1937 гг.	Вода		Иловой раствор ниже поверхности ила		
	поверхн.	придонн. слой	25 см	50 см	75 см
Окисляемость $O_2$ , мг/л					
Июль . . . . .	22	22	30	33	50
Октябрь—ноябрь . . . . .	19	21	25	32	37
Март . . . . .	7	6	79	—	106
Апрель . . . . .	5	6	13	—	14

Примечание. Мартовские определения характеризуют зимние условия—озеро еще покрыто льдом; апрель—весенние после таяния ледового покрова.

Главнейшие выводы могут быть сведены к следующему. В отношении всех компонентов химического состава, для которых это допускается физико-химическими условиями, отмечается весьма значительное их накопление в иловом растворе по сравнению с наддонной водой, прогрессирующее с глубиной ила. Исключения составляют кислород, нитраты, частично нитриты, фосфаты и сульфаты. Накопление фосфатов лимитируется влиянием железа вследствие образования трудно растворимого фосфата железа.

Летом разница содержания биогенных элементов в придонном слое и верхнем слое ила относительно невелика и значительно меньше, чем в конце зимы, несмотря на прогретость наддонной воды и незначительность промывания иловых отложений водой. Это указывает на то, что летом разложение свежесажженного растительного материала в верхнем слое ила развито еще слабо и регенерация заметна главным образом для углерода и азота в аммиачной форме.

Осенью охлаждение воды и наступление вертикальной циркуляции вызывает уравнивание химического состава в толще воды, захватывающее и верхний слой ила; разница концентраций биогенных элементов в придонном слое воды и верхнем слое ила по сравнению с летом сильно уменьшается. В верхнем слое ила наблюдается значительная нитрификация.

Содержание биогенных элементов в толще воды возрастает как за счет регенерации из растворенных веществ, так и вследствие вымывания из донных отложений. Осень—время энергичного воздействия донных отложений на водную толщу. Подсчет показывает, что количество аммиачного азота, перешедшего от лета к осени из ила в наддонную воду, не ниже 820 мг N на 1 м<sup>2</sup> площади дна, или 1.2 мг N на 1 л наддонной воды.

В нижних горизонтах энергично развиваются процессы регенерации биогенных элементов из органического вещества, для азота главным образом ограничивающиеся аммонификацией.

Зимой продолжают процессы регенерации биогенных элементов и окисления органического вещества, потребляющие большую часть кислородных ресурсов водоема. За время поздне-осенней и частично ранне-зимней циркуляции толща воды обогатилась солями Ca и Mg (щелочность), углекислотой, нитратами, аммиаком, отчасти нитритами и кремнием. За счет окисления железа и выпадения фосфата железа уменьшилось содержание в толще воды обоих этих ионов. При относительном покое воды в зимнее время продукты регенерации биогенных элементов оставались в илу, вследствие чего создавалась значительная разница концентраций в придонном слое и верхнем слое ила, особенно в отношении цветности,

окисляемости, нитратов, аммиака, фосфатов, закисного железа и вероятно кислорода. Таким образом в разгаре и в конце зимы влияние иловых отложений на водоем очевидно значительно уменьшилось по сравнению с осенним периодом. В глубоких слоях ила очень резко возросли цветность, окисляемость, в меньшей мере нитраты, нитриты, аммиак, фосфаты, хлориды. Нитрификация в верхнем слое ила развернулась весьма широко.

Весной, после таяния ледового покрова, с наступлением вертикальной циркуляции, наблюдается интенсивное промывание иловых отложений циркулирующей водой и в результате сильное уменьшение концентрации биогенных элементов в придонном слое и верхнем слое грунта (для цветности, окисляемости, щелочности, аммиака, органического азота, фосфора минерального и органического, кремния и железа). Весеннее промывание илов сказалось и на глубинных слоях, где уменьшились цветность и окисляемость, и в меньшей степени щелочность, нитриты, аммиак, органический азот, фосфор минеральный и органический, кремний и железо. Таким образом в отношении промывки илов весенняя циркуляция характерна значительно большим воздействием иловых отложений на водоем, чем осенняя. Повышение концентрации биогенных элементов в водоеме весной по сравнению с осенью непосредственно не было констатировано вследствие начавшегося фотосинтеза и биологического потребления биогенных элементов. Уменьшение содержания биогенных элементов в иловом растворе после наступления весенней циркуляции дает возможность приблизительного подсчета количества биогенных элементов, перешедших из ила в наддонную воду (табл. 2).

Таблица 2

Количество биогенных элементов, перешедших во время весенней циркуляции из донных отложений в толщу воды (в мг)

	На 1 м <sup>2</sup> площади дна	На 1 л воды	Среднее содержание в водоеме в конце марта, мг/л
Азот нитратный . . . . .	27.5	0.04	0.46
Азот аммиачный . . . . .	870	1.2	(1.89)
Азот органический . . . . .	2 050	2.9	4.6
Фосфор фосфатный . . . . .	11.2	0.016	0.011
Фосфор органический . . . . .	10.0	0.014	0.054
Кремний . . . . .	1 820	2.6	6.2

Весенний перенос из донных отложений в толщу воды играл весьма крупную роль в отношении азота аммиачного и органического, фосфатов и кремния и значительно менее существенную роль в отношении нитратов и органического фосфора.

Институт коммунальной  
санитарии и гигиены Наркомздрава.  
Москва.

Поступило  
9 X 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> С. В. Бруевич, Б. А. Скопинцев и С. М. Драчев, Сб. работ Центр. н.-и. ин-та коммун. sanit. и гигиены НКЗ, № 18 (1936). <sup>2</sup> В. И. Вернадский, История минералов земной коры, 2. История природных вод, ч. 1, вып. 1 (1933). <sup>3</sup> А. Д. Пельш, Природа, № 3 (1935). <sup>4</sup> А. К. Трифонов, Тр. Бородинской биолог. станции, VII, вып. 3 (1935). <sup>5</sup> H. G. V a n g, Gesundheitsing., 56, 13, 150 (1933).