

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 550.4: 551.444.4: 553.973

П.В. Бернатонис, Ю.Г. Копылова, В.К. Бернатонис, Э.Д. Рябчикова, В.С. Архипов

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ САПРОПЕЛЕВЫХ ОЗЕР ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Сапропелевые озера южных районов Томской области характеризуются высокой биологической продуктивностью. Это приводит к обогащению озерных вод органическими соединениями, оказывающими существенное влияние на миграцию в водах и накопление в донных отложениях различных макро- и микроэлементов.

Ключевые слова: озера; сапропель; органическое вещество; трофический статус озер; условия накопления сапропелей.

Введение

Сапропели – органо-минеральные отложения пресноводных озер, имеющие зольность не более 85% [1]. Они состоят из кластического материала, минеральных новообразований хемогенного и биогенного происхождения и продуктов распада растительных и животных организмов. Условия сапропелеобразования определяются характером происходящих в озерах физико-химических и биогенных процессов. При этом главную роль играют биогенные процессы [2–7], протекающие в три сменяющие друг друга стадии [8]: первичную (фотосинтез), промежуточную (взаимодействие водной флоры и фауны) и конечную (илообразование).

Методика исследований

Авторами статьи было обследовано более 300 сапропелевых озер в Асиновском (озера с шифром АСС), Зырянском (ЗЫС), Томском (ТОС), Кожевниковском (КОС), Шегарском (ШЕС) и Кривошеинском (КРС) районах Томской области.

Гидрогеохимические исследования при этом были выполнены на 20 озерах (табл. 1), расположенных в поймах рек Оби, Томи, Чулыма, Кии, Шегарки и Чети. На каждом озере потенциометрическим методом определяли рН, Eh и электропроводность вод. Пробы отбирали из приповерхностных слоев водоемов в специально подготовленную полиэтиленовую или стеклянную посуду. Видовой состав фито- и зоопланктона устанавливали с помощью микроскопических исследований (аналитики Э.Д. Рябчикова и Н.А. Антропова). Микробиологические анализы выполняли путем посева проб воды на питательные среды [8–10] для автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов (аналитик Н.А. Трифонова). Анализы вод проводили в аккредитованной проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета (аналитики В.М. Марулева, А.А. Хвощевская, А.Н. Ефимова, Р.Ф. Зарубина и Н.И. Шердакова).

Органические вещества в озерных водах

Воды озер (табл. 2) имеют преимущественно слабощелочной и щелочной характер геохимической среды (рН = 6,88–8,46). Лишь в озерах АСС-48, АСС-65, АСС-14, КОС-16, ТОС-3 и КРС-36 отмечается нейтральная реакция среды. Окислительно-восстанови-

тельные условия в водах озер чаще всего характеризуются положительными значениями Eh (от +32 до +237 мВ). Лишь в зарастающих озерах с торфянистым видом сапропеля наблюдается более восстановительная обстановка (Eh от –43 до –82 мВ).

Минерализация озерных вод колеблется от 72 до 533 мг/л, составляя в среднем 251 мг/л, и хорошо коррелирует со значениями их электропроводности, которая изменяется от 0,079 до 0,512 мСм/см. С ростом минерализации вод наблюдается увеличение их рН и концентраций гидрокарбонат-иона, кремния, кальция, магния и натрия. Общая жесткость вод варьирует от 0,4 до 6,2 мг-экв/л. По ионному составу воды озер гидрокарбонатные кальциево-магниевые, иногда с присутствием сульфат-иона до 17 экв-% и хлор-иона – до 11 экв-%.

Обращает на себя внимание высокое содержание в водах органических веществ, в силу чего они нередко приобретают желтовато-бурый цвет. Цветность вод колеблется от 13,9 до 104,4° по Pt-Co шкале.

Значения перманганатной окисляемости изменяются от 2,00 до 18,56 мгО₂/л. Причем в водах с минерализацией от 100 до 400 мг/л её значения обычно максимальные, а с минерализацией более 400 мг/л и менее 100 мг/л – минимальные. Бихроматная окисляемость (ХПК) озерных вод изменяется от 9,0 до 100,0 мгО₂/л и, соответственно, содержание C_{орг} варьирует при этом в пределах от 3,3 до 37,5 мг/л.

Выявленная тенденция изменения значений перманганатной окисляемости в зависимости от минерализации озерных вод характерна и для ХПК. Наибольшие значения ХПК (от 20 до 100 мгО₂/л) отмечаются в водах с минерализацией от 100 до 400 мг/л. При этом превышение значений бихроматной окисляемости над перманганатной составляет от 3,5 до 13 раз в водах с минерализацией от 100 до 400 мг/л, снижаясь до 5 раз в водах с минерализацией до 100 мг/л и до 3 раз в водах с минерализацией более 400 мг/л. Содержание органического углерода в озерных водах при этом изменяется чаще всего от 10,0 до 37,5 мг/л, в то время как в водах с минерализацией менее 100 мг/л и более 400 мг/л его концентрация обычно не превышает 10 мгО₂/л.

Аналогичная закономерность изменения концентраций в водах разной минерализации обнаруживается и для составляющих азота. Наиболее ярко это прослеживается при анализе распределения в водах иона аммония. Его концентрации до 0,5 мг/л обычно отмечаются в водах с минерализацией менее 100 мг/л, увеличиваются до 1 мг/л и более в водах с минерализацией от 100 до 400 мг/л и

уменьшаются до 0,36–0,65 мг/л в водах с минерализацией более 400 мг/л. Нитратная составляющая азота пользуется слабым проявлением в озерных водах (0,13–0,52 мг/л). Для неё также можно проследить установленные выше закономерности увеличения концентрации в водах с ми-

нерализацией от 100 до 400 мг/л. Нитриты в водах озера не обнаружены. Приведенные данные позволяют предположить, что в водах озера наблюдается начальная стадия разложения органических веществ с преобладанием природных процессов аммонификации.

Т а б л и ц а 1

Характеристика исследованных озера

№ п/п	Название водоема	Шифр озера	Географические координаты	Площадь водоема, га
Асиновский район				
1	Без названия	АСС-14	57°15'41.3" с.ш.; 85°55'23.7" в.д.	4,80
2	Озеро Чертаны (местное)	АСС-15	57°93'31.9" с.ш.; 85°41'20.7" в.д.	6,00
3	Озеро Тургайское	АСС-26	57°21'31.8" с.ш.; 85°52'44.7" в.д.	10,00
4	Озеро Большое Колесниково	АСС-48	57°19'04.9" с.ш.; 85°54'33.4" в.д.	4,00
5	Озеро Каштык	АСС-65	57°01'46.5" с.ш.; 86°11'16.5" в.д.	52,00
Томский район				
6	Озеро Боярское	ТОС-1	56°27'05.0" с.ш.; 84°55'05.7" в.д.	6,80
7	Озеро Песчаное	ТОС-3	56°26'22.3" с.ш.; 84°55'00.5" в.д.	2,50
8	Озеро Таяново	ТОС-9	56°28'02.0" с.ш.; 84°53'45.1" в.д.	16,50
Кожевниковский район				
9	Без названия	КОС-1	56°25'15.8" с.ш.; 83°53'59.6" в.д.	6,00
10	Пруд на р. Кумлова	КОС-16	56°03'11.4" с.ш.; 83°44'14.0" в.д.	80,00
11	Озеро Линево	КОС-26	56°44'56.9" с.ш.; 83°38'24.12" в.д.	30,00
Зырянский район				
12	Старица р. Четь	ЗЫС-13	56°52'48.5" с.ш.; 87°50'16.1" в.д.	14,00
13	Без названия	ЗЫС-25	56°37'33.9" с.ш.; 86°52'06.5" в.д.	8,00
14	Озеро Марчиха	ЗЫС-40	56°49'18.2" с.ш.; 87°41'06.5" в.д.	2 40,00
Кривошеинский район				
15	Без названия	КРС-23	57°08'15.2" с.ш.; 83°58'16.0" в.д.	2,40
16	Без названия	КРС-36	57°12'08.9" с.ш.; 84°18'15.4" в.д.	6,00
17	Без названия	КРС-42	57°10'50.7" с.ш.; 84°21'05.5" в.д.	40,00
Шегарский район				
18	Озеро Жарково	ШЕС-3	56°40'40.0" с.ш.; 84°15'40.2" в.д.	80,00
19	Без названия	ШЕС-18	56°30'17.6" с.ш.; 84°00'36.7" в.д.	12,00
20	Без названия	ШЕС-19	56°29'55.9" с.ш.; 84°00'00.9" в.д.	2,50

Т а б л и ц а 2

Органические вещества в водах сапропелевых озера

Шифр озера	pH	Eh, мВ	NO ₃ ⁻ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	S _{орг.} , мг/л	Минерализация, мг/л	Цветность, град. по Pt-Co шкале
ТОС-1	7,76	–	0,13	0,247	0,010	3,20	3,3	72	25,5
ЗЫС-25	7,80	160	0,13	0,551	0,018	8,80	27,3	84	27,3
АСС-48	7,20	141	0,39	1,045	0,170	14,70	10,1	90	83,9
АСС-15	8,05	191	0,26	0,505	0,012	11,68	8,8	111	56,2
АСС-65	6,88	171	0,34	0,722	0,090	12,80	6,0	128	52,5
АСС-14	7,06	86	0,39	0,608	0,080	15,36	18,3	149	104,4
КОС-16	7,10	96	<0,10	1,064	0,170	10,40	10,8	164	47,4
ТОС-3	7,27	–	0,52	1,159	0,067	16,00	14,2	166	13,9
АСС-26	8,21	237	0,13	0,296	0,028	7,20	4,1	169	32,8
КРС-36	7,07	–82	0,39	1,064	0,120	16,48	16,5	219	60,6
КРС-42	8,10	32	0,26	1,390	0,050	18,56	16,1	233	67,2
ТОС-9	7,83	–	0,34	1,444	0,170	14,70	12,7	237	81,0
КОС-26	8,46	119	0,52	0,942	0,007	18,10	15,0	280	85,4
ШЕС-19	7,40	66	0,34	1,246	0,029	13,75	16,1	309	65,7
ЗЫС-40	8,46	119	0,26	1,037	<0,010	4,00	37,5	365	46,7
ШЕС-3	7,65	169	0,52	0,539	0,080	9,60	8,4	388	70,4
ЗЫС-13	7,76	190	0,13	0,600	0,060	2,00	7,5	391	21,1
ШЕС-18	8,03	–61	0,26	0,646	<0,010	5,84	11,2	413	34,5
КОС-1	7,40	–43	0,13	0,645	0,040	5,36	4,5	524	46,7
КРС-23	7,98	35	0,26	0,361	0,007	5,04	8,2	533	36,5

Эта тенденция прослеживается и в поведении других биогенных элементов. Так, в водах с минерализацией от 100 до 400 мг/л наблюдается увеличение концентрации ортофосфатов по сравнению с водами меньшей и большей минерализации. Повышенные концентрации калия обнаружены также в водах с минерализацией 100–400 мг/л, а максимальное его значение (8,9 мг/л) отмечается в водах озера КРС-42 с минерализацией 233 мг/л.

Обнаруженная закономерность определяется преобладанием разных составляющих органических веществ и степенью обогащения ими вод, связанной с общими условиями формирования их химического состава. Приведенные данные позволяют предполагать преобладание атмосферной составляющей в химическом составе вод с минерализацией до 100 мг/л, биогенной – с минерализацией 100–400 мг/л и литогенной – с минерализацией более 400 мг/л.

Микробиологический состав озерных вод

Обогащение вод органическими соединениями обусловлено высокой биологической продуктивностью сапропелевых озер. Наряду с водной растительностью для них характерно повышенное количество фито-, зоо- и бактериопланктона. Фитопланктон представлен в изученных озерах жгутиковыми и диатомовыми водорослями, а зоопланктон – инфузориями, дафниями и циклопами. В сапропелях обитает богатая и разнообразная микрофлора. Общая численность микроорганизмов составляет 6,3–9,5 млн клеток в 1 г сырого сапропеля.

Из-за различий физико-химических условий в озерных водах развиваются несколько иные микробные ценозы, нежели в сапропелях. В озерных водах доминируют гетеротрофные бактерии геохимических циклов углерода, азота и железа. Менее развиты в количественном отношении автотрофные бактерии, такие как нитрифицирующие микроорганизмы и автотрофные штаммы железобактерий. Доминирующими морфологическими типами микроорганизмов озерных вод являются палочковидные, реже встречаются кокки, спироиллы и коринеформные бактерии. Среди микроорганизмов с характерной морфологией выявлены *Leptothrix*, *Beggiatoa*, *Spirillum*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter*, *Thiovulum*, *Azotobacter* и *Caulobacter*.

Здесь отсутствуют сульфатвосстанавливающие бактерии и метанообразующие микроорганизмы, живущие в

обедненных кислородом условиях. Наблюдаются также увеличение роли аллохтонных сапрофитных бактерий и снижение количества автохтонных микроорганизмов в водах по сравнению с иловыми отложениями. Кроме того, воды имеют меньшую степень бактериальной обсемененности, чем сапропели. В них установлено лишь 0,04–2,6 млн клеток бактерий в 1 мл воды.

Характер сапропелеобразования в озерах определяется в основном трофическим статусом водоемов. В эвтрофных (гиперэвтрофных) озерах преобладают процессы продукции органического вещества над его деструкцией, а в дистрофных водоемах, наоборот, доминирует разложение остатков растений и животных.

Содержание растворенного органического вещества и азота общего, отношение (Na+K) к (Ca+Mg) и индекс олиготрофности (отношение численности олиготрофных бактерий к количеству микроорганизмов, растущих на мясо-пептонном агаре) свидетельствуют о преимущественной принадлежности исследованных озер к эвтрофному типу (табл. 3). Правда, пять озер по некоторым параметрам имеют признаки олиго- и мезотрофности.

Показателем трофического статуса озер является также уровень их гумификации, обусловленный степенью насыщенности воды гуминовыми соединениями, определяющими ее цветность. По ее величине изученные озера относятся, в основном, к мезо- и олигогумозным, реже к ультра- и полигумозным (табл. 4).

Таблица 3

Трофический статус озер

Шифр озера	C _{орг} , мг/л	N _{общ} , мг/л	Олиготрофные / гетеротрофные бактерии, тыс. кл./мл	Индекс олиготрофности	Na+K Ca+Mg	Трофический статус озер		
						Олиготрофные	Мезотрофные	Эвтрофные
АСС-14	18,3	0,998	210/510	0,4	0,18			+
АСС-15	8,8	0,765	67/370	0,2	0,17			+
АСС-26	4,1	0,426	1730/865	2,0	0,18	+	+	+
АСС-48	10,1	1,435	42/124	0,3	0,20			+
АСС-65	6,0	1,062	378/1005	0,4	0,29			+
ТОС-1	3,3	0,377	---	---	0,45	+	+	+
ТОС-3	14,2	1,679	13,2/27	0,5	0,36		+	+
ТОС-9	12,7	1,784	---	---	0,22			+
КОС-1	4,5	0,775	336/112	3,0	0,14	+	+	+
КОС-16	10,8	1,064	---	---	0,19			+
КОС-26	15,0	1,462	---	---	0,16			+
ЗЫС-13	7,5	0,730	133,5/173,2	0,8	0,07		+	+
ЗЫС-25	27,3	0,681	---	---	0,30			+
ЗЫС-40	37,5	1,297	---	---	0,11			+
КРС-36	16,5	1,454	---	---	0,18			+
КРС-42	16,1	1,650	---	---	0,33			+
КРС-23	8,2	0,621	360/1320	0,3	0,09			+
ШЕС-3	8,4	1,059	17,6/1320	0,01	0,15			+
ШЕС-18	11,2	0,906	---	---	0,09			+
ШЕС-19	16,1	1,586	---	---	0,16			+
Показатель трофического статуса озер								
C _{орг} , мг/л [11]						1,7–6,0		6,0–13,0
N _{общ} , мг/л [12]						<0,4	0,4–0,6	0,6–1,5
Индекс олиготрофности [13]						>1,0	1,0–0,5	<0,5
(Na+K):(Ca+Mg) [14]						>2,0	2,0–1,2	<1,2

Таблица 4

Уровень гумификации озер

Шифр озера	Цветность, град. по Pt-Co шкале	Уровень гумификации озер			
		Ультрагумозный	Олигогумозный	Мезогумозный	Полигумозный
1	2	3	4	5	6
АСС-14	104,4				+

1	2	3	4	5	6
АСС-15	56,2			+	
АСС-26	32,8		+		
АСС-48	83,9			+	
АСС-65	52,5			+	
ТОС-1	25,5		+		
ТОС-3	13,9	+			
ТОС-9	81,0			+	
КОС-1	46,7		+		
КОС-16	47,4		+		
КОС-26	85,4			+	
ЗЫС-13	21,1		+		
ЗЫС-25	27,3		+		
ЗЫС-40	46,7		+		
КРС-36	60,6			+	
КРС-42	67,2			+	
КРС-23	36,5		+		
ШЕС-3	70,4			+	
ШЕС-18	34,5		+		
ШЕС-19	65,7			+	
Нормативная степень цветности воды [15]					
Цветность, град. по Pt-Co шкале		<20	20–50	50–100	>100

Сапропели формируются только в эвтрофных водоемах, в которых преобладают процессы накопления органического вещества над его распадом.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В водах сапропелевых озер выявлены высокие концентрации органических веществ, предопределяющих условия миграции в них и накопления в сапропелях различных химических элементов. Обогащение вод

органическими соединениями обусловлено высокой биологической продуктивностью озер.

2. В озерных водах выявлены жгутиковые и диатомовые водоросли, инфузории, дафнии и циклопы, а также различные виды микроорганизмов в количестве от 0,04 до 2,6 млн клеток бактерий на 1 мл воды. Исследованные озера относятся в основном к водоемам эвтрофного типа, в которых преобладают процессы накопления органического вещества над его распадом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по разведке озерных месторождений сапропеля РСФСР / Под ред. Г.Н. Верхолярова, В.Д. Маркова, А.В. Предтеченского и др. М.: Торфгеология, 1988. 96 с.
2. Кузнецов С.И., Романенко В.И. Окислительно-восстановительный потенциал в поверхностных слоях иловых отложений озер различного типа // Доклады АН СССР. 1963. Т. 151, № 3. С. 679–682.
3. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. Л.: Наука, 1970. 440 с.
4. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органических веществ во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 294 с.
5. Секи Х. Органические вещества в водных экосистемах. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 199 с.
6. Дробкова В.Г. Зональное изменение интенсивности микробиологических процессов в озерах. Л.: Наука, 1981. 212 с.
7. Трифонова И.С. Соотношение продукционно-деструкционных процессов как показатель качества воды // Особенности формирования качества воды в разнотипных озерах Карельского перешейка. Л., 1984. С. 216–221.
8. Перфильев Б.В. Микроразное строение иловых озерных отложений и методы его исследования. Л.: Наука, 1972. 216 с.
9. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов: Лабораторное руководство. М.: Наука, 1974. 193 с.
10. Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхардта и др. М.: Мир, 1983. Т. 1. 536 с.
11. Калинина Л.А., Румянцева Э.А. Соотношение микрокомпонентов «системы углерода» как критерий равновесия продукционно-деструкционных процессов в озерах // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. С. 37–42.
12. Forsberg C., Ryding S.O. Eutrophication parametrs and tropic state indices in 30 wastereceiving Swedish Lakes // Archiv Hydrobiol. 1980. Vol. 89. P. 189–207.
13. Аристовская Т.В. Микробиология подзолистых почв. М.; Л.: Наука, 1965. 187 с.
14. Zafar A.A. Taxonomy of lakes // Hydrobiologia. 1959. Vol. 13, № 3. P. 287–299.
15. Мязметс А.Х., Румянцева Э.А. Влияние различных факторов на интенсивность антропогенного эвтрофирования озер // Антропогенное воздействие на малые озера. Л., 1980. С. 120–127.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 6 апреля 2011 г.