

## МИКРОФЛОРА САПРОПЕЛЕВЫХ ОЗЕР ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Бернатонис В.К., Трифонова Н.А., Кудашев И.Г., Бернатонис П.В.

Изучена микрофлора вод и донных отложений сапропелевых озер Томской области. Выявлены микроорганизмы, участвующие в геохимических циклах углерода, азота, железа и серы. Проведены экспериментальные исследования по вторичному микробиологическому илообразованию.

### 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 [2,3,4,5,6,7], протекающие в три сменяющие друг друга стадии [8]: первичную (фотосинтез), промежуточную (взаимодействие водной флоры и фауны) и конечную (илообразование). Продукция биомассы и деструкция автохтонных и аллохтонных органических компонентов происходят при заметном участии микроорганизмов [5].

### Сапропелевые ресурсы области

Систематические специализированные геологоразведочные работы на сапропель в области не проводились. Оценка сапропелевых ресурсов осуществлялась в основном попутно в процессе поисков и разведки месторождений торфа. Сапропели как попутные полезные ископаемые, локализованные не только в озерах, но и под залежами торфа, выявлены на 49 торфяных месторождениях и их участках. При этом запасы и ресурсы сапропеля составляют (табл.1): в озерах (35 месторождений) - 43797 тыс. т и 1809 тыс. м<sup>3</sup>, под торфяной залежью (42 месторождения) - 37551 тыс. т и 2653 тыс. м<sup>3</sup>.

Озерные сапропели как основные полезные ископаемые (вне связи с месторождениями торфа) изучены слабо. Впервые исследование озер Томской области с целью выявления самостоятельных месторождений сапропеля было выполнено гидрогеологической партией конторы «Геоминвод» в 1974 году в Томском и Колпашевском районах. В 1979 - 1981 годах сотрудниками Томского НИИ курортологии изучались сапропелевые лечебные грязи в 12 озерах Томского, Первомайского и Колпашевского районов. В 1991 году ООО «Сапропэк» (г. Таллинн) на участках первоочередного освоения озерных месторождений сапропеля Карасевое (Колпашевский район) и Жарково (Шегарский район) проведены поисково-оценочные работы. В 1993 году ПГО «Новосибирскгеология» осуществило поиски озерных месторождений сапропеля у сел Белобородово, Семиозерки и Орловка Томского района и поисково-оценочные работы в Первомайском (озера Чертаны, Успенское, Чертаники) и Зырянском (озера Марчиха и Курья) районах. В процессе выполнения этих научно-исследовательских и геологоразведочных работ сапропели были выявлены в 20 озерах, в 9 из которых (табл.2) они могут представлять промышленный интерес. Сум-

Таблица 1

Региональная структура запасов и прогнозных ресурсов сапропелей как попутных полезных ископаемых на месторождениях торфа

Административный район	Запасы и прогнозные ресурсы, тыс. т (м <sup>3</sup> )				
	в озерах			под торфом	
	C <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
Александровский	-	61	-	-	-
Каргасокский	449	5429	8948	1308	1107
Парабельский	626	-	-	132	877
Колпашевский	4158	-	-	3656	1910
Верхнекетский	4841	-	2063	737	1233
Чайнский	273	-	-	100	-
Молчановский	1069+(1476)	-	-	99+(599)	-
Бакчарский	571	-	-	768	-
Кривошеинский	426	589	-	2442	-
Асиновский	539	1562	-	1606	2515
Тегульдетский	362	-	-	-	-
Шегарский	10622	-	-	7441	622
Томский	504	-	-	709+(2054)	160
Зырянский	(333)	-	-	-	-
Кожевниковский	705	-	-	229	-
Всего: 81348 тыс.т и 4462 тыс.м <sup>3</sup>	25145+(1809)	7641	11011	19227+(2653)	18324

Таблица 2

Перспективные для освоения месторождения и проявления озерных сапропелей

Название озера	Класс (вид) сапропеля	Мощность залежи, м	Стадия работ	Запасы и прогнозные ресурсы, тыс.м <sup>3</sup>
Томский район				
Кирек	Известковый, органо-железистый, торфянистый	0,2-8,5	Поисково-оценочные	C <sub>2</sub> -2242,6 в нулевом контуре
Пиявочное	Глинистый	До 8,0	Нет сведений	Не оценены
Яково	Органический, органо-силикатный	До 1,2	Детальные поиски	P <sub>1</sub> -260,0 в нулевом контуре
Семиозерки I	Органический, органо-силикатный	1,3 (средняя)	Детальные поиски	P <sub>1</sub> -26,0 в промышленном контуре
Шегарский район				
Жарково	Известковый, органо-известковистый, глинисто-известковистый	2,01 (средняя)	Поисково-оценочные	C <sub>2</sub> -907,0 в промышленном контуре
Колпашевский район				
Карасевое	Торфянистый, известковый	До 4,5	Поисково-оценочные	C <sub>2</sub> -8652,0 в промышленном контуре
Темное	Глинистый	0,05-1,4	Детальная разведка	A-25,6 в промышленном контуре
Светлое I	Органический	До 3,5	Нет сведений	Не оценены
Первомайский район				
Чертаны	Органический	1,28 (средняя)	Поисково-оценочные	C <sub>2</sub> -973,0 в промышленном контуре

марные запасы и ресурсы сапропелей составляют в них 13086,2 тыс. м<sup>3</sup>.

В 2001 году сотрудниками Томского политехнического университета в южных районах области были обследованы 302 озера и старых пруда, в том числе: в Асиновском районе – 70, Зырянском – 43, Томском – 44, Кожевниковском – 50, Шегарском – 25 и Кривошеинском – 70. Сапропелевые отложения установлены в 71 водоеме. Суммарные их ресурсы по категории Р<sub>2</sub> составляют 26,1 млн. т (табл.3). Сапропели относятся к органическому, органо-силикатному и карбонатному классам.

Геологические ресурсы озерных сапропелей оценены в Томской области в 3 млрд. т [9].

Таблица 3

*Прогнозные ресурсы озерных сапропелей в южных районах области  
(по результатам работ Томского политехнического университета)*

Административный район	Количество месторождений	Суммарные прогнозные ресурсы по категории Р <sub>2</sub> , млн т
Асиновский	14	7,37
Зырянский	7	8,62
Томский	6	2,05
Кожевниковский	28	3,41
Шегарский	6	1,93
Кривошеинский	10	2,72
Всего	71	26,10

#### Методика исследований

Микробиологическому обследованию были подвергнуты воды и донные отложения 14 озер (табл. 4), расположенных в поймах рек Оби, Томи, Чулыма и Чети.

Пробы воды отбирали из приповерхностных слоев водоемов. При этом в воду погружали стерильные закрытые стеклянные сосуды, потом их открывали, а после заполнения снова закупоривали.

Пробы донных отложений отбирали на всю их глубину с помощью сапропелевого бура БС-1 с пробоотборочным челноком 1 м. Затем их упаковывали в двойные полиэтиленовые мешочки. В лабораторных условиях пробы перемешивали, после чего из них отбирали навески сапропелей на микробиологические анализы.

Микробиологические исследования озерных вод и иловых отложений проводили с использованием общепринятых методик [8,10,11].

Кроме того, в лабораторных условиях по методике Б.В. Перфильева [8, 12] был изучен состав микрофлоры в так называемом вторичном иловом профиле.

#### Химический состав и микрофлора озерных вод

В исследованных пойменных озерах преимущественным развитием пользуются гидрокарбонатно-сульфатные воды кальциево-магниевого катионного состава (табл. 5). Изредка встречаются гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные воды того же катионного состава. Общая минерализация вод колеблется от 93,57 до 536,91 мг/л, составляя в среднем 267,93 мг/л. Реакция вод нейтральная или слабощелочная (рН=6,88-8,21). Режим озер чаще всего окислительный (Eh= +35 - +237 мВ). Лишь в одном озере с торфянистым видом сапропеля наблюдается восстановительная обстановка (Eh= -43 мВ).

Таблица 4

## Местоположение обследованных озер

№№ п.п.	Шифр озера	Название озера	Географические координаты	Пойма реки	Объект исследования	Административный район
1	АСС-14	Без названия	57° 15' 41,3" 85° 55' 23,7"	Р. Чулым	Вода	Асиновский
2	АСС-15	Чертаны	57° 93' 31,9" 85° 41' 20,7"	Р. Чулым	Вода	Асиновский
3	АСС-26	Тургайское	57° 21' 31,8" 85° 52' 44,7"	Р. Чулым	Вода	Асиновский
4	АСС-48	Бол. Колесниково	57° 19' 04,9" 85° 54' 33,4"	Р. Чулым	Вода	Асиновский
5	АСС-65	Каштык	57° 01' 46,5" 86° 11' 16,5"	Р. Чулым	Вода	Асиновский
6	ТОС-1	Боярское	56° 27' 05,0" 84° 55' 05,7"	Р. Томь	Ил	Томский
7	ТОС-3	Песчаное	56° 26' 22,3" 84° 55' 00,5"	Р. Томь	Вода, ил	Томский
8	ТОС-9	Тояново	56° 28' 02,0" 84° 53' 45,1"	Р. Томь	Ил	Томский
9	ТОС-13	Тартма	56° 11' 19,3" 84° 54' 29,9"	Р. Томь	Ил	Томский
10	ТОС-15	Без названия	56° 12' 42,6" 84° 53' 51,0"	Р. Томь	Ил	Томский
11	КОС-1	Без названия	56° 25' 15,8" 83° 53' 59,6"	Р. Обь	Вода	Кожевниковский
12	ЭЫС-13	Старица р. Чети	56° 52' 48,5" 87° 50' 16,1"	Р. Четь	Вода	Зырянский
13	КРС-23	Без названия	57° 08' 15,2" 83° 58' 16,0"	Р. Обь	Вода	Кривошеинский
14	ШЕС-3	Жарково	56° 40' 40,0" 84° 15' 40,2"	Р. Обь	Вода	Шегарский

Содержания основных ионов, определяющих химический тип озерных вод, составляют (мг/л):  $\text{HCO}_3^-$  – 61,0-439,2;  $\text{SO}_4^{2-}$  – 2,0-12,5;  $\text{Cl}^-$  – 4,26-21,30;  $\text{Ca}^{2+}$  – 10,0-92,0;  $\text{Mg}^{2+}$  – 1,22-19,52. Концентрации остальных компонентов в водах низкие (мг/л):  $\text{NO}_3^-$  – 0,13-0,52;  $\text{NO}_2^-$  – не обнаружен;  $\text{CO}_3^{2-}$  – 3,0-6,0 (40% проб);  $\text{Na}^+$  – 1,0-9,1;  $\text{K}^+$  – 0,8-2,6;  $\text{NH}_4^+$  – 0,296-1,159;  $\text{Fe}_{\text{общ.}}$  – 0,31-4,35 (90% проб). Углекислый газ содержится в озерных водах в количестве 3,52-7,04 мг/л (60% проб).

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 градусов по Pt-Co шкале. Содержание  $\text{C}_{\text{орг.}}$  составляет 4,1-18,3 мг/л.

Характер сапропелеобразования и микробиологических процессов 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  $(\text{Na}+\text{K})$  к  $(\text{Ca}+\text{Mg})$  и индекс олиготрофности (отношение численности олиготрофных бактерий к количеству микроорганизмов, растущих на мясо-пептонном агаре) свидетельствуют о принадлежности исследованных озер

Таблица 5

## Химический состав озерных вод

№№ п.п.	Шифр озера	pH	Eh, мВ	Цветность, град. по Pt-Co шкале	Содержание компонентов, мг/л													Fe общ.
					CO <sub>2</sub> своб.	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>		
1	АСС-14	7,06	+86	104,4	7,04	4,26	12,5	0,39	---	97,6	---	2,2	2,6	0,608	20,0	7,32	4,35	
2	АСС-15	8,05	+191	56,2	3,52	5,68	9,5	0,26	---	73,2	---	2,7	0,8	0,505	16,0	4,88	2,54	
3	АСС-26	8,21	+237	32,8	---	4,26	2,5	0,13	---	122,0	6,0	4,7	1,0	0,296	22,0	9,76	---	
4	АСС-48	7,20	+141	83,9	3,52	4,26	11,0	0,39	---	61,0	---	1,0	1,2	1,045	10,0	1,22	2,46	
5	АСС-65	6,88	+171	52,5	3,52	4,26	9,7	0,34	---	97,6	---	2,5	1,5	0,722	10,0	3,66	1,56	
6	ТОС-3	7,27	---	13,9	3,52	7,10	12,5	0,52	---	122,0	---	4,6	2,5	1,159	16,0	3,66	0,51	
7	КОС-1	7,40	-43	46,7	7,04	4,26	4,0	0,13	---	439,2	---	7,9	1,4	0,645	56,0	12,20	0,87	
8	ЗЫС-13	7,76	+190	21,1	---	21,30	10,0	0,13	---	268,4	3,0	4,7	1,2	0,600	72,0	8,54	1,27	
9	КРС-23	7,98	+35	36,5	---	4,26	2,0	0,26	---	402,6	6,0	8,2	1,4	0,361	92,0	19,52	0,31	
10	ШЕС-3	7,65	+169	70,4	---	11,36	10,0	0,52	---	268,4	6,0	9,1	2,5	0,539	66,0	13,42	0,32	

## Окончание таблицы 5

№№ п.п.	Минерализация, мг/л	Общ. жесткость, мг-экв/л	Формула вещества состава воды	Перманганатная окисляемость, мгО <sub>2</sub> /л	ХПК, мгО <sub>2</sub> /л	С <sub>орг</sub> , мг/л
1	151,83	1,6	HCO <sub>3</sub> 81 SO <sub>4</sub> 13 Cl6 Ca57 Mg34 Na5 K4	15,36	49,0	18,3
2	116,06	1,2	HCO <sub>3</sub> 77 SO <sub>4</sub> 13 Cl10 Ca60 Mg30 Na9 K1	11,68	21,5	8,8
3	172,65	1,9	HCO <sub>3</sub> 84 CO <sub>3</sub> 9 Cl5 SO <sub>4</sub> 2 Ca51 Mg38 Na10 K1	7,20	11,0	4,1
4	93,57	0,6	HCO <sub>3</sub> 74 SO <sub>4</sub> 17 Cl9 Ca75 Mg15 Na6 K4	14,70	27,0	10,1
5	131,84	0,8	HCO <sub>3</sub> 83 SO <sub>4</sub> 11 Cl6 Ca53 Mg32 Na12 K3	12,80	16,0	6,0
6	170,55	1,1	HCO <sub>3</sub> 81 SO <sub>4</sub> 11 Cl8 Ca59 Mg22 Na15 K4	16,00	38,0	14,2
7	526,61	3,8	HCO <sub>3</sub> 97 Cl2 SO <sub>4</sub> 1 Ca67 Mg24 Na8 K1	5,36	12,0	4,5
8	391,14	4,3	HCO <sub>3</sub> 83 Cl11 SO <sub>4</sub> 4 CO <sub>2</sub> 2 Ca79 Mg16 Na4 K1	2,00	20,0	7,5
9	536,91	6,2	HCO <sub>3</sub> 97 Cl2 SO <sub>4</sub> 1 Ca70 Mg24 Na6	5,04	22,0	8,2
10	388,16	4,4	HCO <sub>3</sub> 89 Cl7 SO <sub>4</sub> 4 Ca68 Mg23 Na8 K1	9,60	22,5	8,4

Примечание. Анализы выполнены в проблемной гидрогеологической лаборатории Томского политехнического университета

к эвтрофному типу (табл. 6). Правда, четыре озера по некоторым параметрам имеют признаки олиго- и мезотрофности.

Таблица 6

Трофический статус озер

№ № п.п	Шифр озера	Сорг., мг/л	N <sub>общ.</sub> , мг/л	Олиготрофные/ гетеротрофные бактерии, тыс. кл./мл	Индекс олиготроф- ности	Na+K Ca+Mg	Трофический статус озер		
							олиго- трофные	мезо- трофные	эвтроф- ные
1	АСС-14	18,3	0,998	210/510	0,4	0,18			+
2	АСС-15	8,8	0,765	67/370	0,2	0,17			+
3	АСС-26	4,1	0,426	1730/865	2,0	0,18	+	+	+
4	АСС-48	10,1	1,435	42/124	0,3	0,20			+
5	АСС-65	6,0	1,062	378/1005	0,4	0,29			+
6	ТОС-3	14,2	1,679	13,2/27	0,5	0,36		+	+
7	КОС-1	4,5	0,775	336/112	3,0	0,14	+	+	+
8	ЗЫС-13	7,5	0,730	133,5/173,2	0,8	0,07		+	+
9	КРС-23	8,2	0,621	360/1320	0,3	0,09			+
10	ШЕС-3	8,4	1,059	17,6/1320	0,01	0,15			+
Показатели трофического статуса озер									
Сорг., мг/л [13]							1,7-6,0		6,0-13,0
N <sub>общ.</sub> , мг/л [14]							<0,4	0,4-0,6	0,6-1,5
Индекс олиготрофности [15]							>1,0	1,0-0,5	<0,5
(Na+K):(Ca+Mg) [16]							>2,0	2,0-1,2	<1,2

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. 7).

Таблица 7

Уровни гумификации озер

№№ п.п.	Шифр озера	Цветность, град. по Рт-Со шкале	Уровень гумификации озер			
			ультрагумозный	олигогумозный	мезогумозный	полигумозный
1	АСС-14	104,4				+
2	АСС-15	56,2			+	
3	АСС-26	32,8		+		
4	АСС-48	83,9			+	
5	АСС-65	52,5			+	
6	ТОС-3	13,9	+			
7	КОС-1	46,7		+		
8	ЗЫС-13	21,1		+		
9	КРС-23	36,5		+		
10	ШЕС-3	70,4			+	
Нормативная степень цветности воды [17]						
Цветность, град. по Рт-Со шкале			<20	20-50	50-100	>100

Микробиологическими исследованиями установлено, что в озерных водах (табл. 8) доминируют гетеротрофные бактерии, включенные в геохимические циклы углерода, азота и железа. Исключением являются лишь азотфиксирующие бактерии, обнаруженные только в одной пробе воды. Их развитие обусловлено [18,19 и др.] симбиотическими взаимоотношениями с корневой системой водной растительности. Поэтому роль азотфиксирующих микроорганизмов должна быть более значительной в придонных слоях воды зарастающих озер.

Таблица 8

## Состав микрофлоры озерных вод

Состав микрофлоры озера

№№ п.п.	Шифр озера	Количество клеток бактерий в 1 мл воды										нефтеокисля- ющие	целлюлозо- разрушающие
		автохтонные бактерии, растущие на водном агаре	аллохтонные бактерии, растущие на МПА	аммонифици- рующие	нитрифици- рующие	денитрифи- цирующие	азотфикси- рующие	железобактерии					
								гетеротрофные	автотрофные				
1	ACC-14	210 000	510 000	1797	Сотни	Сотни	Не обн.	12 000	Десятки	Десятки	36 500	Десятки	
2	ACC-15	67 000	370 000	1080	Сотни	Сотни	Не обн.	25 000	Не обн.	Не обн.	860	Не обн.	
3	ACC-26	1 730000	865 000	31 700	Тысячи	Тысячи	Не обн.	15 000	Не обн.	Не обн.	13 600	Сотни	
4	ACC-48	42 000	124 000	2635	Десятки	Не обн.	Не обн.	3260	Не обн.	Не обн.	759	Не обн.	
5	ACC-65	378 000	1 00500	Не обн.	Сотни	Сотни	Не обн.	75 000	Не обн.	Не обн.	1075	Не обн.	
6	ТОС-3	13 200	27 000	Не обн.	Единицы	Сотни	Не обн.	880	Не обн.	Не обн.	420	Десятки	
7	КОС-1	336 000	112 000	Не обн.	Тысячи	Сотни	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	2400	Не обн.	
8	ЗЫС-13	133 500	173 200	540	Десятки	Десятки	500	600	Десятки	Десятки	4800	Не обн.	
9	КРС-23	360 000	1 320000	26 000	Тысячи	Десятки	Не обн.	2100	Не обн.	Не обн.	35 200	Не обн.	
10	ШЕС-3	17 600	1 320000	1300	Тысячи	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Десятки	Десятки	1500	Тысячи	



Менее развиты в количественном отношении автотрофные бактерии, такие как нитрифицирующие микроорганизмы и автотрофные штаммы железобактерий. Следует отметить, что последние плохо выявляются [20] при прямом микроскопировании препаратов, полученных путем внесения исследуемых проб в питательные среды.

Доминирующими морфологическими типами микроорганизмов озерных вод являются палочковидные, реже встречаются кокки, спириллы и коринеформные бактерии. Среди микроорганизмов с характерной морфологией выявлены *Leptothrix*, *Beggiatoa*, *Spirillum*, *Mycobacterium*, *Arthrobacter*, *Thiovulum*, *Azotobacter* и *Caulobacter*.

Следует отметить, что между содержанием в водах органического вещества и численностью гетеротрофных бактерий прямой связи не наблюдается. Эти связи обычно нарушаются [6] из-за антагонистических взаимоотношений бактерио-, фито- и зоопланктона. Как показали микроскопические исследования вод, фитопланктон представлен в них жгутиковыми и диатомовыми водорослями, а зоопланктон – инфузориями, дафниями и циклопами.

#### Микрофлора донных отложений

Микробиологическим исследованиям были подвергнуты сапропели органично-глинистого (4 пробы) и торфянистого (1 проба, оз. Песчаное, шифр ТОС-3) видов. Органическое вещество сапропелей, согласно результатам биологических анализов, выполненных Н.А. Антроповой, представлено аморфным детритом, остатками растений и животных, диатомовыми, жгутиковыми, зелеными и десмидиевыми водорослями, пылью растений и спорами водорослей.

Из-за различий физико-химических условий в сапропелях развиваются несколько иные микробные ценозы (табл. 9), нежели в озерных водах. Так, в сапропелях отсутствуют нитрифицирующие микроорганизмы и автотрофные железобактерии. Здесь выявлены сульфатвосстанавливающие бактерии и метанобразующие микроорганизмы, живущие в обедненных кислородом условиях. Наблюдается также снижение роли аллохтонных сапрофитных бактерий и увеличение количества автохтонных микроорганизмов в иловых отложениях по сравнению с водами озер.

Кроме того, донные отложения имеют большую степень бактериальной обсемененности, чем озерные воды. Общее количество клеток бактерий в 1 г сырого ила составляет 6,3-9,5 млн., в то время как в озерных водах лишь 0,04-2,6 млн. в 1 мл воды.

Состав микрофлоры донных отложений озер

Таблица 9

№№ п.п.	Шифр озера	Мощность сапропеля, м	Количество клеток бактерий в 1 г сырого ила									
			автохтонные бактерии, растущие на иловом агаре	аллохтонные бактерии, растущие на МПА	олиготрофные	аммонифицирующие	денитрифицирующие	целлюлозоразрушающие	нефтеокисляющие	сульфатвосстанавливающие	метанобразующие	железобактерии гетеротрофные
1	ТОС-1	0,8	2430000	420000	1800000	200000	Тысячи	Сотни	1100000	Сотни	Сотни	351000
2	ТОС-3	0,4	5000000	80000	1960000	170000	Сотни	Не обн.	910000	Десятки	Сотни	224000
3	ТОС-9	0,2	5700000	294000	1770000	150000	Сотни	Не обн.	185000	Сотни	Сотни	157000
4	ТОС-13	0,3	7340000	270000	1300000	42000	Тысячи	Сотни	100000	Тысячи	Тысячи	420000
5	ТОС-15	0,3	6210000	120000	1250000	37000	Тысячи	Тысячи	147000	Десятки тысяч	Не обн.	120000



## Результаты экспериментальных исследований по вторичному микробиологическому илообразованию

Обычно в озерных илах наблюдается тонкослоистое строение. При этом для каждого из слоев характерен специфический состав микроорганизмов, имеющих различную геохимическую специализацию. В иловых отложениях с глубиной, как правило, слои с водорослями сменяются слоями с железобактериями, затем серобактериями и, наконец, с сульфатредуцирующими микроорганизмами. При формировании илового профиля из-за перемещения микрофлоры по вертикали нередко образуется вторичная микрослоистость [8,12].

Эксперименты Б.В. Перфильева [8] по вторичному микробиологическому илообразованию были воспроизведены нами в лабораторных условиях. С этой целью стеклянные сосуды объемом 250 мл на 1/2 объема заполняли перемешанным илом и доливали в них до краев воду из тех же озер. Содержимое сосудов тщательно перемешивали. После формирования вторичного илового профиля в новообразованных слоях изучали состав микроорганизмов. Микрофлору в жидкой фазе опытов исследовали на покровных стеклах, которые погружали в воду на 24 часа.

После перемешивания в стеклянных сосудах ила с водой произошло разделение твердой фазы опытов по удельной плотности и размерам частиц. Во всех сосудах образовались три визуально отличимых слоя, которые имели практически одинаковую толщину и сходный состав. Верхний слой был представлен аморфным детритом и глинистыми минералами, средний – мелкозернистым песком и среднедисперсным растительным детритом, а нижний – средне-крупнозернистым песком, крупнодисперсным растительным детритом и обломками скелетных остатков организмов.

В течение трех недель на границе раздела воды и ила сформировались еще два слоя (рис.1), которые в дальнейшем практически не изменялись.

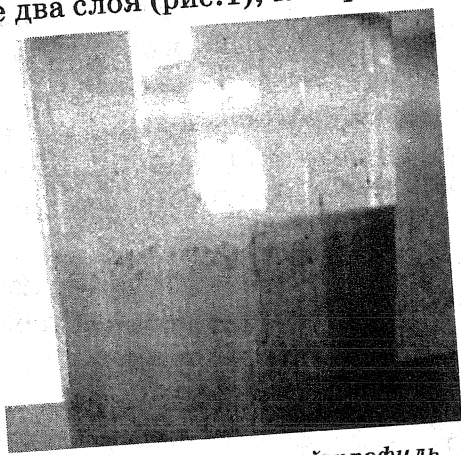


Рис. 1. Вторичный иловый профиль донных отложений озер. Пояснения в тексте



Рис. 2. Микробные пейзажи автотрофных железобактерий на покровных стеклах обрастания суточной экспозиции (оз. Боярское). Увеличение 80х

Непосредственно над илом образовался слой бурого цвета толщиной 7-11 мм, состоящий из гелеподобных, почковидных и гроздьевидных агрегатов (до 2,5 мм) гидроксидов железа. Изредка в этом слое наблюдались округлые выделения гидроксидов марганца. Микробиологическими исследованиями в рассматриваемом слое выявлены автотрофные и гетеротрофные железобактерии.

Пленка гидроксидов железа толщиной до 1-2 мм сформировалась также на контакте воды со стенками сосудов. Здесь наблюдались колонии автотрофных железобактерий лопастной формы размером до 1 мм. Их количество уве-

личивалось к верхнему краю сосудов.

Второй (верхний) новообразованный слой светло-серого цвета мощностью 2-4 мм представлен, как показали результаты микроскопических исследований, остатками фито- и зоопланктона.

В жидких фазах опытов с использованием покровных стекол суточной экспозиции установлены лишь автотрофные железобактерии (рис.2). Метод стекл обрастания позволил выявить значительную роль автотрофных железобактерий в экологии изученных озер, в то время как при посеве на элективные питательные среды их активность была слабой (табл. 8).

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что отложение в озерах гидроксидов железа в значительной степени обусловлено микробиологическими процессами. Другие типы озерных осадков также формируются при участии микроорганизмов, имеющих различную геохимическую специализацию.

### Заклучение

Итак, подытоживая, необходимо сделать следующие выводы:

- изученные сапропелевые озера по целому ряду гидрогеохимических показателей и по микробиологическим данным относятся к эвтрофному типу. В них преобладают процессы накопления органического вещества над его распадом;
- озерные воды и донные отложения характеризуются значительной степенью бактериальной обсемененности. Выявлены микроорганизмы, участвующие в геохимических циклах углерода, азота, железа, серы и других элементов;
- микробиологические процессы интенсивнее протекают в донных отложениях. Здесь более разнообразен состав микрофлоры и значительно выше обшая численность бактерий;
- в озерных водах, наряду с бактериями, присутствует также фито- и зоопланктон, являющийся исходным материалом для образования органической части сапропелей;
- формирование сапропелей в значительной степени обусловлено микробиологическими процессами. Микроорганизмы участвуют в деструкции органической массы озер, растворении кластического материала и образовании вторичных биогенных минералов;
- экспериментальным путем показано, что железистые минеральные новообразования формируются при активном участии автотрофных железобактерий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по разведке озерных месторождений сапропеля РСФСР/ Под ред. Г.Н. Верхоярова, 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.: Гидрометеиздат, 1986.-199 с.

6. Драбкова 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. Микрозональное строение иловых озерных отложений и методы его исследования. - Л.: Наука,1972.-216 с.
9. Бернатонис В.К., Архипов В.С., Голышев С.И. и др. Озерно-болотные отложения Томской области: ресурсы и проблемы использования// Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. - Томск: ГалаПресс,2000.-Т.2.-С.160-161.
10. Романенко В.И., Кузнецов С.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов: Лабораторное руководство. - М.: Наука,1974.-193 с.
11. Методы общей бактериологии/ Под ред. Ф. Герхардта и др. - М.: Мир, 1983.-Т.1.-536 с.
12. Перфильев Б.В., Габе Д.Р. Изучение методом микробного пейзажа бактерий, накапливающих марганец и железо в донных отложениях// Роль микроорганизмов в образовании железо-марганцевых озерных руд. - М.-Л.: Наука,1964.-С.16-53.
13. 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.
14. Forsberg C., Ryding S.O. Eutrophication parametrs and tropic state indices in 30 wastereceiving Swedish Lakes//Archiv Hydrobiol. - 1980.-V.89.-P.189-207.
15. Аристовская Т.В. Микробиология подзолистых почв. - М.-Л.: Наука, 1965.-187 с.
16. Zafar A.A. Taxonomy of lakes//Hydrobiologia. - 1959. - V.13. - №3. - P.287-299.
17. Мязметс А.Х., Румянцева Э.А. Влияние различных факторов на интенсивность антропогенного эвтрофирования озер// Антропогенное воздействие на малые озера. - Л., 1980.-С.120-127.
18. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. - М.: Изд-во АН СССР, 1952.-792 с.
19. Стейниер Р., Эдельберг Э., Ингрэм Дж. Мир микробов. - М.: Мир, 1979.-Т.3.-286 с.
20. Балашова В.В. Микоплазмы и железобактерии. - М.: Наука, 1974.-64 с.

## MICRO FLORA OF SAPROPELIC LAKES IN TOMSK REGION

V.K. Bernatonis, N.A. Trifonova, I.G. Kudashev, P.V. Bernatonis

Micro flora of waters and bottomset beds from sapropelic lakes of Tomsk region has been studied. Micro organisms taking part in geochemical cycles of carbon, nitrogen, iron and sulphur were revealed. Experimental researches on secondary microbiological mud formation have been conducted.