Т. С. Шелехова

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ – ИНДИКАТОРЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ АЦИДОФИКАЦИИ МАЛЫХ ВОДОЕМОВ КАРЕЛИИ

Безымянное озеро, из сплавины которого была пробурена скважина мощностью 600 см, расположено в 6,5 км к северо-востоку от пос. Немино Медвежьегорского р-на (абс. отм. 134,5 м, 62°39′03″ с. ш., 35°31′52″ в. д., рис. 1).

Водоем расположен в пределах развития комплекса флювиогляциальных отложений, представленных на юго-западе озовыми грядами, окруженными болотами. Снизу вверх вскрыты следующие отложения: 600–445 см – алевриты с примазками гидротроиллита, 445–417 см – алевриты с незначительной примесью органики, 417–230 см – сапропель, 230–200 см – торф, выше сильно разжиженный и обводненный.

Диатомовый анализ был выполнен по стандартным методикам (Диатомовые водоросли.., 1974). Экологические характеристики видов получены из различной справочной литературы (Диатомовые водоросли.., 1951; Давыдова, 1985; Mölder, Tynni, 1967–1973; Tynni, 1975–1980). Было исследовано 32 образца с интервалом 10 см. Первые 11 образцов из алевритов, включающих глубины 600–410 см, не содержат ископаемой диатомовой флоры. Она обнаружена лишь выше 410 см в гомогенных сапропелях. Диатомовый комплекс довольно скуден, представлен 16 родами и насчитывает 103 вида и разновидности диатомовой флоры, из которых многие встречаются единично. Класс *Centrophyceae* представлен только родом *Aulacoseira* с двумя видами: *Aulacoseira distans* и *Aulacoseira italica*. Все остальные виды относятся к классу *Pennatophyceae*. Результаты диатомового анализа представлены на диатомовой диаграмме (рис. 2). По составу ископаемой диатомовой флоры выполнены реконструкции теоретических значений pH среды (по: Renberg, Hellberg, 1982) (рис. 3). На основании изменений, происходящих в составе диатомового комплекса данного малого водоема, выделяется пять этапов его развития – диатомовых зон (DZ) (табл. 1).

(Анализ верхней части разреза сильно обводненного торфа не производился, и образцы не отбирались). Во время накопления гомогенных алевритов диатомовая флора не развивалась, а причиной этому могли быть многие факторы, и главные из них – недостаток кислорода и кремнекислоты. Отсутствие диатомовой флоры выше по разрезу в слое алевритов с содержанием органики (445–417 см) может свидетельствовать о холодных климатических условиях и невозможности развития диатомей.

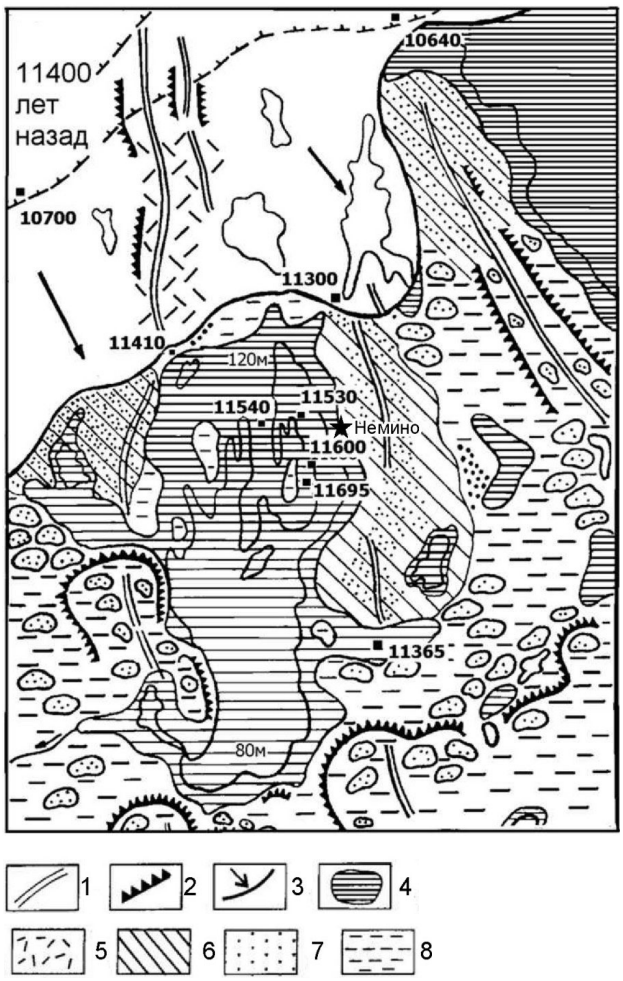

Рис. 1. Дегляциация бассейна Онежского озера 11 400 л. н. (по: Демидов, 2005) и положение изученного разреза:

1 – ледоразделы; 2 – уступы; 3 – край активного ледника и направление движения льда; 4 – водоемы, абс. отм. береговых образований и направление стока; 5 – пассивный ледник; 6 – стагнированная и отделившаяся при ареальной дегляциации ледоразделов часть ледникового покрова; 7 – лед, обогащенный дебрисом подстилающих пород и перекрытый супрагляциальным комплексом осадков; 8 – территории, свободные ото льда. Черными квадратами и цифрами обозначены положение и возраст разрезов озерно-ледниковых и озерных отложений. Звездочкой показано положение изученного разреза

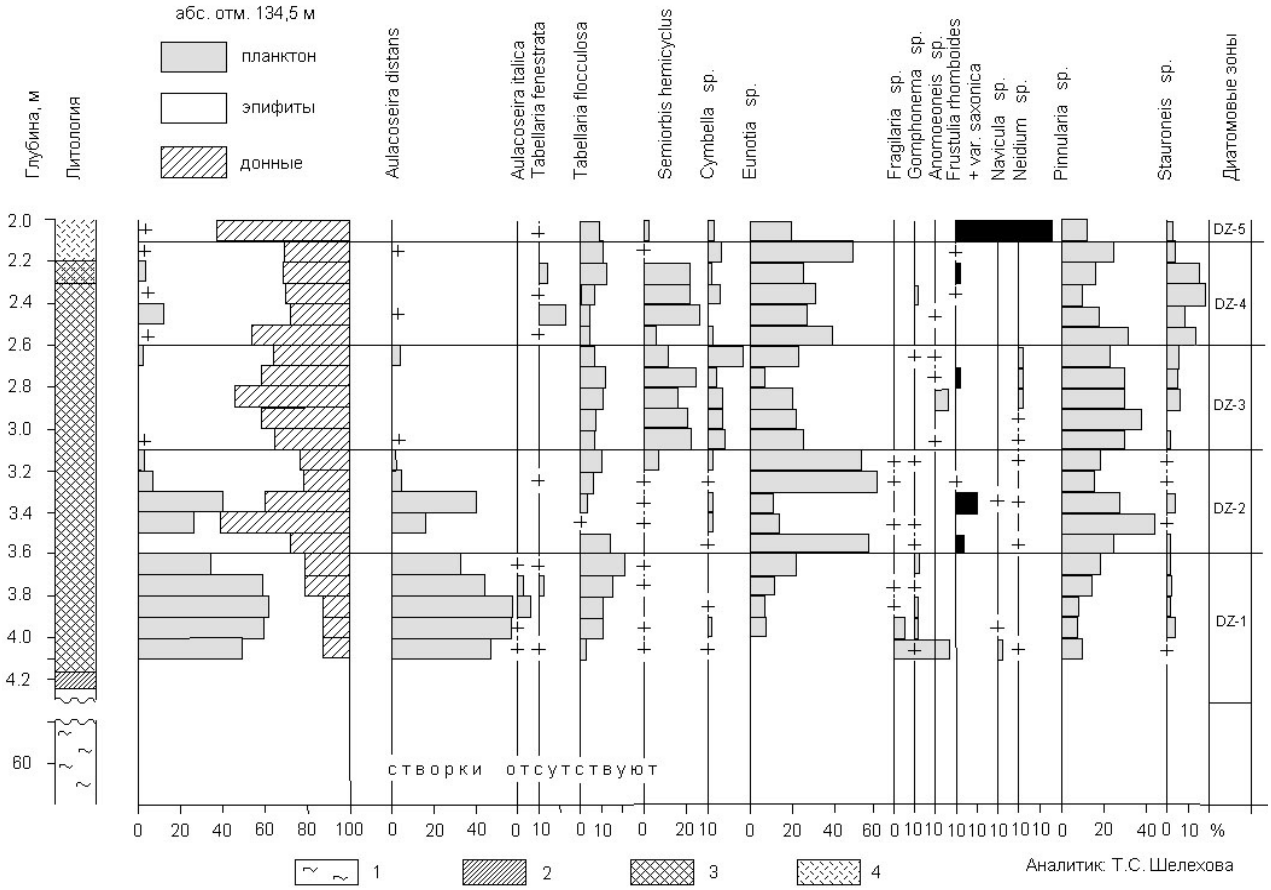

Рис. 2. Диатомовая диаграмма донных отложений разреза «Немино»

1 – алеврит, 2 – органо-минеральный слой, 3 – сапропель, 4 – торф

Таблица 1

Доминирующие комплексы диатомей из донных отложений безымянного озера (разрез «Немино»)

Этап (диатомовая зона)	Глубина, см	Отложения	Доминанты	Субдоминанты	Число видов	Галобность	pH спектр	Геогр. распр.	Численность створок	Колебания уровня
V (DZ 5)	210 и выше	Торф	**Frustulia rhomboids et v. v.,** Eunotia (monodon, paralella, robusta, tenella) Pinnularia (gibba, microstauron, interrupta)	Tabellaria flocculosa, Cymbella, Stauroneis sp.	27	Гб	4,6	A+b	3750 (экз./ преп.)	Снижается
IV (DZ 4)	260–210	Сапропель (с гл. 230 – торф)	Semiorbis hemicyclus, Eunotia (paralella, elegans, bactriana, monodon), **Pinnularia** gibba, macilenta, microstauron, interrupta, rangoonensis	Tabellaria flocculosa Cymbella (ventricosa, hebridica), Stauroneis sp., St. anseps	25–21–30–23–27	Гб	4,9–4,6	A+b	12857–81818	Снижается
III (DZ 3)	310–260	Сапропель	**Semiorbis hemicyclus**, **Eunotia** (monodon, exiqua, bactriana, polygliphis), **Pinnularia** gibba, macilenta, microstauron, interrupta, rangoonensis	Tabellaria flocculosa, Cymbella (ventricosa, hebridica), Stauroneis sp.	23–18–20–22–28?	Гб	4,9–4,7	A+b	33333–47368	Снижается
II (DZ 2)	360–310	Сапропель	Aulacoseira distans, **Eunotia** (polydentula, monodon, faba, robusta), **Pinnularia** (gibba, microstauron, interrupta)	Tabellaria flocculosa, Frustulia rhomboides + var. saxonica	18–22	Инд.+ гб	4,8–5,5	A+b	23684–32142	Снижается
I (DZ 1)	410–360	Сапропель	**Aulacoseira distans**, Tabellaria flocculosa, Eunotia spp. (E. veneris, E. tenella), Fragilaria construens, Pinnularia (gibba, microstauron)	Gomphonema sp., Stauroneis sp.	Снижается с 26 до 20	Инд.+ гб	6,0	A+b	328–45000	Низкий уровень, гл. не более 2–3 м

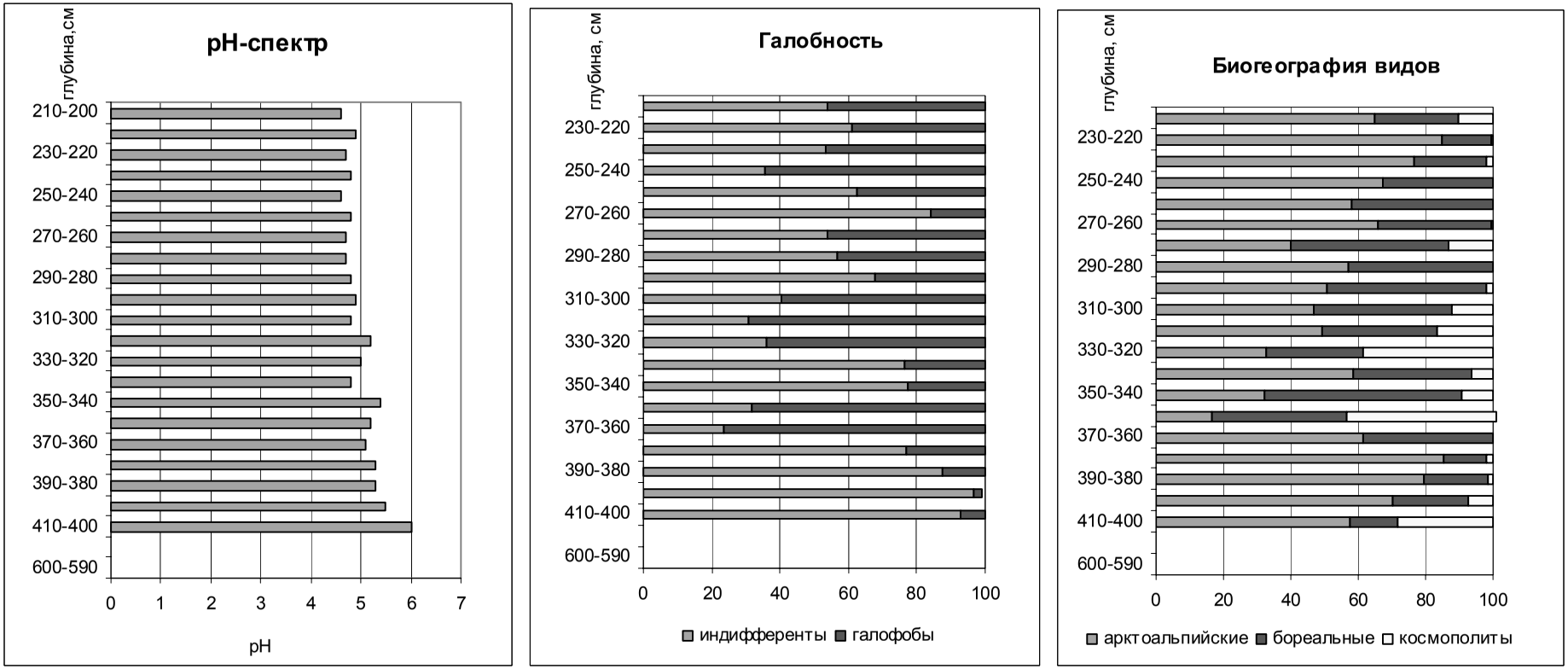

Рис. 3. Эколого-географическая характеристика и pH-спектр озерных отложений разреза «Немино»

На первом этапе (DZ 1, гл. 410–360 см) в диатомовом комплексе преобладали центрические планктонные диатомовые *Aulacoseira distans,* единично присутствовали *A. italica* и «условно планктонный» пеннатный вид *Tabellaria fenestrata*, которые составляли более 60% от общего состава флоры.

Из спектра обрастаний и донных доминировали *Tabellaria flocculosa*, небольшое количество видов родов *Eunotia* и *Pinnularia*, типичных представителей болотной флоры водоемов с кислой реакцией воды (pH < 7). Присутствие на начальной фазе (гл. 410–390 см) пионерных видов *Fragilaria construens, F. construens var. venter,* довольно мелких и угнетенных, указывает на мелководные условия. Среди обрастателей рода *Eunotia* преобладали *Eunotia veneris, E. tenella, E. polyglyphis, E. polydentula* – типичные представители мелководных дистрофных водоемов. Донные формы рода *Pinnularia* представлены *Pinnularia gibba et var. var., P. microstauron, P. interrupta.* Мелкие формы *Gomphonema* sp. – обрастатели мелководий не превышают 2%. Примерно такое же содержание донных видов рода *Stauroneis* (*S. anseps, S. phoenicenteron*). Единично встречающиеся диатомеи на диаграмме указаны знаком «+». Необходимо отметить очень плохую сохранность флоры, большое количество корродированных и разрушенных створок, что можно объяснить неблагоприятными условиями их захоронения, а возможно, и переотложением. Кроме диатомей встречены спонгии губок *Ephidatia muellery* (Lub.), водоросли *Pediastrum duplex* Meyen, *P. integrum* Näg*, P. boryanum* (Turp.), Menegh., *P. duplex var. subgranulatum* (Racib.).

II этап (DZ 2, гл. 360–310 см). Состав диатомового комплекса сапропелей меняется. Соотношение планктонных и донных форм очень неустойчиво. *Aulacoseira distans* постепенно вытесняются донными *Pinnularia* и обрастателями *Eunotia*, и к концу этапа планктонные встречаются лишь единично. Кроме этого, резко снижается участие мелких литоральных форм *Fragilaria* sp., с 28% до единичных экземпляров. В группе донных появляется *Frustulia rhomboides* – 9%, массовое развитие которой происходит при pH 5,5. Все это говорит о том, что уровень водоема снизился, литоральная зона, где могли обитать виды рода *Fragilaria*, сократилась или практически исчезла. В группе обрастателей рода *Eunotia* появились новые виды: *E. monodon, E. faba, E. polygliphis*. Состав донных *Pinnularia* также изменился. Кроме *P. gibba,* преобладавших на первом этапе, к группе доминант присоединились *P. interrupta, P. microstauron*.

III этап (DZ 3, гл. 310–260 см). Из состава диатомового спектра полностью исчезают планктонные *Aulacoseira distans, Tabellaria fenestrata*, следовательно, снижение уровня водоема продолжается. Появляются абсолютные ацидобионты *Semiorbis hemicyclus* (до 20%), обитающие при pH < 5. Они вытеснили виды рода *Eunotia,* доля которых сократилась с 60 до 22%. Это лишь подтверждает процесс дальнейшей дистрофикации данного малого водоема. Состав видов *Eunotia* также несколько меняется: кроме преобладавших ранее *E. monodon, E. polygliphis* в спектре доминант появились *E. exigua, E. bactriana*. Среди *Pinnularia* к прежним доминантам *P. interrupta, P. microstauron* присоединились *Pinnularia rangoonensis, P. gibba*, заметно возросла доля донных *Stauroneis* sp. В данное время pH снижается до значений меньше 5 (рис. 3). Заметно возрастает численность створок (рис. 4).

IV этап (DZ 4, гл. 260–210 см) – продолжение накопления сапропелей (гл. 260–230 см), переходящих в торф. В диатомовом сообществе этой зоны вновь происходят заметные изменения. Хотя попрежнему господствуют обрастатели и донные диатомеи, виды родов *Eunotia, Semiorbis hemicyclus* и *Pinnularia*, но состав видов рода *Eunotia* продолжает меняться, что хорошо видно из табл. 1. Доминируют *Eunotia paralella, E. elegans, E. bactriana, E. monodon*. Заметно увеличение с 8 до 18% доли *Stauroneis*, особенно *S. krygery*. Реконструированные значения pH изменяются от 4,9 до 4,6. В этот период численность створок максимальна.

V этап начинается с гл. 210 см, когда шло отложение торфа. Диатомовый комплекс отличается резким снижением численного содержания обрастателей *Eunotia* с 50 до 20%, но возрастанием их видового разнообразия. Так же резко, с 22 до 2%, сокращается участие ацидобионтов *Semiorbis hemicyclus*, характерных для кислых дистрофных озер. Данное сообщество сменяет ацидофил и кальцефил *Frustulia rhomboides*, составляя примерно половину всего комплекса. Увеличение роли кальцефилов практически во всех малых водоемах Карелии происходит в связи с похолоданием и сухостью климата и снижением увлажненности, что характерно для суббореального времени. Необходимо отметить появление редкого вида *Actinella punctata Lewis*, ацидобионта, обитающего в северных дистрофных и заболачивающихся горных водоемах, впервые обнаруженного в Карелии на склоне и вершине горы Нуорунен (Шелехова, 1993).

Состав диатомового комплекса данного малого водоема отличается низким видовым разнообразием. В систематическом списке насчитывается 103 вида и разновидности диатомовой флоры (табл. 2). Из них выделены 23 вида, развивающиеся только в условиях кислой среды при низких значениях pH и являющиеся индикаторами ацидофикации. (В списке они отмечены жирным шрифтом.) По мере закисления, зарастания и заторфовывания водоема число видов уменьшается, хотя численность створок довольно высокая.

Таблица 2

Систематический список диатомовых водорослей донных отложений разреза «Немино»

№ п/п	Вид	Отношение к pH	Галобность	Биогеография	Глубина, см																				
					410–400	400–390	390–380	380–370	370–360	360–350	350–340	340–330	330–320	320–310	310–300	300–290	290–280	280–270	270–260	260–250	250–240	240–230	230–220	220–210	210–200
1	**Actinella punctata Lewis**	**acb**	**hb**	**a**																					1
2	Anomoeoneis serians (Breb.) Cl.	acb	hb	a											2		14								
3	Anomoeoneis serians var. brachysira (Breb.) Hust.	acb	hb	a								1						1	1		1				1
4	Aulacoseira distans et var. var. (Ehr.) Kutz.	acf	ind	a	116	144	144	112	80		40	102	13		3				9		1			1	
5	Aulacoseira italica et var. var. (Ehr.) Kutz	alkf	ind	k	2	2	15	5	1																
6	Cymbella angustata (W. Sm.) Cl.	ind	ind	b																		1			
7	Cymbella cesatii (Rabenh.) Grun.	ind	ind	a	1								2	4	18	13	15	7	15	4		4		10	5
8	**Cymbella gaeumannii Meist.**	**acf**	**ind**	**a**								8		1	1		1	4	28			2	1		
9	Cymbella gracilis (Rabenh.) Cl.	acf	ind	a		1	2			1	8		2			4	1		1					2	
10	Cymbella hebridica (Greg.) Grun.	acf	hb	a	1	2																4	4		5
11	Cymbella prostrata (Berkeley) Cl.	alkf	ind	k		3																			
12	Cymbella reinhardtii Grun.	ind																		1					
13	Cymbella sp.				2						1													3	
14	Cymbella ventricosa Kutz.	ind	ind	k																		5	1		1
15	Eunotia arcus var. fallax Grun.	acf	hb	k																				1	
16	**Eunotia bactriana Ehr.**	**acf**	**ind**	**a**									1			1				10	30	15	26	11	3
17	**Eunotia bidentula W.Sm.**	**acb**	**ind**	**a**													1		1						
18	**Eunotia elegans Ostr.**	**acf**	**ind**	**a**																		21	1		
19	**Eunotia exiqua (Breb.) Rabenh.**	**acb**	**ind**	**a**																2				2	
20	**Eunotia exiqua var. compacta Hust.**	**acb**	**ind**	**a**									3	5	5	3				6					
21	**Eunotia faba(Her.)Grun.**	**acf**	**hb**	**a**	2		1			25		1								1					
22	Eunotia fallax	acf	hb	k																				23	3
23	Eunotia formica Ehr.	ind	hb	k		1																			
24	Eunotia gracilis (Her.) Rabenh.	ind						1				1													
25	Eunotia gracilis var. fennoscandica (A. Cl.)	acf	ind	a																1					
26	Eunotia lapponica Grun.	acf	ind	a																		1			
27	Eunotia lunaris (Ehr.) Grun.	ind	ind	a			1							1											
28	**Eunotia monodon Ehr.**	**acf**	**ind**	**a**				1	1	105	23	11	93	40	31	38	41	33	33	15	6	11	1	4	9
29	**Eunotia paralella Ehr.**	**acf**	**ind**	**a**																48	26	19	20	23	11
30	**Eunotia pectinalis (Dillw?Kutz.) Rabenh.**	**acf**	**ind**	**k**				2					1												
31	Eunotia pectinalis var. minor f. impressa (Dillw?Kutz.)	acf	ind	k				2																	
32	**Eunotia polydentula Brun.**	**acf**	**hb**	**k**	2					1		6													
33	**Eunotia polyglyphis Grun.**	**acf**	**hb**	**a**	3								44	89	28	12	10	5	8	8				23	1
34	Eunotia praerupra Ehr.	acf	hb	b				2					1												
35	Eunotia praerupra var.bidens (W. Sm.) Grün.	acf	hb	b		2	1	5	6																
36	Eunotia robusta Ralfs	acf	ind	a			2				6	1	8	1	1	3		4	4	7	4	2	4	12	8
37	Eunotia robusta var. diadema	acf	ind	a			1		9	8	2	7	5		1	3	1	2				2		6	

Продолжение табл. 2

№ п/п	Вид	Отношение к pH	Галобность	Биогеография	Глубина, см																				
					410–400	400–390	390–380	380–370	370–360	360–350	350–340	340–330	330–320	320–310	310–300	300–290	290–280	280–270	270–260	260–250	250–240	240–230	230–220	220–210	210–200
38	Eunotia robusta var. tetraodon (Ehr.) Ralfs.	acf	ind	a		1																			
39	Eunotia sudetica O. Müll.	acf	hb	a						3															
40	**Eunotia tenella Grun. Hust.**	**acf**	**hb**	**a**			1	6	23										10	2		5	4	18	12
41	**Eunotia triodon Ehr.**	**acf**	**hb**	**a**														1		1	2	3			1
42	**Eunotia veneris (Kutz.) O. Mull.**	**acf**	**ind**	**a**	10	17	13	11	19	3	4	1						3	5		2		8	3	4
43	Eunotia sp.				2										1								1		
44	Fragilaria brevistriata Grun.	alkf	ind	k	1																				
45	Fragilaria construens Ehr. Grun.	alkf	ind	k	62		1				1		1	1											
46	Fragilaria construens var. venter (Her.) Grun.	alkf	ind	k	4	15	3	1																	
47	**Frustulia rhomboides (Ehr.) D. T.**	**acf**	**hb**	**a**							3	13	4					5			1	2	8		
48	**Frustulia rhomboides var. saxonica (Rabenh.) D. T.**	**acf**	**hb**	**a**							7	10												3	116
49	Gomphonema acuminatum var. brebissonii (Kutz.) Cl.	alkf	ind	b			1																		
50	Gomphonema constrictum Ehr.	ind	ind	b					4																
51	Gomphonema gracile Ehr.	ind	ind	b		2				1									1			5			
52	Gomphonema gracile var. lanceolata Kutz.	ind																				1			
53	Gomphonema intricatum var. dichotoma (Kütz.) Grun.	ind	ind	b				3																	
54	Gomphonema lagerheimii A. Cl.		ind	a	1																				
55	Gomphonema longiceps var. montana (Schum.) Cl.	ind	ind	b		1																			
56	Gomphonema longiceps var. montana f. suecica	ind	ind	b		1			1																
57	Gomphonema sp.	ind				1	5	1	2		2			1											
58	Navicula bacillum Ehr.	acf	hb	b		1																			
59	Navicula laterostrata Hust.	alkf	ind	b	5																				
60	Navicula radiosa var. tenella (Breb.) Grün.	ind	ind	b								1							1						
61	Neidium dubium (Ehr.) Cl.	ind	ind	b												3									
62	Neidium iridis var. var. (Ehr.) Cl.	acf	b	b										2											
63	Neidium sp.						2																		
64	Neidiun affine (Ehr.) Cl.	alkf	ind	b						1	13	3			1		5	2	3						
65	Neidium iridis (Ehr.) Cl.	ind	hb	b							2							3							
66	Neidiun iridis var. amphigomphus (Ehr.) V. H.	acf	hb	b							9						3		4						
67	Neidium productum (W. Sm.) Cl.	acf	ind	b											1										
68	Nitzschia sp.	alkf					2																		
69	Opephora martyi Herib.	alkf	ind	k																					
70	Pinnularia appendiculata (Ag.) Cl.	ind												5											
71	Pinnularia brevicostata Cl.	ind	ind	a				2	15	13															
72	Pinnularia brevicostata f. cruciata Cl.	ind		a			3																		
73	Pinnularia dactylus Ehr.	acf	ind	b													1	2							1
74	Pinnularia distinquenda (Cl.)	alkf	hl	a	1	2																			

75	Pinnularia divergentes W. Sm.	acf	hb	a							1														
76	Pinnularia gibba Ehr.	acf	ind	b		7	10	16	13	16	6	6	4	17	11	29	7	3	4	33	11	10	17	23	7
77	Pinnularia gibba var. linearis Hust.	acf	ind	b	10	2		12	13	9	19	2	4	4	14	4	8	10	1		4	2			
78	Pinnularia gibba var. subundulata A. Mayer	ind																							1
79	Pinnularia hemiptera (Kutz.) Cl.	ind	ind	b			1	1																	
80	**Pinnularia interrupta W. Sm.**	**acf**	**ind**	**b**	6	2	7	5	2	3	49	62	17	7	5	11	11	18	20	7	3	1	1	7	7
81	Pinnularia interrupta var. minutissima Hust.	acf	ind	b							1														
82	Pinnularia karelica Cl.	ind	ind	b							1														
83	**Pinnularia macilenta (Ehr.) Cl.**	**acf**	**ind**	**b**																12	4	2	3	2	
84	Pinnularia major Kutz.Cl.	ind																		7				4	
85	Pinnularia mesolepta (Ehr.) W. Sm.	ind									2	1													
86	Pinnularia mesolepta f. angusta (Cl.)	ind?	ind	b										1											
87	Pinnularia microstauron (Ehr.) Cl.	ind	ind	b					4	19	32	1	16	8	13	24	12	17	8	11	14	5	12	24	10
88	**Pinnularia rangoonensis (Grun.) Cl.**	**acf**	**ind**	**b**										1	30	27	34	24	26	12	10	5	7	3	7
89	Pinnularia ruttnery var. paludosa Hust.	acf				2																			
90	Pinnularia streptoraphe Cl.	acf	ind	k	1																				
91	Pinnularia subcapitata Greg.	acf											1												
92	Pinnularia viridis (Nitsch.) Ehr.	acf	hb	b	1										4										
93	Pinnularia viridis var fallax Cl.	acf	hb	b				2																	
94	Pinnularia sp.				5	4				4				2											
95	**Semiorbis hemicyclus (Ehr.) Patr.**	**acb**	**hb**	**a**	2	1		2	1		2	1	1	18	56	53	42	59	33	15	69	55	55	4	7
96	Stauroneis acuta W. Sm.	alkf									2														
97	Stauroneis anseps (Ehr.)	ind	ind	b	1	4	6	7	4		1			4	1	1			1	4	2	11	5		
98	Stauroneis anseps f. linearis (Ehr.) Cl.	ind	ind	b								1										4			
99	**Stauroneis krygery Patrick.**	**acb**		**k**				1		1	7				6		17	11	17	25	20	33	26	12	9
100	Stauroneis phoenicenteron Ehr.	ind	ind	b	3	5	2	8	2		1	3	11	11	2	6	1	7	1	4			1		
101	Stauroneis sp.					1				5															
102	Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kutz.	acf	hb	b	3			6	3				4							2	31	4	11		4
103	Tabellaria flocculosa (Roth.) Kutz.	acf	hb	b	5	25	27	35	49	33	7	8	14	24	14	16	26	28	14	12	11	16	33	27	20
	Итого створок				252	250	251	249	252	251	252	251	250	247	249	251	251	249	249	250	252	251	250	251	254

П р и м е ч а н и е . acf – ацидофилы; acb – ацидобионты; ind – индифференты; a – арктоальпийские; b – бореальные; k – космополиты; hb – галофобы; hl – галофилы.

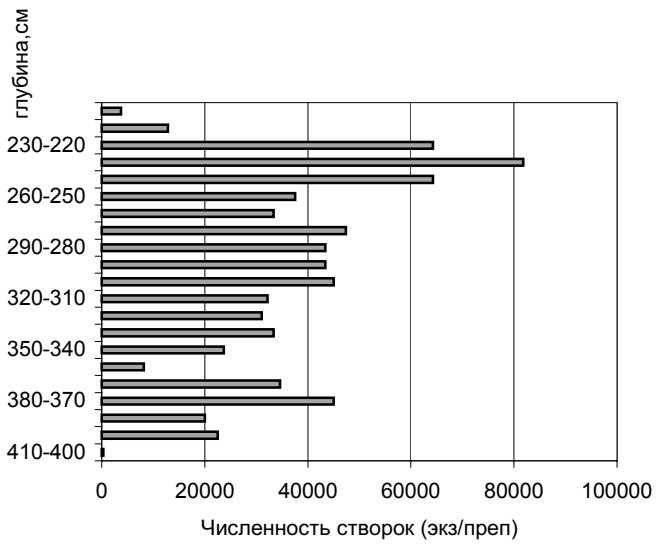

Рис. 4. Численность створок диатомей в донных отложениях разреза «Немино»

Тенденция к развитию процесса закисления озера по диатомовой флоре выявляется на ранних этапах существования его как самостоятельного мелкого водоема, начиная с бореального времени, когда на водоразделах уже была развита растительность и в водоем начали поступать болотные кислые воды, что происходит, вероятно, и сейчас. Об этом свидетельствует низкое видовое разнообразие диатомовой флоры, наличие патологичных форм, указывающих на неблагоприятные условия их существования, полное господство ацидофильных и ацидобионтных видов. Этот тренд к закислению подтверждают реконструированные по составу диатомовой флоры изменения теоретических значений pH воды. Как видно из полученных данных, процесс закисления водоема в естественных условиях происходит постепенно в течение голоцена.

Таким образом, по изменениям, происходящим в составе диатомовой флоры в толще сапропелей, выделено пять этапов развития водоема и прослежен естественный процесс его динамики от зарождения до начала зарастания.

ЛИТЕРАТУРА

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли – индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л., 1985. 243 с.

Демидов И. Н. Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск, 2005. С. 134–142.

Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Т. 1. Л., 1974. 403 с.

Диатомовые водоросли. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. М., 1951. 619 с.

Шелехова Т. С. Этапы развития малых озер северо-западной Карелии в голоцене по данным диатомового анализа (на примере озер горы Нуорунен) // Вопросы геологии докембрия Карелии. Петрозаводск, 1993. С. 160–181.

Renberg I., Hellberg T. The pH history of Lakes in Southwestern Sweden, as calculated from subfossil diatom flora of the sediments // Ambio. 1982. Vol. 11, N 1. P. 30–33.

Mölder K., Tynni R. Über Finlands rezente und subfossile Diatomeen. I–VII // Bull. Geol. Soc. Finland. 1967. Bull. 39. P. 199–217; 1968. Bull. 40. P. 151–170; 1969. Bull. 41. P. 235–251; 1970. Bull. 42. P. 129–144; 1971. Bull. 43. P. 203–220; 1972. Bull. 44. P. 141–149; 1973. Bull. 45. P. 159–179.

Tynni R. Über Finlands rezente und subfossile Diatomeen. VIII–XI // Geol. Surv. Finland. 1975. Bull. 274. P. 1–55; 1976. Bull. 284. P. 1–37; 1978. Bull. 296. P. 1–55. 1980. Bull. 312. P. 1–93.