

УДК 582.2:581.9 (571.6)

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА И МИКРОФИТОБЕНТОСА СЕВЕРНЫХ ВОДОЕМОВ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

© 2006 Л.А. Щур

Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

Водоросли северных водоемов, расположенных в районе Ванкорского нефтяного месторождения, северной трассы нефтепровода и морского нефтеотгрузочного терминала, представлены 232 внутривидовыми и видовыми таксонами из 7 отделов (фитопланктон - 149 таксонов из 7 отделов; микрофитобентос - 138 таксонов из 5 отделов). Значения биомассы фитопланктона составляли в Енисее  $0,59 \pm 0,07$ , в левобережных притоках -  $0,23 \pm 0,04$ , правобережных -  $0,11 \pm 0,02$  мг/л.; микрофитобентоса: в правобережных притоках -  $30 \pm 5$ , Енисее -  $10 \pm 7$ , левобережных притоках -  $9 \pm 3$  мг/10 см<sup>2</sup>. По среднему значению индекса сапробности фитопланктона ( $2,06 \pm 0,07$ ) и микрофитобентоса ( $1,76 \pm 0,08$ ) качество воды водоемов можно оценить следующим образом: 3 класс качества воды, удовлетворительной чистоты,  $\beta$ -мезосапробная зона. Биомасса фитопланктона ( $0,25 \pm 0,04$  мг/л) определяет трофическое состояние водоемов мезотрофным классом полярного ряда, биомасса фитопланктона Нижнего Енисея ( $0,59 \pm 0,07$  мг/л) - евтрофный водоем полярного ряда, значение биомассы микрофитобентоса ( $15 \pm 5$  мг/10 см<sup>2</sup>) - политрофный класс полярного ряда.

### Введение

В настоящее время информация о современном состоянии биоресурсов многочисленных водоемов севера Восточной Сибири крайне скудна, либо отсутствует вовсе, но такую информацию для объективной оценки последствий антропогенного воздействия на водные биоценозы необходимо иметь. В Заполярье, на восточной окраине Западно-Сибирской низменности в бассейне Нижнего Енисея (северо-западная часть Туруханского района), находится Ванкорское нефтяное месторождение. Для освоения месторождения предполагается строительство северной трассы нефтепровода и морского нефтеотгрузочного терминала. Это район многолетней мерзлоты. Климат здесь континентальный, продолжительность периода с температурой ниже 0°C составляет 215 дней, а выше 10°C – только 80. Из-за низких температур воды самоочищающая способность водоемов Восточной Сибири и Севера понижена. Влияние антропогенных факторов может привести к сильно выраженным, длительным, негативным процессам. Тем более что водоемы, находящиеся в данном районе, заселены высокоценными в хозяйственном отношении

рыбами - представителями семейств сиговых и лососевых. Например, р. Бол. Хета, согласно данным управления «Енисейрыбвода», является рекой высшей категории рыбохозяйственного значения.

В данной работе приводятся результаты исследования таксономического состава и количественных характеристик водорослей планктона и бентоса в водоемах различного происхождения, расположенных в районе Ванкорского нефтяного месторождения.

### Материал и методика

Исследования проводили в июле-августе 2005 г. В левобережной придаточной системе Енисея (табл. 1) пробы отбирались в реках Бол. и Мал. Хета, их притоках, пойменном оз. Соленом (пойма р. Соленой) и термокарстовом озере оз. Делингдэ, которое имеет связь с р. Енисей через р. Делингдэ. Левобережные притоки р. Енисей протекают по Западно-Сибирской низменности, отличаются извилистостью, медленным течением, развитой поймой и многочисленными старицами и озерами. Правый берег р. Енисей проходит по Среднесибирскому плоскогорью. Здесь объектами исследования являлись реки,

впадающие в бухту Слободскую Енисейского залива. Река Глубокая имеет извилистое русло, ее пойма заболоченная, правый берег крутой, левый пологий. В реках Дудинка и Косая дно каменистое, русло изобилует перекастами. Озера этого района термокарстовые по происхождению, небольшие, бессточные, со

средней глубиной 3-16 м, с песчаными, каменистыми или заиленными грунтами. Среди притоков выделены крупные реки (длиной более 100 км), средние (50-100 км), малые реки и ручьи (до 50 км) (табл. 1). Количество отбираемых проб составляло от 2 до 6 в каждом озере и притоке.

**Таблица 1.** Исследованные реки и озера, количество видов и внутривидовых таксонов, встреченных в отдельных пробах (n) фитопланктона (Ф) и микрофитобентоса (Мфб), температура поверхностного слоя воды (t, °C)

Группы водных экосистем	Названия рек и озер	n		t, °C
		Ф	Мфб	
р. Енисей	р. Енисей	18-28	6-22	9,4-16,8
Правобережные озера притоки р. Енисей				
Крупные реки	р. Глубокая	14-19	-	14,6
	р. Зырянка	15-20	-	14,8
	р. Дудинка	12-19	11-17	14,5
Малые реки	р. Косая	14-17	23-25	14,0
	ручей у мыса Гороховый	-	20-23	13,1
Карстовые озера	озеро № 1 в районе г. Дудинки	14-18	12-17	14,2
	озеро № 2 в районе г. Дудинки	19-24	25-29	14,5
Левобережные озера притоки р. Енисей				
Крупные реки	р. Мал. Хета	17-21	10-18	16,3
	р. Бол. Хета	24-30	12-26	15,8
	р. Лодочная	21-24	-	15,9
Малые реки	р. Дэлингдэ	14-18	17-24	16,0
	р. Соленая	12-21	13-22	16,4
	руч. Холодный	-	14-18	12,9
Карстовое озеро	оз. Делингдэ	11-22	13-17	16,0
Пойменное озеро	оз. Соленое	11-15	-	16,3

Отбор проб фитопланктона проводили в подповерхностном слое воды, концентрирование – фильтрационным методом на мембранные фильтры Владипор № 9 (диаметр пор 0,90 мкм) [20]. Пробы донных группировок водорослей (микрофитобентос), обитающих на дне (валуны, булыжник, галька, песок, ил), отбирали в трех повторностях с площади 16 см<sup>2</sup> и глубины 0,2-0,6 м [18, 19]. Подсчет численности водорослей проводили в камере Нажотта в микроскопе Peraval при общем увеличении Н400, для мелких форм – Н1000 при использовании фазово-контрастной приставки. Биомасса рассчитывалась по среднему объему близких геометрических тел.

Значение отдельных видов в формирова-

нии водорослевого сообщества рассчитывали по частоте встречаемости [5, 16]. Степень сложности водорослевых сообществ определялась по индексу Шеннона ( $H_b$ ), рассчитанному по биомассе; степень флористического сходства ценозов определяли по Соренсену ( $KFC = 2c/(a+b)$ , где  $a$  – число видов на участке  $A$ ,  $b$  – число видов на участке  $B$ ,  $c$  – число общих видов [20].

Качество воды и категорию трофического состояния рек и озер оценивали по качественным и количественным характеристикам фитопланктона и микрофитобентоса, вычисляя индексы сапробности по индикаторным видам [2, 4, 10, 14, 21, 22, 24].

## Результаты исследования

Фитопланктон и микрофитобентос северных водоемов и водотоков Красноярского края представлен 232 внутривидовыми и видовыми таксонами водорослей из 7 отделов: сине-зеленых – 53, эвгленовых – 1, динофитовых – 3, криптофитовых – 7, хризофитовых – 9, диатомовых – 75 и зеленых – 84 таксона (табл. 2). Степень флористического сходства фитопланктона и микрофитобентоса имела низкое значение (0,42).

Большинство водорослей являются космополитами. Отмечено присутствие видов североальпийского ареала: *Anabaena jacutica* Kissel., *A. sedovii* Kossinsk., *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *A. subarctica* (O. Müller.) Haworth, *Cymbella heteropleura* (Ehr.) Kutz., *Tabellaria flocculosa* (Roth) Kutz. Из таксонов бореального ареала: *A. angustumalis* Schmidle, *Cocconeis placentula* Ehr., *C. cistula* (Ehr.) Kirch., *Didymosphaenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, *Diploneis parma* Cl., *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh., *Navicula radiosa* Kutz., *Ulothrix zonata* Kutz.

По видовому богатству выделяются 3 рода: *Anabaena* (14), *Oscillatoria* (10) и *Aulacoseira* (7 таксонов рангом ниже рода).

Из рода *Anabaena* встречены следующие представители: *A. affinis* Lemm., *A. angustumalis* Schmidle, *A. circinalis* (Kutz.) Hansg., *A. constricta* (Szaf.) Geitl., *A. contorta* Bachm., *A. inaequalis* (Kutz.) Born. et Flah., *A. jacutica* Kissel., *A. lemmermanii* P. Richt., *A. Sedovii* Kossinsk., *A. spiroides* Kleb., *A. tenericaulis* Nygaard, *A. variabilis* Kutz., *A. verrucosa* B. Peters. Apud Skuja, *A. viguieri* Denis et Fremy.

Из рода *Oscillatoria*: *Os. amphibia* Ag., *Os. chalybea* (Mert.) Gom., *Os. geminata* (Menegh.) Gom., *Os. granulata* Gardner, *Os. granulata* f. *sibirica* (Popova) V. Poljansk., *Os. irrigua* (Kutz.) Gom., *Os. lacustris* (Kleb.) Geitl., *Os. limnetica* Lemm., *Os. planktonica* Wolosz., *Os. princeps* Vauch.

Род *Aulacoseira* представляли: *A. distans* (Ehr.) Sim., *A. granulata* (Ehr.) Sim., *A. granulata* var. *angustissima* (O. Müller) Simonsen, *A. islandica* (O. Müll.) Sim., *A. italica* (Kutz.) Simon., *A. italica* var. *tenuissima* (Grun.) Simon., *A. subarctica*.

**Фитопланктон** представлен 149 внутривидовыми и видовыми таксонами из 7 отделов. Наибольшим видовым разнообразием выделяются сине-зеленые (35 видов, разновидностей и форм), диатомовые (45) и зеленые (52) водоросли, меньшим – эвгленовые – 1, динофитовые – 3, криптофитовые – 4, хризофитовые – 9 таксонов (табл. 2). В левобережных притоках определено 13 видов рода *Anabaena*, 3 вида рода *Oscillatoria* и 5 таксонов рангом ниже рода *Aulacoseira*, в правобережных – 3 вида рода *Anabaena*, 2 вида рода *Oscillatoria* и 4 вида и разновидности рода *Aulacoseira*. В р. Делингдэ выявлена спорообразующая *A. islandica* (O. Müll.) Sim. На настоящее время имеется всего несколько находок этой водоросли [2, 3, 7, 23].

Общее число видов и внутривидовых таксонов водорослей в планктоне р. Енисей составляло 58, в левобережных притоках – 113, в правобережных – 51. Наибольшее их количество отмечается в водных системах левобережья р. Енисей – в крупных притоках в целом (80), р. Бол. Хета (61), оз. Делингдэ (39). Повышенным богатством видов отличались отдельные станции отбора проб в рр. Соленая, Мал. Хета, Бол. Хета (21-30), оз. Делингдэ (22), а также в р. Енисей (21-28).

Коэффициент флористического сходства (КФС) между левобережными и правобережными притоками составлял 0,45. КФС между левобережными и правобережными притоками и р. Енисей составляли 0,38 и 0,50 соответственно.

По частоте встречаемости (более 50%) выделяется 26 видов водорослей, из них в левых притоках – 18, правых – 14, р. Енисей – 10. Общими из наиболее часто встречаемых были: *A. spiroides*, *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Synedra acus* Kutz., *Ankistrodesmus pseudomirabilis* Korsch., *Rhodomonas pusilla* (Bachm.) Javorn. var. *pusilla*. Данные виды широко распространены, относятся к космополитам, имеют показатель сапробности от 0-β-мезосапробного до – α-β-мезосапробного, что указывает на загрязнение рек и озер органическими веществами различного происхождения и продуктами их распада. Присутствие таких водорослей в Ени-

**Таблица 2.** Число видов, разновидностей и форм водорослей в планктоне (Ф) и микрофитобентосе (Мфб) в исследуемых группах водных экосистем

Основные группы Водорослей	Правобережные притоки						Левобережные притоки						Всего		Общее количество			
	Карстовые озера			Крупные реки			Малые реки			Карстовое озеро						Пойменное озеро		
	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб		Ф	Мфб	
Отдел Суапорфyta:	5	7	4	4	8	-	13	4	25	9	6	9	2	1	-	35	23	53
Класс Chlorococcophyceae	4	-	2	1	3	-	3	-	7	2	-	2	-	1	-	8	3	8
Класс Nostocionophyceae	1	7	2	3	5	-	10	4	18	7	6	7	2	-	27	20	45	
Отдел Euglenophyta	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Отдел Dinophyta	-	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	2	-	-	-	3	-	3
Отдел Sauriophyta	1	1	1	-	1	1	2	-	3	-	1	2	-	1	-	4	3	7
Отдел Snuysophyta	2	-	3	1	3	-	1	-	5	-	-	4	-	3	-	9	1	9
Отдел Bacillariophyta:	12	18	6	18	16	-	26	34	20	32	17	15	21	4	-	45	66	75
Класс Centrophyceae	5	-	3	1	6	2	10	7	7	4	5	5	-	1	-	15	9	16
Класс Pennatophyceae	7	18	3	17	10	7	16	27	13	28	10	10	21	3	-	30	57	59
Отдел Chlorophyta:	7	11	3	16	10	2	16	11	26	10	18	7	5	3	-	52	45	84
Порядок Volvocales	1	-	-	-	2	-	1	-	3	-	2	1	-	-	-	7	-	7
Порядок Chlorococcales	6	1	2	7	7	-	10	6	19	6	11	6	-	-	-	31	14	38
Порядок Ulotrichales	-	5	-	4	-	1	2	2	1	-	1	3	1	-	-	3	7	9
Порядок Cladophorales	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	2	2
Порядок Desmidiaceae	-	2	-	4	1	-	1	1	1	2	3	5	3	1	-	6	13	17
Порядок Gonatozozogales	-	2	-	1	-	-	-	1	1	2	1	4	-	-	-	2	6	3
Порядок Zygnematales	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	1	1	4
Порядок Oedogoniales	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	2	3
Zoospora	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Всего	27	37	17	39	39	12	58	49	81	51	55	61	28	12	-	149	138	232

сей и правобережных притоках, возможно, связано с антропогенным загрязнением и аллохтонным органическим веществом. В левобережных притоках большую роль играет аллохтонное органическое вещество, которое поступает в водоем с водосборной площади Западно-Сибирской низменности [13].

В реках Енисей, Глубокая и Дудинка по численности доминировали диатомовые. В правобережных карстовых озерах (№ 1 и № 2), крупных левобережных притоках (реки Мал. Хета, Бол. Хета и Лодочная) и оз. Де-

лингдэ – сине-зеленые. В правобережной р. Косая и левобережной р. Соленая – зеленые. В реках Зырянка, Делингдэ и оз. Соленом – золотистые (табл. 3).

По биомассе в альгоценозах рек Енисей, Зырянка, Глубокая, Дудинка, карстовых озерах (№ 1 и № 2) и оз. Делингдэ доминировали диатомовые водоросли. В р. Косой и оз. Соленом – зеленые. В реках Мал. Хета, Бол. Хета и Лодочная преобладали сине-зеленые (табл. 3).

**Таблица 3.** Общая численность (N, млн. кл./л), биомасса (B, мг/л) и вклад основных групп водорослей в суммарные показатели фитопланктона (в % от общей численности и биомассы)

Названия водоемов	% численности				N, млн. кл./л	% биомассы				B, мг/л
	СЗ	Д	З	Пр		СЗ	Д	З	Пр	
Озеро № 1	80	9	5	6	1,44	4	45	39	13	0,05
Озеро № 2	54	19	12	15	0,74	26	46	13	15	0,16
р. Косая	7	14	60	19	0,22	17	26	40	17	0,08
р. Зырянка	18	16	9	57	0,32	1	42	36	22	0,12
р. Глубокая	3	41	23	33	0,44	0,2	66	6,8	26	0,10
р. Дудинка	31	32	16	21	0,65	25	37	24	14	0,12
р. Енисей	16	62	16	6	1,67	10	81	6	3	0,59
р. Мал. Хета	82	5	8	5	2,90	84	6	2	8	0,60
р. Бол. Хета	62	6	25	7	1,89	41	27	24	8	0,31
р. Лодочная	54	11	33	2	2,46	72	20	7	1	0,50
р. Соленая	27	6	40	27	0,63	3	28	32	37	0,15
р. Дзелингде	28	12	3	57	0,86	14	41	1	44	0,12
оз. Делингдэ	58	15	5	22	2,28	10	47	4	39	0,11
оз. Соленое	26	15	4	56	0,21	1	29	53	17	0,11

Примечание: СЗ – сине-зеленые, Д – диатомовые, З – зеленые, Пр – прочие отделы (евгленовые, динофитовые, криптофитовые, золотистые).

В численности и биомассе господствующими в р. Енисей были виды рода *Aulacoseira* (до 65% от общей). По биомассе фитопланктона отдельных рек и озер правого берега р. Енисей преобладали: р. Зырянка – *S. ulna* (28%), р. Глубокая – *A. formosa* (24%), р. Дудинка – *Ch. humicola* (24%), р. Косая – *Spirogyra tenuissima* (Hass.) Kutz. (36%), ручей у м. Гороховый – виды рода *Aulacoseira* (49%), карстовые озера: № 1 – *Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kutz. (34%) и № 2 – *A. spiroides* (26%).

В биомассе крупных левобережных рек (Лодочная, Мал. Хета и Бол. Хета) доминировали виды рода *Anabaena* (до 76%). На отдельных станциях р. Соленой наблюдалась мозаичность распределения господствующих видов. Преобладали: *T. flocculosa* (до 33%),

*Cyclotella radiosa* (Grunow) Lemmermann (30%), *Ceratium hirundinella* (O.F. Muller) Schrank (32%). В р. Делингдэ – *Rh. pusilla* var. *pusilla* (42%). В пойменном оз. Соленом преобладали *T. flocculosa* (27%) и *Oedogonium itzigsohnii* DB (27%). В термокарстовом оз. Делингдэ – *C. radiosa* (до 38%).

Максимальная численность фитопланктона отмечена в р. Енисей ( $1,67 \pm 0,44$  млн кл./л) и левобережных притоках ( $1,66 \pm 0,29$  млн кл./л). В правобережных притоках без учета бессточных карстовых озер численность фитопланктона была значительно ниже и составляла  $0,45 \pm 0,15$  млн кл./л. Численность фитопланктона в карстовых правобережных озерах составляла  $1,09 \pm 0,35$  млн кл./л (рис. 1).

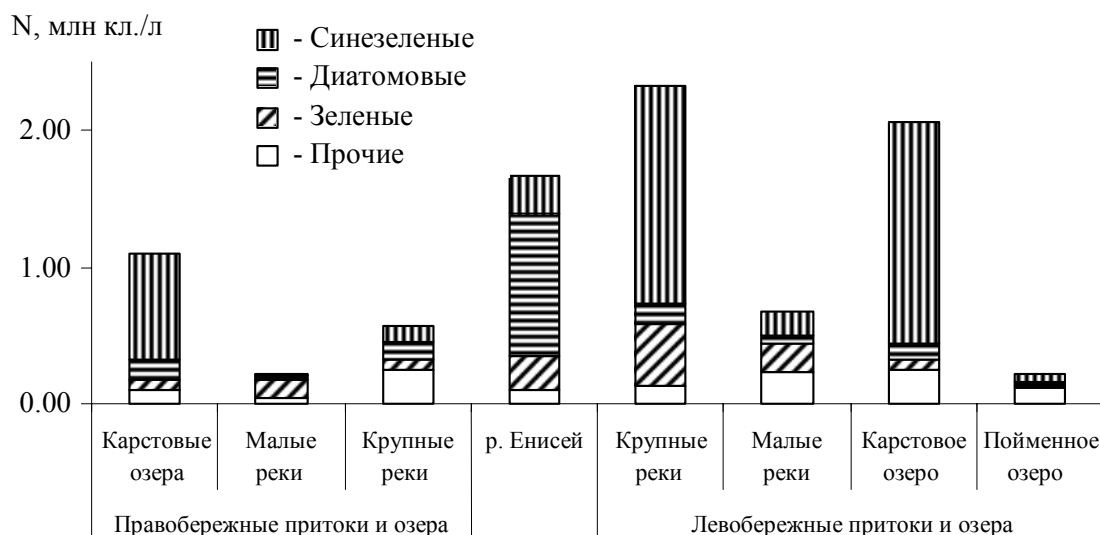


Рис. 1. Средняя численность (N, млн кл./л) фитопланктона и ее структура в изученных группах озер и рек региона

Аналогичным образом различаются водные экосистемы и по биомассе фитопланктона. Она максимальна в р. Енисей ( $0,59 \pm 0,07$  мг/л), и ниже в крупных левобережных при-

токах ( $0,44 \pm 0,07$  мг/л). Биомасса фитопланктона левобережных притоков отличалась более высокими значениями ( $0,25 \pm 0,04$  мг/л), чем правобережных ( $0,11 \pm 0,02$  мг/л) (рис. 2).

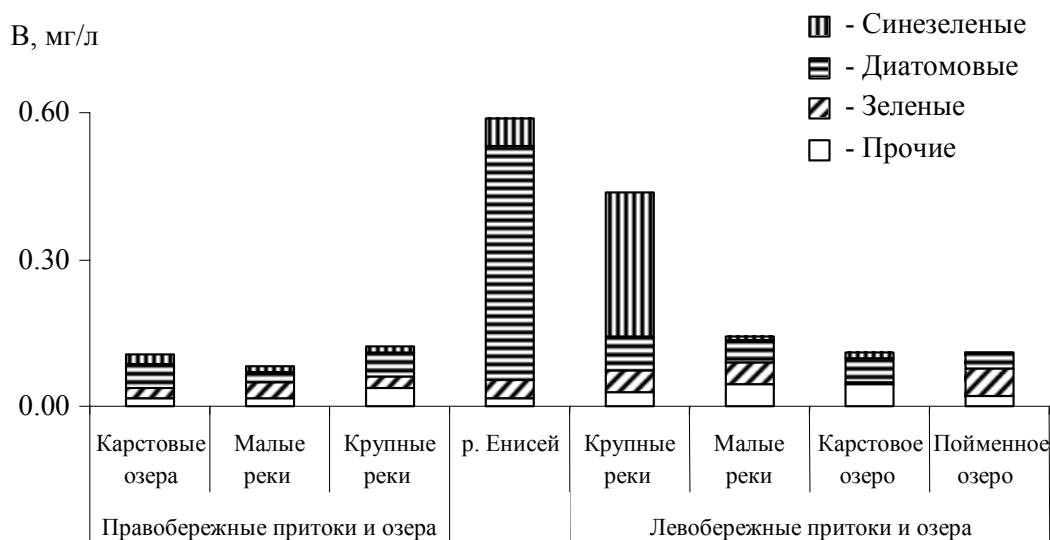


Рис. 2. Средняя биомасса (B, мг/л) фитопланктона и ее структура в изученных группах озер и рек региона

Степень сложности альгоценозов исследованных водных экосистем по индексу Шеннона варьировала от 1,85 до 3,93. Биологический смысл закономерности связи между биомассой и индексом разнообразия (индексом Шеннона -  $H_b$ ), водорослевого сообще-

ства сводится к следующему. В водоемах в течение некоторого времени наблюдается рост всех популяций, но доминирующими становятся виды с высокими скоростями роста, что и находит свое отражение в снижении значений  $H_b$  [1, 8]. Пониженные его значения

1,85-2,36 характерны для сообществ с высоким уровнем доминирования одного вида водорослей. Это сообщества р. Соленой ( $H_b=1,85$ ), где *Chlorococum humicola* (Nag.) Rabenh. составлял 59% от общей биомассы фитопланктона. Оз. Дэлингдэ ( $H_b=2,03$ ) – 61% биомассы *Rhodomonas pusilla* (Bachm.) Javorn. var. *pusilla*; р. Мал. Хета ( $H_b=2,27$ ) – соответственно, 48% *A. verrucosa*; р. Енисей ( $H_b=2,36$ ) – 52% *A. granulata*. В других реках и озерах сложность сообществ фитопланктона увеличивалась, индекс Шеннона варьировал в пределах 2,53-3,90 (в среднем –  $3,10 \pm 0,08$ ) при небольшом коэффициенте вариации – 10%.

**Микрофитобентос** представлен 138 видами и внутривидовыми таксонами водорослей из 5 отделов (табл. 2). Из них диатомовые водоросли – 66 таксонами рангом ниже рода, зеленые – 45, сине-зеленые – 23, криптофитовые – 3, хризофитовые – 1. Среди сине-зеленых водорослей видовым разнообразием выделяются 2 рода: *Anabaena* (6 видов) и *Oscillatoria* (4 таксона рангом ниже рода). Из диатомовых разнообразно представлены следующие роды: *Aulacoseira* – 5, *Symbella* – 9, *Nitzschia* – 7 таксонов. Из зеленых в роде *Ulothrix* отмечено 5 таксонов рангом ниже рода. В пробах бентоса из бухты Слободской Енисейского залива выделена *Melosira juergensii* Ag., вид морской и солоноватоводный, эвригалитный, сублиторальный, встречается среди обрастаний [12]. В микрофитобентосе ручья, впадающего в Енисейскую бухту в районе м. Гороховый, встречен довольно редкий вид *Chlorogloea sarcinoides* (Elenk.) Troitzk., представитель горько-соленых озер (Крым, Челябинская обл., Кулундинская степь) [9]. Для водоемов Якутии имеется ссылка [17] на присутствие этого вида в литорали и пелагиали оз. Баллаганнах (август) при температуре воды 6-7°C.

В бентосе левобережной группы притоков и озер встречен 91 таксон водорослей рангом ниже рода, в правобережной группе – 64, в р. Енисей – 42. Максимальное количество их было зарегистрировано в левобережных малых притоках (61), в том числе в реках: Бол. Хета (47), Делингдэ и Соленая (по 35). Боль-

шим количеством видов, разновидностей и форм в пробах отличались некоторые станции в р. Енисей (до 22 таксонов рангом ниже рода), р. Косая (25), правобережное озеро № 2 (29), реках Бол. Хета, Соленая и Делингдэ (22-26).

Коэффициент флористического сходства между левобережными и правобережными группами водоемов был низкий и составлял 0,39, между видовым составом микрофитобентоса р. Енисей и притоков – 0,43. КФС между крупными и малыми реками левобережных притоков достигал 0,50, правобережных – 0,24.

По частоте встречаемости водорослей выявлено 5 видов с частотой встречаемости более 50% во всех группах водных экосистем: *Navicula cryptocephala* Kutz., *N. radiosa* Kutz., *Nitzschia palea* (Kutz.) W.Sm., *S. acus*, *S. ulna*. Данные виды относятся к космополитам (кроме *N. radiosa* – бореальный вид), имеют показатели сапробности от  $\alpha$ - $\beta$  – мезосапробного до  $\alpha$ -мезосапробного.

Преобладающий вклад в численность микрофитобентоса вносили диатомовые (от 52 до 96%) (табл. 4). Исключение составляли станции в бухте Слободской Енисейского залива, где на одной из станций доминировали синезеленые (76%, отдельные трихомы *Calothrix* sp.), на другой – зеленые (98%, *U. subtilissima* Rabenh.).

Доминирующими по биомассе на отдельных станциях р. Енисей были *Cladophora glomerata* (93%), *U. zonata* Kutz. (52%), *S. ulna* (66%), *Calothrix* sp. (89%). В р. Дудинке – *Ch. incrassata* (98%), р. Косой – *U. moniliformis* (60%). В ручье у мыса Гороховый – *Ch. sarcinoides* (99%). В карстовом озере № 1 – *U. limnetica* (96%). В р. Мал. Хете и ручье Холодном на отдельных станциях доминировали *T. flocculosa* (62%). На отдельных станциях в р. Бол. Хете – *Sphaeronostoc linckia* (Roth.) Elenk. (97%) и *T. distorta* (76%); р. Соленой – *T. distorta* и *C. columbiana* (97% и 83%); р. Делингдэ – *C. glomerata* (57%), *Bulbochaete nana* (57%) и *Ch. incrassata* (59%). В карстовом озере Делингдэ – *N. cryptocephala* (63%) и *U. zonata* (40%).

Основу биомассы микрофитобентоса в

реках Енисей, Косая, Дудинка и Делингдэ, озере № 1 составляли зеленые водоросли. В реках Бол. Хета, Соленая и ручье у м. Гороховый – синезеленые. В р. Мал. Хета, озере № 2, оз. Делингдэ, ручье Холодном – диатомовые (табл. 4).

**Таблица 4.** Общая численность (N, млн. кл./10 см<sup>2</sup>), биомасса (B, мг/10 см<sup>2</sup>) и вклад основных групп водорослей в суммарные показатели микрофитобентоса (в % от общей численности и биомассы)

Названия водоемов	% численности				N	% биомассы				B
	СЗ	Д	З	Пр		СЗ	Д	З	Пр	
Озеро № 1	0.1	74	25	0.9	0.43	1	1	97	1	117
Озеро № 2	0.1	96	3.9	0	1.10	33	62	5	0	0.41
Ручей в районе м. Гороховый	0.1	52	42	5.9	0.20	99	0.7	0.2	0.1	38
р. Косая	0.1	85	14.9	0	0.34	24	2	74	0	33
р. Дудинка	0	97	0.1	2.9	0.04	0	1.9	98	0.1	20
р. Енисей	16	74	10	0	0.49	27	33	40	0	10
р. Мал. Хета	13	74	13	0	0.03	16	79	5	0	0.04
р. Бол. Хета	9	72	19	0	0.21	87	12	1	0	6.73
р. Соленая	0.1	89	10.9	0	0.26	94	1.9	4.1	0	25
руч. Холодный	34.8	65	0.2	0	3.36	0.5	88	11.5	0	3.00
р. Делингдэ	28	64	7	1	0.25	2.9	28	69	0.1	12
оз. Делингдэ	12	76	12	0	0.41	2	77	21	0	0.89

Примечание: обозначения см. в табл. 3, 0 - отсутствие значений.

Распределение численности микрофитобентоса в основных группах водных экосистем было следующее. Максимальные значения численности отмечены в карстовых озерах правого берега ( $0,76 \pm 0,33$  млн кл./10 см<sup>2</sup>). В правобережных притоках численность составляла  $0,20 \pm 0,08$ , в р. Енисей увеличивалась до  $0,49 \pm 0,24$  млн кл./10 см<sup>2</sup>. В левобережных притоках общая численность определялась величиной  $0,45 \pm 0,21$  млн кл./10 см<sup>2</sup>. На рис. 3 представлено распределение численности водорослей в основных группах водных экосистем.

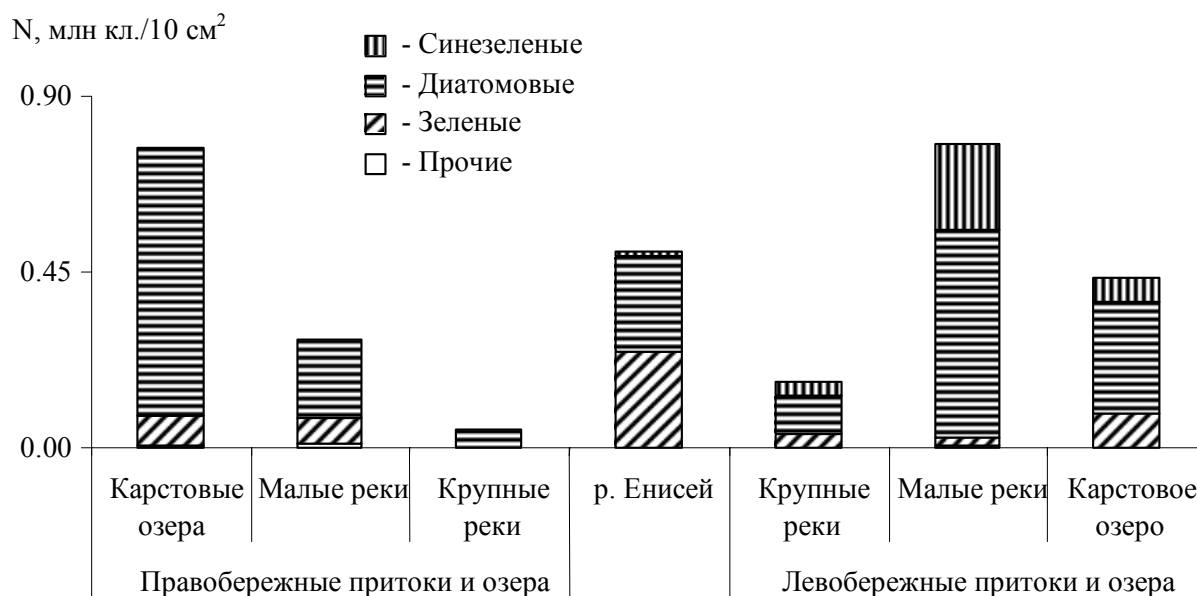
Максимальные значения биомассы отмечены в правобережных карстовых озерах ( $59 \pm 58$ ) и малых притоках ( $30 \pm 5$  мг/10 см<sup>2</sup>). Далее зарегистрировано снижение биомассы в р. Енисей ( $10 \pm 7$ ) и левобережной группе водных экосистем до  $8,71 \pm 3,27$  мг/10 см<sup>2</sup> (рис. 4).

Индекс сложности сообществ микрофитобентоса, рассчитанный по Шеннону (0.12-3.19), имел широкий размах колебаний. Низкой сложностью ( $H_b - 0,12$  и 1,00) выделялись сообщества с четко выраженными доминирующими видами. Это сообщества в р. Соленой, где на 3 станциях 83-97% биомассы составляли, соответственно, *C. columbiana*,

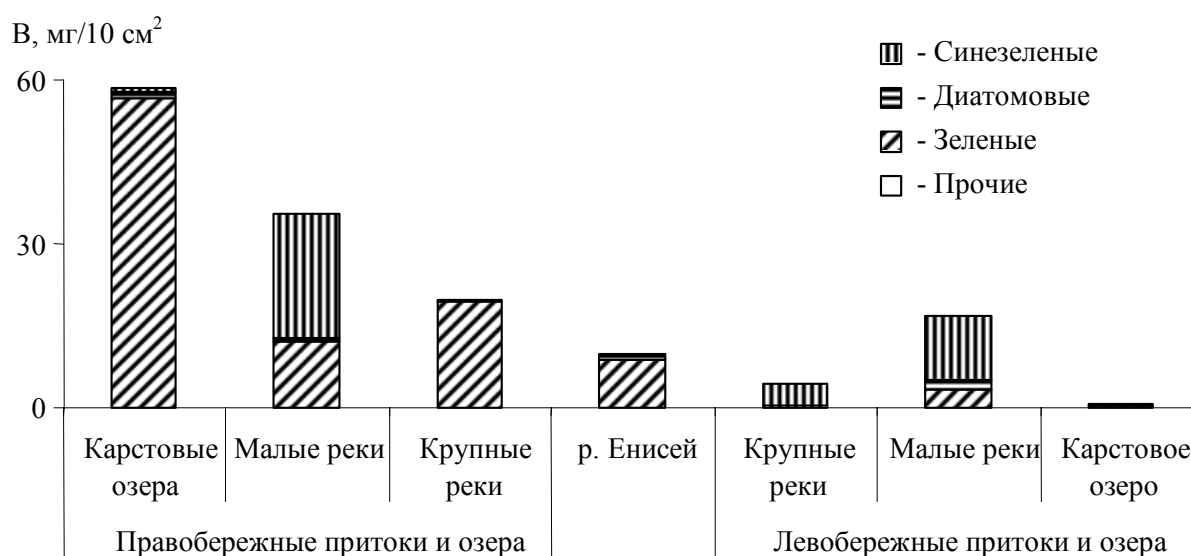
*T. distorta*, *T. distorta* f. *penicillata* (Ag.) Kossinsk. В ручье на м. Гороховый, где 99% биомассы приходилось на *Ch. sarcinoides* (99%). В р. Дудинке общая биомасса на 98% состояла из *Ch. incrassata*. В р. Енисей (район рыбозавода) в общей биомассе *C. glomerata* составляла 93%. На двух станциях бухты Слободской Енисейского залива преобладали *S. ulna* (66%), *Calothrix* sp. (89%). В р. Бол. Хета на отдельных станциях в массе развивался *S. linckia* (Roth.) (97%) и *T. distorta* (76%). Индекс Шеннона сообществ фитобентоса на 46% других станций был выше и составлял  $2,67 \pm 0,11$ , при коэффициенте вариации – 14%.

**Оценка качества воды и трофическое состояние водоемов.** Процент сапробных организмов х-о-β-мезосапробов, индекс сапробности которых не превышает 1,5 и соответствует 2 классу качества воды, в фитопланктоне составлял 17-37%, в микрофитобентосе – 21-33% от количества водорослей-индикаторов сапробности; процент водорослей, индекс сапробности которых выше 1,6 и соответствует 3 классу качества воды, во всех водоемах был выше 63%. Процент сапробных организмов (табл. 5) от общего списка водо-





**Рис. 3.** Средняя численность (N, млн кл./10 см<sup>2</sup>) микрофитобентоса и ее структура в изученных группах озер и рек региона



**Рис. 4.** Средняя биомасса (B, мг/10 см<sup>2</sup>) микрофитобентоса и ее структура в изученных группах озер и рек региона

рослей составлял в фитопланктоне от 61 (малые левобережные притоки) до 85% (карстовые озера правого берега). В микрофитобентосе – от 64 (правобережные притоки) до 67% (левобережные притоки), р. Енисей – 81%. В целом – 59% от общего списка водорослей (137 видов, разновидностей и форм из 232).

Значения индекса сапробности (ИС) фитопланктона изменялись в пределах 1,79 (оз. Делингдэ) – 2,32 (р. Соленая), что соответ-

ствует β-мезосапробной зоне. Среднее значение ИС фитопланктона в правобережных притоках составляло  $2,13 \pm 0,06$ , р. Енисей –  $1,95 \pm 0,04$  и левобережных притоках –  $2,00 \pm 0,06$ . Среднее значение для всего массива данных –  $2,02 \pm 0,18$ , означает 3 класс качества, удовлетворительная чистота, β-мезосапробная зона (табл. 6).

**Таблица 5.** Количество организмов-индикаторов сапробности (1 – в % от общего количества индикаторных видов и 2 – общего числа водорослей) в фитопланктоне (Ф) и микрофитобентосе (Мфб)

Основные категории водоемов	1				2			
	х-о-β		β-α-р		х-о-β		β-α-р	
	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб	Ф	Мфб
Карстовые озера правого берега	17	29	83	71	15	19	70	46
Малые реки правого берега	31	21	69	79	24	16	53	58
Крупные реки правого берега	21	30	79	70	15	25	59	58
р. Енисей	22	21	78	79	17	17	60	64
Крупные реки левого берега	19	23	81	77	12	16	52	53
Малые реки левого берега	33	33	67	67	20	23	41	46
Термокарстовое озеро	37	32	63	68	24	25	43	54
Пойменное озеро левого берега	34	-	66	-	23	-	44	-
Общая	22	27	78	73	14	17	50	45

**Таблица 6.** Индекс сапробности (ИС), биомасса фитопланктона (В, мг/л) и микрофитобентоса (В, мг/10 см<sup>2</sup>) в реках и озерах региона

Название водоемов	Фитопланктон		Микрофитобентос	
	ИС	В, мг/л	ИС	В, мг/10 см <sup>2</sup>
Озеро № 1	1,82	0,05	1,80	117
Озеро № 2	2,17	0,16	2,17	0,41
руч. м. Гороховый	-	-	2,07	38
р. Косая	2,23	0,08	1,58	33
р. Зырянка	2,09	0,12	-	-
р. Глубокая	1,94	0,10	-	-
р. Дудинка	2,20	0,12	1,16	20
р. Енисей	1,95	0,59	1,91	10
р. Мал. Хета,	1,87	0,60	2,03	0,04
р. Бол. Хета	2,05	0,31	1,65	6,73
р. Подочная	2,22	0,50	-	-
р. Соленая	2,32	0,15	2,06	25
р. Дэлингдэ	1,85	0,12	1,67	12
руч. Холодный	-	-	1,69	3,00
оз. Дэлингдэ	1,79	0,11	1,81	0,89
оз. Соленое	2,19	0,11	-	-

Значения ИС микрофитобентоса изменялись от 0,82 (р. Соленая) до 2,26 (оз. Делингдэ), от β-олигосапробной до β-мезосапробной зоны. В разных группах водных экосистем значения ИС были следующие. В правобережных водоемах: карстовых озерах –  $1,98 \pm 0,18$ , реках –  $1,60 \pm 0,26$ . В р. Енисей –  $1,91 \pm 0,15$ . В левобережных притоках –  $1,76 \pm 0,11$ . Среднее значение ИС составляло  $1,76 \pm 0,08$  – 3 класс качества, удовлетворительная чистота, β-мезосапробная зона (табл. 6).

При оценке качества воды по биомассе фитопланктона изученных рек и озер с использованием системы, принятой для водо-

емов умеренных широт, получаются результаты, отличающиеся от полученных по индексу сапробности. Известно, что обилие фитопланктона в арктических широтах значительно ниже, чем в средних [11]. Поэтому оказывается, что по биомассе фитопланктона (0,02-0,66 мг/л) вода исследованных экосистем относится к 1-2 классами (предельно чистая – чистая). Средние значения биомассы составляли ( $0,25 \pm 0,04$  мг/л) – 2 класс качества воды (чистая, очень чистая).

Микрофитобентос – это прикрепленные организмы, которые реагируют на различные факторы среды в большей степени, чем фитопланктон, и соответственно суммируют

эффекты влияния загрязняющих веществ. Именно микрофитобентос и определяет итоговую оценку состояния водоема [15]. Хотя значения биомассы фитопланктона на отдельных станциях указывают на более чистый класс воды, но при ранговом расчете [6] с учетом остальных параметров (индексы сапробности фитопланктона, микрофитобенто-

са и биомасса микрофитобентоса) получают значения, равнозначные рассчитанным по индексам сапробности. Поэтому ранговую оценку качества воды проводили с учетом значений индексов сапробности фитопланктона и микрофитобентоса, а также биомассы микрофитобентоса (табл. 7).

**Таблица 7.** Ранговая оценка качества воды рек и озер по биомассе микрофитобентоса и индексам сапробности фитопланктона и микрофитобентоса

Основные группы водных экосистем	Классификация качества воды		
	Класс качества	Разряд качества	Зона сапробности
Правобережные притоки р. Енисей			
Карстовые озера	3 УЧ	С. з.	β-М-С
Малые реки	3 УЧ	С. з.	β-М-С
Крупные реки	3 УЧ	С. з.	β-М-С
р. Енисей			
р. Енисей	3 УЧ	С. з.	β-М-С
Левобережные притоки р. Енисей			
Крупные реки	3 УЧ	С. з.	β-М-С
Малые реки	3 УЧ	С. з.	β-М-С
Карстовое озеро	3 УЧ	Д. ч.	β-М-С
Пойменное озеро	3 УЧ	Д. ч.	β-М-С
Среднее	3 УЧ	С. з.	β-М-С

Примечание: Классификация качества воды: класс качества: 3 УЧ - 3 класс качества, удовлетворительной чистоты. Разряд качества: Д. ч. - достаточно чистая; С. з. - слабо загрязненная. Зона сапробности: β-МС - β-мезосапробная;

Согласно характеристикам категорий трофического состояния, предложенных В.Н. Грезе [11] для водоемов в арктических широтах, реки Енисей, Мал. Хета, и Лодочная с величиной биомассы фитопланктона в пределах 0,50-0,60 мг/л определяются как евтрофные водоемы полярного ряда. Общая биомасса для группы левобережных водоемов – 0,25±0,04, правобережных – 0,11±0,02 и всех водоемов – 0,25±0,04 мг/л характеризует их трофическое состояние мезотрофным классом полярного ряда.

Биомасса микрофитобентоса изменялась в пределах от 0,02 (р. М. Хета) до 117 мг/10 см<sup>2</sup> (правобережное озеро № 1), с варьированием от олиготрофного до гипертрофного класса полярного ряда. По средним величинам биомассы микрофитобентоса различные группы водоемов характеризуются следующим трофическим состоянием: правобережные озера № 1 и 2 (59±58) и правобережные

реки (30±5) - гипертрофный класс полярного ряда, р. Енисей (10±7) и левобережные притоки (9±3 мг/10 см<sup>2</sup>) – политрофный класс полярного ряда. Среднее значение биомассы микрофитобентоса (15±5 мг/10 см<sup>2</sup>) определяет трофическое состояние водоемов политрофным классом полярного ряда.

### Заключение

Фитопланктон и микрофитобентос северных водоемов и водотоков Красноярского края (левобережные и правобережные реки и озера Нижнего Енисея и сам Нижний Енисей) представлены 232 внутривидовыми и видовыми таксонами из 7 отделов. Сравнительная оценка видового состава фитопланктона и микрофитобентоса показала, что альгофлора р. Енисей ближе к флоре правобережных притоков. Качественный состав водорослей левобережных равнинных притоков значительно богаче.

В фитопланктоне определено 149 внутри-видовых и видовых таксона из 7 отделов. Видовым разнообразием выделяются роды *Anabaena* (14 таксонов рангом ниже рода), *Oscillatoria* (7) и *Aulacoseira* (7). В планктоне р. Делингдэ отмечена спорообразующая *A. islandica*, известная на Дальнем Востоке, Прибайкалье и Забайкалье. Левобережные притоки, протекающие по территории Западно-Сибирской низменности, отличаются большим видовым разнообразием (113 таксонов рангом ниже рода) в сравнении с р. Енисей (58) и правобережными притоками (51), располагающимися на Среднесибирском плоскогорье. Доминирующими по биомассе в р. Енисей и правобережных водоемах были диатомовые водоросли. В левобережных крупных притоках преобладали синезеленые водоросли; в малых – криптофитовые; в оз. Делингдэ – диатомовые, в оз. Соленое – зеленые. Значения биомассы в р. Енисей составляли  $0,59 \pm 0,07$ , левобережных притоках –  $0,25 \pm 0,04$ , правобережных –  $0,11 \pm 0,02$  мг/л.

В микрофитобентосе выделено 138 видов и внутривидовых таксонов из 5 отделов. Видовым разнообразием выделяются роды *Anabaena* (6 таксонов рангом ниже рода), *Oscillatoria* (4), *Aulacoseira* (5), *Symbella* (9), *Nitzschia* (7), *Ulothrix* (5). В бентосной аль-

гофлоре из бухты Слободской Енисейского залива выделена *M. juergensii*, вид эвригалинный; в ручье, впадающем в Енисейскую бухту в районе м. Гороховый, встречен редкий вид *Ch. sarcinoides*, представитель горько-соленых озер. Преобладающий вклад в численность микрофитобентоса на большинстве станций вносили диатомовые. В биомассе в правобережных притоках и р. Енисей доминировали зеленые водоросли; в малых реках – синезеленые. В крупных и малых левобережных притоках господствовали синезеленые; в оз. Делингдэ – диатомовые. Биомасса в правобережных карстовых озерах составляла  $59 \pm 58$ , малых реках –  $30 \pm 5$  мг/10 см<sup>2</sup>; в р. Енисей –  $10 \pm 7$ , левобережной группе водоемов –  $8,71 \pm 3,27$  мг/10 см<sup>2</sup>.

Среднее значение ИС ( $1,76 \pm 0,08$ ) определяет качество воды исследуемых водоемов и водотоков 3 классом качества, удовлетворительной чистоты, β-мезосапробная зона. Средняя биомасса фитопланктона ( $0,25 \pm 0,04$  мг/л) характеризует их трофическое состояние мезотрофным классом полярного ряда [11], Нижний Енисей ( $0,59 \pm 0,07$  мг/л) – евтрофный водоем полярного ряда. Средняя биомасса микрофитобентоса ( $15 \pm 5$  мг/10 см<sup>2</sup>) определяет трофическое состояние водоемов политрофным классом полярного ряда.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алимов А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб: Наука, 2001.
2. Баринаева С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей – индикаторов сапробности. Владивосток, 1996.
3. Бондаренко Н.А., Генкал С.И. О находке байкальских эндемичных водорослей в горных озерах Забайкалья // Бот. журн. 2005. Т. 90, № 9.
4. Водоросли. Справочник / Вассер С.П., Кондрагьева Н.В., Масюк Н.П. и др. Киев: Наук. думка, 1989.
5. Воробьева С.С. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск: Наука, 1995.
6. Гавришов Н.А. Методика расчета комплексного рангового показателя качества воды // Гидробиол. журнал. 1981. Т. 17, № 1.
7. Генкал С.И., Щур Л.А. Новые данные к флоре Bacillariophyta озера Ханка (Приморский край, Россия) // Альгология. 2000. Т. 10, № 3.
8. Гиляров А.М. Соотношение биомассы и видового разнообразия в планктонном сообществе // Зоол. журн. 1969. Т. 48, № 4.
9. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянская В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Синезеленые водоросли. Вып. 2. М: «Советская наука», 1953.
10. Гольд З.Г. Оценка качества воды Красноярского водохранилища по биологическим критериям // Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища. Красноярск: КрасГУ, 1980.

11. Грезе В.Н. Основные черты гидробиологии озера Таймыр // Тр. ВГБО, 1957. Т. 8.
12. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 2, вып. 2. СПб.: Наука, 1992.
13. Дрюккер В.В., Петрова В.И. Бактериопланктон реки Енисей. Новосибирск: Наука, 1988.
14. Жукинский В.Н., Оксюк О.Н. и др. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1981. Т. 17, № 3.
15. Зиновьев В.П. Экспресс-методы определения качества вод по зообентосу в реках Восточной Сибири // Методы индикации и биотестирования природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1987.
16. Кожова О.М. Фитопланктон и продукционно-деструкционные процессы в Братском водохранилище // Продукционно-биологические исследования экосистем пресных вод. Минск: БГУ, 1973.
17. Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные зеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука, 1978.
18. Левадная Г.Д. Методы исследования фитобентоса континентальных водоемов // Гидробиол. журн. 1975. Т. 11, № 3.
19. Левадная Г.Д. Микрофитобентос реки Енисей / Отв.ред. О.М. Кожова. Новосибирск: Наука, 1986.
20. Методики изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М.: Наука, 1975.
21. Оксюк О.Н., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4.
22. Оксюк О.П., Зимбалева Л.Н., Протасов А.А. и др. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям: бентос, перифитон и зоофитос // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30, № 4.
23. Скворцов Б.В. Материалы по изучению водорослей Приморской губернии. Диатомовые водоросли оз. Ханка // Зап. Южно-Уссурийского отдела Гос. Рус. геогр. о-ва. Вып. 3. Владивосток, 1929.
24. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. М.: СЭВ, 1977.

## MODERN STATE OF A PHYTOPLANKTON AND MICROPHYTOBENTHOS OF BOREAL RESERVOIRS OF KRASNOYARSK REGION

© 2006 L.A. Shchur

Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk

The algae of boreal reservoirs posed in district Vankorck of a petroleum deposit, guessed boreal path of an oil pipeline and sea of the terminal, represented 231 species and specific taxon from 7 division (phytoplankton - 149 species from 7 division; microphytobenthos - 138 species from 5 division). Values of a biomass of a phytoplankton in Yenisei -  $0.59 \pm 0.07$ , in reservoirs of left bank -  $0.23 \pm 0.04$  and in reservoirs of right bank -  $0.11 \pm 0.02$  mg/l.; microphytobenthos in reservoirs of right bank -  $30 \pm 5$ , Yenisei -  $10 \pm 7$  and in reservoirs of left bank -  $9 \pm 3$  mg/10 cm<sup>2</sup>. The evaluation of water quality in terms of saprobicity index of a phytoplankton ( $2.06 \pm 0.07$ ) and microphytobenthos ( $1.76 \pm 0.08$ ) determine water of reservoirs by 3 class of quality, satisfactory cleanness, b- mezoprobicity of zone. The category trophic of water on a biomass of a phytoplankton ( $0.25 \pm 0.04$  mg/l) corresponds mezotrophic by the class of polar series; biomass of a phytoplankton of lower Yenisei river ( $0.59 \pm 0.07$  mg/l) - eutrophic by the class of polar series; biomass of a microphytobenthos ( $15 \pm 5$  mg/10 cm<sup>2</sup>) - polytrophic the class of polar series.