

УДК 551.465

## ФИТОПЛАНКТОН ОБСКОГО ЭСТУАРИЯ (КАРСКОЕ МОРЕ) В ПРЕДЗИМНИЙ ПЕРИОД

© 2024 г. И. Н. Суханова<sup>1</sup>, М. В. Флинт<sup>1,\*</sup>, А. В. Федоров<sup>2</sup>,  
А. А. Недоспасов<sup>1</sup>, С. Г. Поярков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Южное отделение Института океанологии им. П.П. Ширинова РАН, Геленджик, Россия

\* e-mail: m\_flint@ocean.ru

Поступила в редакцию 27.12.2023 г.

После доработки 12.03.2024 г.

Принята к печати 18.03.2024 г.

Материал получен в 92-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Обском эстуарии и на прилегающем мелководном шельфе, в широтном диапазоне от 72°32.0' до 73°14.5' с. ш. 12–13 октября 2023 г. в период, предшествующий становлению сезонного льда. Эстуарный фронт был хорошо выражен в полях температуры и солености (градиент 0.6 епс/км) и имел квазимеридиональное направление. Резкие границы в распределении биогенных элементов, характерные для Обского эстуария в более ранние сезоны, в исследованный период не наблюдались. Численность и биомасса фитопланктона варьировали от  $22 \times 10^3$  до  $75 \times 10^3$  кл/л и от 7.3 до 19.0 мг/м<sup>3</sup> соответственно, что на два–три порядка ниже, чем в июльских и сентябрьских наблюдениях. Основу численности (30–78%) и биомассы (28–80%) фитопланктона повсеместно формировали морские диатомовые водоросли, среди которых доминировали *Fragilariopsis cylindrus*. Численность доминирующих в эстуарном фитоценозе в более ранние сезоны пресноводных диатомовых *Aulacoseira* была низкой, вид был встречен только в виде мертвых клеток. Представлена схема, отражающая границы между фитопланктонными сообществами разного состава и количественных характеристик и специфику условий в восточной области широкой внешней части Обского эстуария.

**Ключевые слова:** Карское море, позднеосенний сезон, Обский эстуарий, эстуарный фронт, мелководный шельф, фитопланктонные сообщества

**DOI:** 10.31857/S0030157424040019, **EDN:** PSGBRG

### ВВЕДЕНИЕ

Области эстуариев крупных сибирских рек играют огромную роль в экосистемах эпиконтинентальных арктических морей. Они представляют собой крупнейшие геохимические барьеры [3, 13], регулирующие через масштабный речной сток взаимодействия в системе континент – арктический морской бассейн [9]. В них благодаря интенсивному взаимодействию речных и морских вод формируются специфические высокоградиентные условия среды, проявляющиеся в распределении гидрофизических и гидрохимических свойств [1, 4, 6, 7, 14, 16–19, 21–24], а также особые геохимические условия и условия осадконакопления и аккумуляции аллохтонного вещества [3, 8, 11]. Эстуарные области населены специфическими планктонными сообществами, с ними связаны границы в широтном распределении массовых видов и высокая локальная биологическая продуктивность [10, 16–19, 21–24,

27]. Все это позволяет рассматривать арктические эстуарии как специфические экосистемы, в которых помимо уникальных структурных и функциональных свойств резко выражена сезонная изменчивость, связанная не только общим ходом сезонных процессов в высоких широтах, но и с сезонными изменениями объема речного стока [12].

Процессы в эстуарных районах имеют огромное значение для Карского моря, поскольку оно принимает в себя самый масштабный в Арктике речной сток. Обь, Енисей и Пясна ежегодно приносят в бассейн ~1100 км<sup>3</sup> пресной воды [25, 26]. При этом в Обском эстуарии при годовом стоке 400 км<sup>3</sup> формируется одна из самых масштабных в арктическом регионе областей взаимодействия речных и морских вод – обская эстуарная фронтальная зона. Высокоградиентные условия среды в Обском эстуарии определяют особенности структуры и функциональных

характеристик планктонных сообществ, которые в последние годы интенсивно изучались [16–18, 20, 22, 23]. Имеющиеся данные характеризуют летнее и осеннее состояние сообществ, при этом ранневесенний сезон при максимальном стоке и сходе льда и осенний период резкого падения стока перед ледоставом оставались не исследованными. При том, что интенсивность речного стока – основной фактор, определяющий условия в эстуарии, это составляет существенный пробел в реконструкции сезонного цикла уникальной экосистемы Обского эстуария.

Характерной особенностью Обского эстуария является то, что резкие изменения свойств среды в нем имеют не только характерный для эстуарных областей широтный характер. В широкой внешней части эстуария отмечена хорошо выраженная широтная изменчивость условий, которая, вероятнее всего, определяется взаимодействием потока речных вод и приливных течений с особенностями рельефа дна и орографии берегов. Такие условия должны, безусловно, сказываться на процессах взаимодействия между речной и морской средой, трансформации вещества, структуре эстуарных сообществ. Работами [6, 14] показано, что восточная область широкой внешней части Обского эстуария характеризуется специфическим гидрохимическим режимом. По материалам, полученным в начале лета, опи-

сано и количественно охарактеризовано уникальное для эстуарных районов крупных сибирских рек “цветение” водоросли *Euglena sp.*, строго приуроченное к этой области и указывающее на ее достаточно продолжительную изоляцию [20].

Полученный нами материал позволяет впервые характеризовать фитопланктонные сообщества Обского эстуария (их состав, численность, биомассу и пространственную структуру) в осенний сезон резкого падения стока и, основываясь на характеристиках фитоценозов, оценить специфику условий в восточной области внешней части Обской губы.

### РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ, МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал был собран в 92-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш” 12–13 октября 2023 г. во внешней широкой части Обского эстуария и на прилежащем карском шельфе. Съемка из 14 станций охватывала широтный диапазон от 72°32.0' до 73°14.5' с. ш. (рис. 1), глубины на станциях составляли от 11 до 26 м. На станциях выполнены гидрофизические зондирования STD-зондом SBE-911Plus, 5-литровыми батометрами Нискина комплекса “Розетта”, ассоциированного с зондом, отобраны гидрохимические пробы и пробы для анализа фитопланктона. Пробы отбирали с двух горизонтов: на 0 и между 5 и 10 м. Выбор

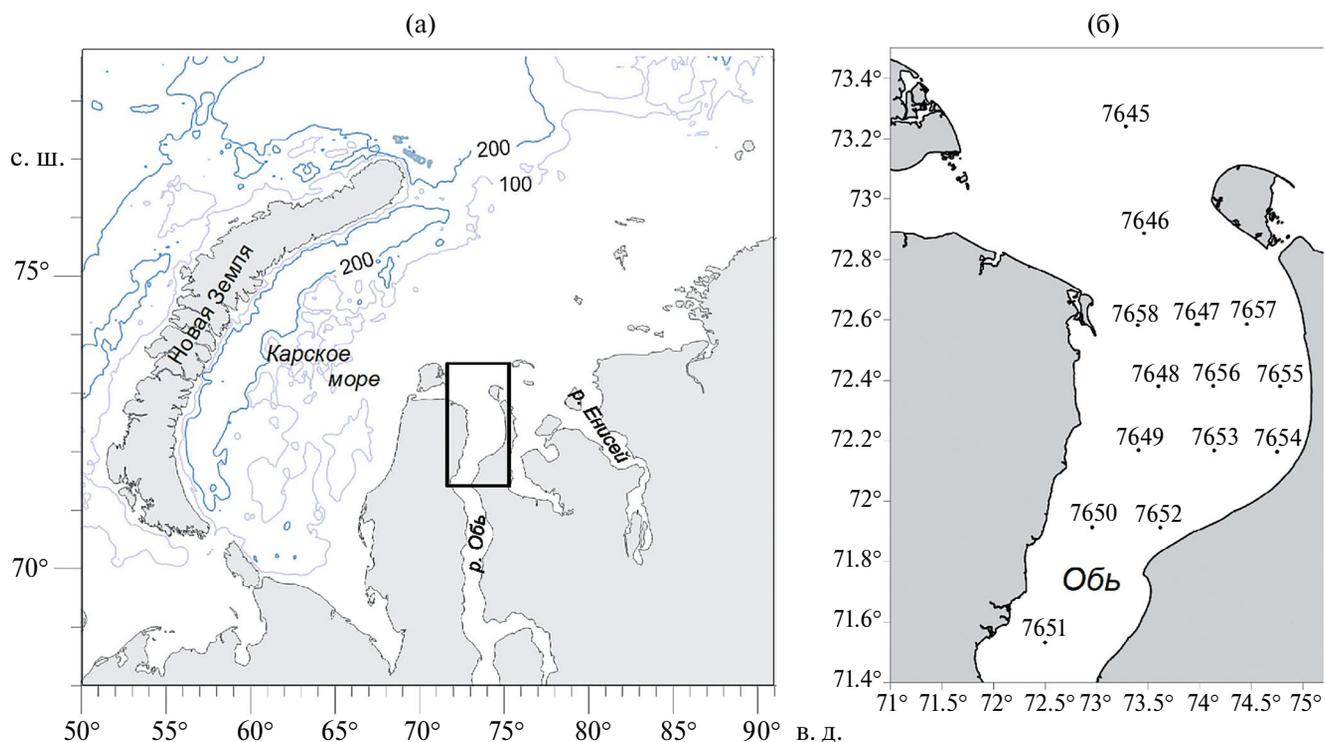


Рис. 1. Положение района исследований (а) и станций в Обском эстуарии, где проведены наблюдения (б).

нижнего горизонта определялся вертикальным распределением температуры, солености и флуоресценции хлорофилла с учетом положения скачка плотности и максимума флуоресценции. Пробы для анализа фитопланктона и сопутствующих гидрохимических определений брали из одних и тех же батометров.

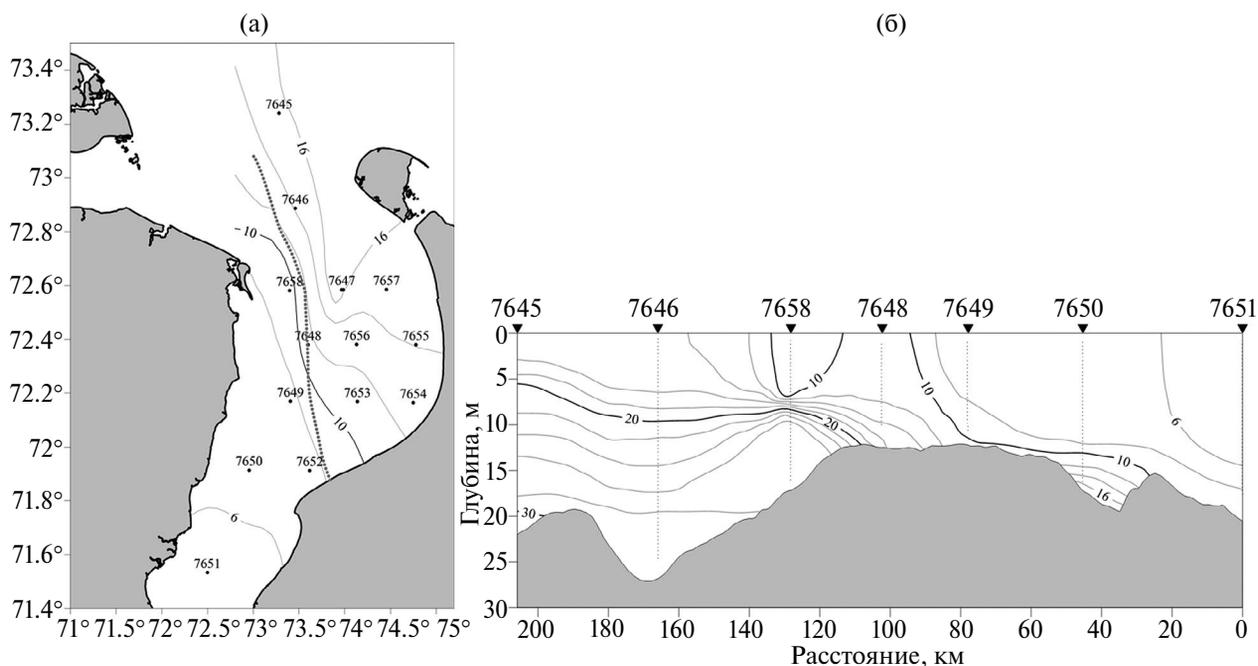
Концентрирование фитопланктона проводили методом мягкой обратной фильтрации 2 л на лавсановых фильтрах с размером ячеек 1 мкм [15]. Все пробы обработаны в не фиксированном живом состоянии в течение 1–2 дней после отбора. До обработки пробы хранили в холодильнике в темноте при температуре 2–3°C. Анализ фитопланктона для определения видового состава, численности и биомассы проводили в камерах Ножотта (объем 0.085 мл) при увеличении ×400 и Наумана (объем 1 мл) при увеличении ×200 с использованием люминесцентных микроскопов Jena Lumag и Leica.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Океанографические условия.** Работы проводили в период сезонного снижения стока Оби. На октябрь месяц приходится 7% годового стока Оби, в ноябре он снижается до 4.2% [12]. Сезонное падение объема речного стока и снижение скорости потока вод приводят к увеличению влияния нагонных и приливных течений на свойства среды и структуру фронтальной зоны в эстуарии Оби.

Нашими наблюдениями была охвачена область Обского эстуария, характеризующаяся интенсивным взаимодействием речных и морских вод. Наблюдаемые квазимеридиональные изменения солености в поверхностном слое составляли от 5.3 до 15.8 епс, в придонном – от 8.2 до 31.6 епс, диапазон соответствующих изменений температуры составлял от 4 до 2°C и от 4.5 до <0°C. Поток идущих на север сильно опресненных обским стоком относительно теплых вод был прижат к западному берегу губы и на нашей съемке прослеживался до ст. 7658. Холодная и относительно соленая вода карского шельфа распространялась на юг в восточной части эстуария. Взаимодействие вод разного происхождения определяло формирование хорошо выраженного эстуарного фронта, имевшего квазимеридиональную ориентацию в поверхностном слое и квазиширотную в придонном (рис. 2). Эстуарный фронт, в сущности, отделял воды, находящиеся под сильным воздействием речного стока, от остальной части Обской губы и характеризовался высокими горизонтальными градиентами солености – до 0.6 епс/км.

На южных станциях 7650 и 7651 опресненной до 5.3–6.6 епс слой занимал верхние 12–13 м и сокращался до 7 м на станциях 7648 и 7649 при возрастании поверхностной солености до 7.0–11.5 епс (рис. 2). Ниже наблюдался галоклин с перепадом солености ~1–2 епс на метр. На ст. 7658, сделанной в области фронтального раздела, верхние 7 м были заняты водой с соленостью 9 епс. Между 7



**Рис. 2.** Распределение поверхностной солености (епс) и положение эстуарного фронта (пунктирная линия) в Обском эстуарии (а), распределение солености на квазимеридиональном разрезе (б).

и 9 м наблюдался резкий термогалоклин с перепадом солёности  $\sim 10$  епс на метр и температуры от 2.9 до 0.5°C (рис. 26). Прилежащая к эстуарию область мелководного шельфа (станции 7645 и 7646) характеризовались 3–5-метровым верхним перемешанным слоем с солёностью 14–16 епс и плавным увеличением солёности до 29–31 епс на глубине 22–25 м. Сходные условия наблюдались на ст. 7647 во внешней области восточной части эстуария. В верхних 8 м солёность составляла 16.6 епс и возрастала до 28 епс на 15 м. Восточная область широкой внешней части широкого Обского эстуария (станции 7653–7657), которую мы образно называем “эстуарным мешком”, при глубине 11–12 м отличалась 9–10-метровым верхним перемешанным слоем с солёностью от 11 до 15 епс. На станциях 7653, 7655 и 7657 в придонном слое солёность резко возрастала до 22–26 епс, что указывало на влияние вод прилежащего шельфа.

Резких границ в распределении биогенных элементов в Обском эстуарии в исследованный период не прослеживалось, содержание нитратов,

фосфатов и кремния мало различалось в пределах акватории, по сравнению с летним и раннеосенним сезонами, когда в области фронта прослеживались их высокие градиенты [6, 14, 16–18, 20]. Концентрация нитратов в верхних 10 м колебалась от 2.6 до 4.2 мкМ, фосфатов от 0.94 до 1.3 мкМ, кремния от 44.4 до 60.6 мкМ. Такие концентрации не ограничивают развитие фитопланктона.

**Фитопланктонное сообщество.** В период наших исследований в середине октября общие численность и биомасса фитопланктона были на два–три порядка ниже, чем в сентябре 2007 г. и в июле 2016 г. [16–18] и варьировали в пределах, соответственно, от  $22 \times 10^3$  до  $75 \times 10^3$  кл/л и от 7.3 до 19.0 мг/м<sup>3</sup> (табл. 1, рис. 3). Максимальные численность и биомасса водорослей были отмечены на ст. 7658 в области эстуарного фронтального раздела.

На южных станциях съёмки (7650 и 7651), в области наиболее низкой солёности (5.3–6.8 епс) в фитопланктоне по численности и биомассе доминировал морской неритический вид

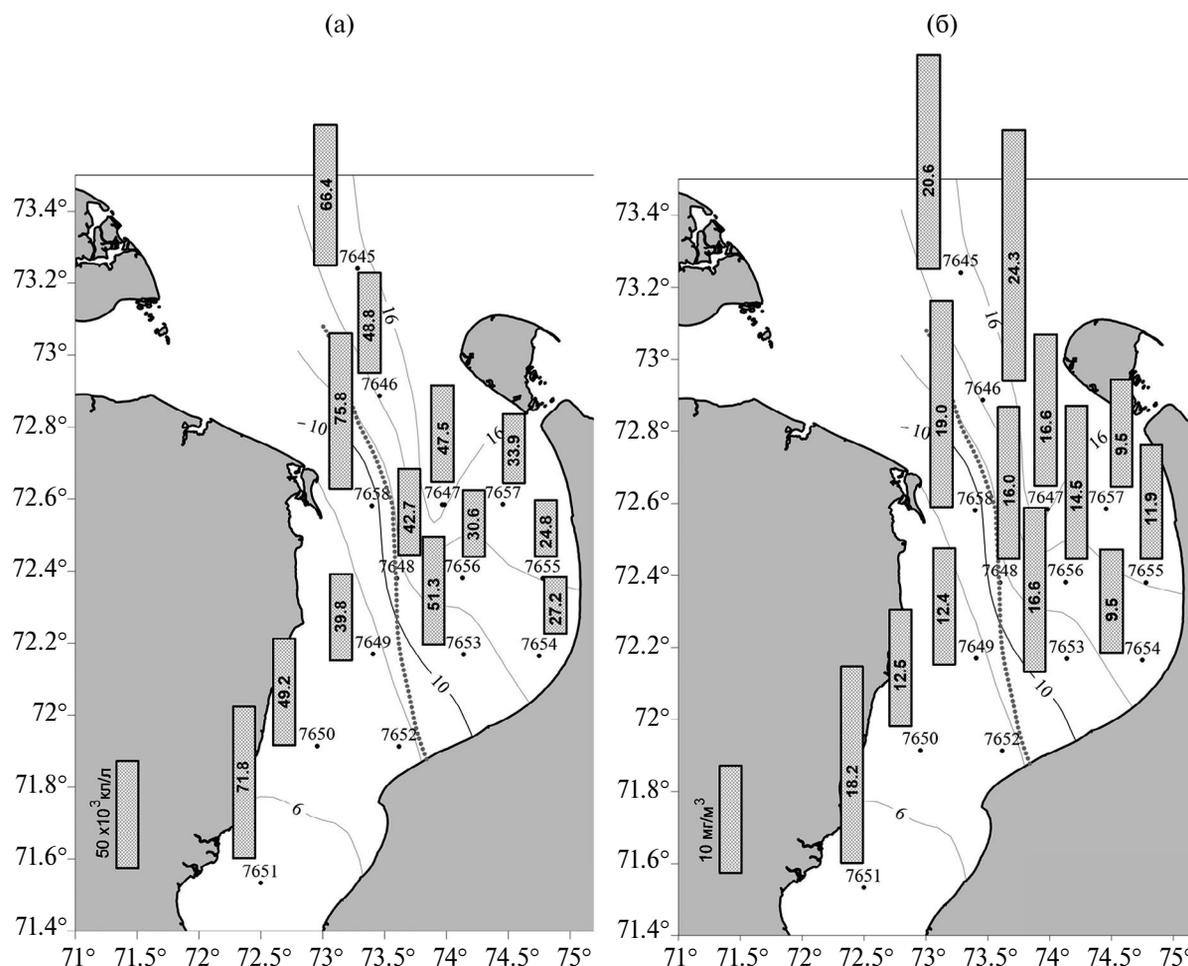


Рис. 3. Распределение численности,  $N \times 10^3$  кл/л (а) и биомассы, мг/м<sup>3</sup> (б) на фоне распределения поверхностной солёности в Обском эстуарии. Оценки не включают мертвые клетки видов рода *Aulacoseira*.

**Таблица 1.** Температура ( $T$ , °C), соленость ( $S$ , епс), численность ( $N \times 10^3$  кл/л) и биомасса ( $B$ , мг/м<sup>3</sup>) фитопланктона на станциях в Обском эстуарии

№ станции, Гл <sub>м</sub>	Глот	$T$	$S$	$N$					$B$				
				D	P	Cr	Rest	Tot	D	P	Cr	Rest	Tot
7645 22	0	2.1	15.8	48.5	11.6	40.2	23.2	123.5	14.5	2.7	16.9	2.9	36.4
	10	2.3	22.0	9.2	0.4	0.3	0.1	10.0	3.8	0.5	0.2	0.1	4.6
7646 26	0	2.5	14.3	22.3	0	18.2	8.3	48.8	17.6	0	5.8	0.9	24.3
7647 16	0	2.1	16.6	33.6	3.1	14.5	9.4	60.6	12.1	3.2	5.0	1.6	21.9
	10	2.2	18.0	9.5	0.4	15.0	9.6	34.5	2.5	1.4	6.3	1.0	11.2
7648 11	0	2.9	11.5	35.3	3.4	15.0	6.2	59.9	10.2	3.5	4.1	0.4	18.2
	10	2.9	12.7	18.6	0.6	2.4	3.9	25.5	7.6	4.2	0.1	1.3	13.9
7649 12	0	3.5	7.1	36.3	0.1	7.3	12.1	55.8	8.3	0.4	2.2	1.3	12.2
	5	3.5	7.1	14.7	1.1	6.9	1.0	23.7	6.3	3.1	0.7	2.3	12.4
7650 17	0	3.9	6.6	36.7	1.4	13.7	18.0	69.8	9.1	0.6	4.0	2.0	15.7
	10	3.9	6.8	21.9	0	3.8	3.0	28.7	9.2	0	0.1	0.1	9.4
7651 20	0	4.4	5.3	73.9	0	11.3	10.0	95.2	17.8	0	3.2	1.3	22.3
	10	4.4	5.3	36.4	0.1	9.4	2.6	48.5	8.4	1.6	0.2	4.0	14.2
7653 12	0	2.3	10.8	35.6	4.4	16.8	26.8	83.6	10.7	6.7	4.4	1.6	23.4
	5	2.3	10.8	17.1	0.3	0.8	0.8	19.0	4.6	0.1	0.4	0.4	10.1
7654 11	0	2.1	12.8	29.8	0.9	6.6	7.1	44.4	7.7	2.9	1.0	1.0	12.6
	5	2.1	12.8	8.0	0.3	0.6	0.8	9.7	2.6	3.6	0.2	0.1	6.5
7655 13	0	1.9	14.0	16.3	2.2	4.6	12.0	35.1	8.2	2.8	2.4	1.5	14.9
	5	1.9	14.0	4.0	1.8	2.2	6.5	14.5	4.0	3.3	0.7	0.8	8.8
7656 12	0	2.2	12.7	30.8	4.9	6.2	6.3	48.2	10.1	11.4	1.8	0.7	24.0
	5	2.2	12.7	9.9	0.4	1.3	1.4	13.1	1.9	2.2	0.4	0.5	5.0
7657 16	0	1.9	15.1	23.7	1.0	6.7	12.4	43.8	8.0	3.9	1.8	0.7	14.4
	10	1.9	15.1	13.0	0.6	3.9	6.5	24.0	2.2	0.7	1.2	0.4	4.5
7658 18	0	2.8	8.9	67.6	0.8	13.2	25.6	107.2	23.1	0.3	4.0	2.7	30.1
	9	1.1	18.7	19.9	1.2	6.5	15.9	43.5	5.7	0.2	1.1	0.9	7.9

Примечание. Гл<sub>м</sub> – глубина места, м; Гл<sub>м</sub> – глубина отбора пробы, м; D – диатомовые; P – перидиниевые; Cr – криптофитовые; Rest – остальные группы; Tot – суммарное значение.

*Fragilariopsis cylindrus*. Его численность в столбе воды составляла  $29.0 \times 10^3$  и  $50.0 \times 10^3$  кл/л, биомасса – 9.0 и 13.1 мг/м<sup>3</sup> соответственно. В наших предыдущих наблюдениях, выполненных в конце сентября 2007 г. и во второй половине июля 2016 г., в этой части эстуария соленость не превышала 0.4 епс [3, 9, 10]. В этих условиях здесь были встречены только пресноводные виды водорослей, среди которых доминировали виды рода *Aulacoseira*, численность которых достигала  $1.1-8.1 \times 10^6$  кл/л, биомасса – 1.3–10.5 мг/м<sup>3</sup>, а доля в общей численности и биомассе фитопланктона колебалась от 85 до 95% [2, 5, 10, 16–18]. В наших нынешних наблюдениях в период, предшествующий ледоставу,

*Aulacoseira* были встречены только в виде мертвых клеток с численностью в поверхностном слое от  $22.9 \times 10^3$  (ст. 7647) до  $340.0 \times 10^3$  кл/л на самой южной станции (ст. 7651) (рис. 4).

В пределах эстуария морские диатомовые водоросли, среди которых доминировал *Fragilariopsis cylindrus*, также формировали основу численности и биомассы фитопланктона. Численность вида составляла от  $12.5 \times 10^3$  до  $73.9 \times 10^3$  кл/л, биомасса – от 3.3 до 17.8 мг/м<sup>3</sup> и он формировал 30 до 78% от суммарного обилия и от 28 до 80% от суммарной биомассы водорослей. Вид был представлен короткоцепочечными колониями (как правило, 2–4 клетки), в популяции было много

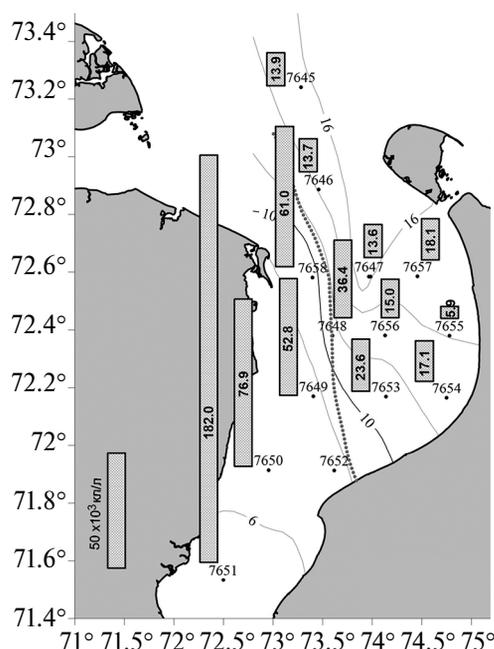


Рис. 4. Распределение численности мертвых клеток видов рода *Aulacoseira*,  $N \times 10^3$  кл/л на фоне распределения поверхностной солености в Обском эстуарии.

мертвых клеток, что указывало на завершение фазы вегетации. В районе мелководного шельфа (станции 7645, 7646) и в северной части эстуария (станции 7647, 7648) живых клеток вида было больше, чем мертвых – от 53 до 70%, на ст. 7658 в области эстуарного фронта – 50%. На всей остальной акватории эстуария число мертвых клеток в популяции *F. cylindrus* варьировало от 56 до 69%. В другие сезоны этот вид был встречен в основном на мелководном шельфе в виде активно вегетирующих многоклеточных ленточных колоний.

На шельфовых станциях 7645–7646, ст. 7658 в области эстуарного фронта и в охваченной съемкой восточной части Обского эстуария на станциях 7653–7657 вторым по численности видом диатормовых ( $(1.1–7.7) \times 10^3$  кл/л) была *Skeletonema costatum*. На станциях 7645–7646 единично встречалась *Thalassionema nitzschioides*.

Следующей по численности группой в исследованном районе были жгутиковые. В западной части эстуария и на прилежащем внутреннем шельфе (станции 7645–7649) до 70% численности приходилось на долю видов класса Струтофусеае ( $\sim 300$  мкм<sup>3</sup>). На остальных станциях численно преобладали жгутиковые классов Рымнесиофусеае и Хлорофусеае с диаметром клеток 5–7 мкм.

Численность динофлагеллят в исследованном районе составляла от  $1.0 \times 10^3$  до  $6.0 \times 10^3$  кл/л, их вклад в общее обилие фитопланктона повсеместно не превышал 9%. На южных станциях 7649–

7651 и на ст. 7658 он был минимальным и составлял от 0.1 до 1.6%. На большей части станций по численности преобладала мелкая *Heterocapsa rotundata* (объем клеток  $\sim 450$  мкм<sup>3</sup>). Биомасса динофлагеллят составляла от 0.2 до 6.8 мг/м<sup>3</sup>. Вклад группы в общую биомассу фитопланктона варьировал в широких пределах – от 0.5 до 47.6%. Он был минимальным – 0.5–3.8% – на станциях 7650, 7651 и 7658 в струе обского течения и области эстуарного фронта, и максимальным – от 19.0 до 47.1% – в восточной части Обского эстуария (станции 7653–7657). В последнем районе высокая доля динофлагеллят была ассоциирована с встречаемостью *Gymnodinium spp.* (до  $1.9 \times 10^3$  кл/л) и присутствием немногочисленных *Heterocapsa triquetra* и крупноклеточных *Dinophysis acuminata* (объем клетки  $\sim 10000$  мкм<sup>3</sup>), проникающих в эту зону с шельфовыми водами.

Осенью, в период предшествующий ледоставу, различия в численности и биомассе фитопланктона по разные стороны квазимеридионального фронтального раздела были незначительны и не превышали двух раз (см. рис. 2). Аналогичные различия в летнее и раннеосеннее время превышали порядок величин [16–18]. В предзимний период по обе стороны фронта в фитопланктоне доминировал морской вид *Fragilariopsis cylindrus*. Доминирование одного вида по разные стороны фронтального раздела, низкая численность и биомасса водорослей кардинально отличались от летнего и раннеосеннего состояния фитопланктона, когда широкая фронтальная зона располагалась между 72 и 73° с. ш. и смена условий среды в ней определяла границы распространения пресноводного и морского комплексов видов.

В проведенных ранее исследованиях гидрохимической структуры в разных зонах Обского эстуария в период высокой (весенний сток) и низкой (осенний сток) воды была показана струйность стокового течения и неоднородность условий на разрезах поперек эстуария в весенний и летний сезоны, а также выравнивание практически всех гидрохимических характеристик в позднелетний и осенний сезоны [1, 5, 14]. Аналогичными гидрохимическими условиями эстуарий характеризовался и в период наших позднеосенних наблюдений. В [6, 14] было показано, что в наибольшей степени вне влияния основного стокового течения находится восточная расширенная область внешней части Обского эстуария – “эстуарный мешок”. Подтверждением обособленности этой области Обской губы было наблюдаемое нами в этом районе в летнее время (июль 2016 г.) локальное “цветение” воды, вызванное

массовым развитием эвгленовой водоросли *Euglena sp.* [20]. В наших наблюдениях в предзимний сезон были также отмечены отличия фитопланктона “эстуарного мешка”, проявившиеся в небольшом увеличении биомассы динофлагеллят. Специфика условий в этой части Обского эстуария показана нами и на основании учета мертвых клеток *Aulacoseira* – маркера пресноводного фитоцена (см. рис. 3). Высокая численность клеток *Aulacoseira* была приурочена к основному потоку Обских вод вдоль западного берега эстуария (станции 7649–7651) и области эстуарного фронта (ст. 7658), где она составляла от  $52.8$  до  $182 \times 10^3$  кл/л. В прилегающей восточной части эстуария (станции 7647, 7653–7657) численность этого маркера была на порядок меньше:  $5.9$ – $23.6 \times 10^3$  кл/л. Проанализированные нами пробы верхнего наилка, полученные из бокс-корера на поперечном разрезе через широкую область эстуария (станции 7647, 7657 и 7658), также показали резкое сокращение числа мертвых клеток *Aulacoseira* в осадке в направлении с запада на восток.

Материалы проведенных наблюдений с учетом полученных нами ранее данных по фитопланктонным сообществам Обского эстуария [16–18, 19] позволили предложить схему районирования внешней части Обской губы (рис. 5). Схема отражает границы между фитоценозами разного состава и количественных характеристик (табл. 2) и специфику условий в восточной области широкой части эстуария. Последнее, очевидно, может иметь значение при оценке неравномерности аккумуляции аллохтонного вещества, включая загрязнения, выносимого речным стоком и интенсивно выпадающего в осадок в области биогеохимического барьера, ассоциированного с эстуарной фронтальной зоной [3, 8, 11],

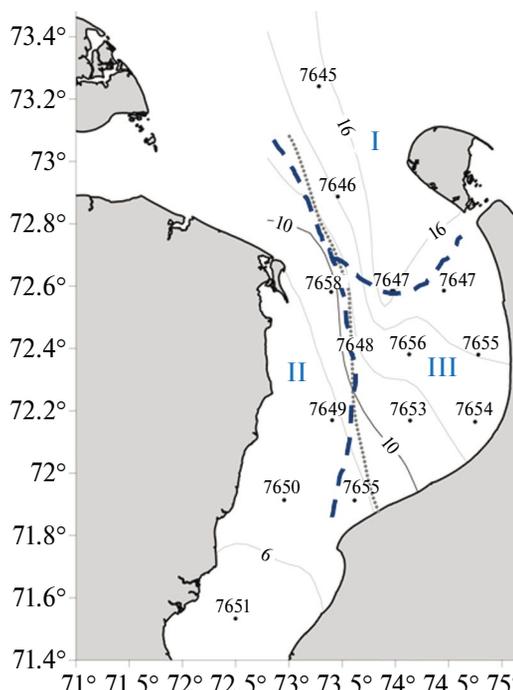


Рис. 5. Схема районирования Обского эстуария в сезон, предшествующий ледоставу. I – прилегающий к эстуарию мелководный шельф, II – основное обское течение, III – восточная область внешней части эстуария.

а также неравномерности процессов регенерации вещества в донных осадках.

**Благодарности.** Авторы приносят благодарность А.А. Полухину за данные по гидрохимии, предоставленные для настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2024-0021; экспедиционные исследования проведены при целевой финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

Таблица 2. Районы Обского эстуария с различными свойствами среды и количественными характеристиками фитопланктона

№ станции	$T_0$	$T_{9-10}$	$S_0$	$S_{9-10}$	$N_0$	$N_{9-10}$	$B_0$	$B_{9-10}$
Прилегающий к эстуарию мелководный шельф								
7645–7648	2.1–2.9	2.2–2.9	11.5–16.6	12.7–22.0	60.1–123.5	15.2–34.5	18.2–37.0	4.9–13.9
Основное обское течение								
7649–7651	3.5–4.4	3.5–4.4	5.3–7.1	5.3–7.1	55.0–95.2	23.7–48.5	12.2–22.3	10.6–14.2
7658	2.8	1.1	8.9	18.7	107.0	43.5	30.1	10.7
Восточная область внешней части эстуария								
7653–7657	1.9–2.3	1.9–2.3	10.8–15.1	10.8–15.1	35.1–83.7	9.7–24.0	12.6–24.0	5.0–10.0

Примечание.  $T_0$  – температура поверхности моря, °C;  $T_{9-10}$  – температура на горизонте 9–10 м, °C;  $S_0$  – соленость поверхности моря, епс;  $S_{9-10}$  – соленость на горизонте 9–10 м, епс;  $N_0$  – численность фитопланктона в поверхностном слое,  $\times 10^3$  кл/л;  $N_{9-10}$  – численность фитопланктона на горизонте 9–10 м,  $\times 10^3$  кл/л;  $B_0$  – биомасса фитопланктона в поверхностном слое, мг/м<sup>3</sup>;  $B_{9-10}$  – биомасса фитопланктона на горизонте 9–10 м, мг/м<sup>3</sup>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонова К.В., Лапин С.А., Лукьянова О.Н. и др. Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды // *Океанология*. 2013. Т. 53. № 3. С. 357–366.
2. Гаевский Н.А., Семенова Л.А., Матковский А.К. Трофический статус вод экосистемы Обско-Тазовской устьевой области по показателям фитопланктона // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. 2010. № 10. С. 170–179.
3. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане. Осадко- и рудообразование. Геоэкология. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 410 с.
4. Зацепин А.Г., Завьялов П.О., Кременецкий В.В. и др. Поверхностный опресненный слой в Карском море // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 698–708.
5. Киселев И.А. О флоре водорослей Обской Губы с приложением некоторых данных о водорослях нижней Оби и Иртыша // *Водоросли и грибы Сибири и Дальнего Востока*. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1970. Ч. 1(13). С. 41–54.
6. Лапин С.А. Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 6. С. 984–993.
7. Лапин С.А. Особенности формирования пресноводного стока в эстуарных системах Оби и Енисея // *Труды ВНИРО*. 2017. Т. 166. С. 139–150.
8. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
9. Левитан М.А., Буртман М.В., Демина Л.Л. и др. Фациальная изменчивость поверхностного слоя осадков Обь-Енисейского мелководья и эстуариев Оби и Енисея // *Литология и полезные ископаемые*. 2005. № 5. С. 472–484.
10. Матишов Г.Г., Дружков Н.В., Макаревич П.Р. и др. Роль пресноводного фитопланктона в формировании области повышенной продуктивности на Обь-Енисейском мелководье // *Докл. РАН*. 2001. Т. 378. № 3. С. 424–426.
11. Мирошников А.Ю., Флинт М.В., Асадулин Э.Э. и др. Радиационно-геохимическая устойчивость донных осадков в эстуариях Оби и Енисея и на прилегающем мелководье // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 6. С. 930–944.
12. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов-на-Дону: НОК, 2007. 271 с.
13. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
14. Стунжас П.А., Маккаев П.Н. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 5. С. 622–634.
15. Суханова И.Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // *Современные методы количественной оценки распределения морского планктона*. М.: Наука, 1983. С. 97–105.
16. Суханова И.Н., Флинт М.В., Мошаров С.А. и др. Структура сообществ фитопланктона и первичная продукция в Обском эстуарии и на прилегающем Карском шельфе // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 785–800.
17. Суханова И.Н., Флинт М.В., Сергеева В.М. и др. Фитоценозы эстуариев Оби и Енисея и Обь-Енисейского взморья // М.В. Флинт (ред.). *Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований*. Материалы научной конференции. М.: АПР, 2015. С. 105–111.
18. Суханова И.Н., Флинт М.В., Сахарова Е.Г. и др. Фитоценозы Обского эстуария и Карского шельфа в поздневесенний сезон // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 6. С. 882–898.
19. Суханова И.Н., Флинт М.В., Маккаев П.Н. и др. Структура фитоценозов Енисейского эстуария и прилегающего Карского шельфа в поздневесенний сезон // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 6. С. 858–875.
20. Суханова И.Н., Флинт М.В. Массовое развитие *Euglena sp.* (Euglenophyceae, Euglenales) во внешней части Обского эстуария // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 4. С. 590–597.
21. Флинт М.В., Семенова Т.Н., Арашкевич Е.Г. и др. Структура зоопланктонных сообществ в области эстуарной фронтальной зоны реки Обь // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 809–822.
22. Drits A.V., Pasternak A.F., Arashkevich E.G. et al. The dominant copepods *Senecella siberica* and *Limnocalanus macrurus* in the Ob Estuary: ecology in a high-gradient environment // *Polar Biology*. 2016. V. 39. № 9. P. 1527–1538.
23. Drits A., Pasternak A., Flint M. Distribution and grazing of dominant zooplankton species in the Ob Estuary: influence of the runoff regime // *Estuaries and Coasts*. 2017. V. 40. P. 1082–1095.
24. Drits A.V., Pasternak A.F., Arashkevich E.G. et al. Distribution and grazing of the dominant mesozooplankton species in the Yenisei estuary and adjacent shelf in early summer (July 2016) // *Continental Shelf Research*. 2020. V. 201. Arte. 104133.
25. Futterer D.K., Galimov E.M. Siberian river run-off in the Kara Sea: characterization, quantification, variability and environmental significance. Siberian river run-off in the Kara Sea / Eds. Stain R. et al. Amsterdam: Elsevier Science B.V., 2003. P. 1–8.
26. Gordeev V.V., Martin J.M., Sidirov M.V. et al. A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // *Amer. J. Sci.* 1996. № 296. P. 664–691.
27. Makarevich P.R., Druzhkov N.V., Larionov V.V. et al. The freshwater phytoplankton biomass and its role in the formation of a highly productive zone on the Ob-Yenisei shallows (southern Kara Sea) // *Proc. Mar. Sci.* 2003. V. 6. P. 185–195.

**PHYTOPLANKTON OF OB ESTUARY (KARA SEA)  
IN THE SEASON PRECEDING WINTER****I. N. Sukhanova<sup>a</sup>, M. V. Flint<sup>a,\*</sup>, A. V. Fedorov<sup>b</sup>, A. A. Nedospasov<sup>a</sup>, S. G. Poyarkov<sup>a</sup>**<sup>a</sup> *Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*<sup>b</sup> *Southern Branch, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Gelendzhik, Russia*\* *e-mail: m\_flint@ocean.ru*

Material was obtained during cruise 92 of R/V “Akademik Mstislav Keldish” in the area with latitudinal extent 72°32.0' to 73°14.5' N including Ob river estuary and adjacent shallow shelf on October 12–13 in a period preceding seasonal ice formation. Estuarine front was well pronounced in salinity (gradients 0.6 PSU/km) and temperature and had quasimeridional direction. Sharp borders in distribution of nutrients typical for earlier seasons were not observed. Numbers and biomass of phytoplankton varied in a range of  $22 \times 10^3$  to  $75 \times 10^3$  cell/l and 7.3 to 19.0 mg/m<sup>3</sup>, correspondingly, which were two to three orders of magnitude lower than in July and September observations. The basis of phytoplankton numbers (30–78%) and biomass (28–80%) across the whole area was formed by diatoms among which *Fragilariopsis cylindrus* dominated. Abundance of freshwater diatoms *Aulacoseira* was low and the species was presented only by dead cells. The scheme is presented which reflects borders between phytoplankton communities of different composition and quantitative characteristics as well as specificity of conditions in the eastern area of the wide external part of Ob river estuary.

**Keywords:** Kara Sea, late fall season, Ob river estuary, estuarine front, shallow shelf, phytoplankton communities