

АДВЕКЦИЯ, ВЕРТИКАЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ВОД И ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО- ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА В ЗАЛИВЕ АНИВА ОХОТСКОГО МОРЯ В 2001–2003 гг.

**Г. А. Кантаков¹, И. В. Стоник²,
М. С. Селина², Т. Ю. Орлова²**

¹ Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск); ² Институт биологии моря ДВО РАН (Владивосток)

ВВЕДЕНИЕ

Настоящей работой мы продолжили исследование субарктических вод залива Анива и населяющего их фитопланктона. По последним данным, фитопланктон в этом районе Охотского моря представлен 206-ю видами и внутривидовыми таксонами (Селина и др., 2005). На первый взгляд, детальный анализ сезонной и межгодовой изменчивости фитопланктона в заливе Анива видится удаленным от задач рыбной промышленности. В то же время актуальность оценки численности, биомассы фитопланктона, проблема развития марикультурных хозяйств в заливе Анива, мониторинг видов-вселенцев балластных вод, в том числе микроводорослей, а также возросшие методические требования к моделированию низких трофических уровней субарктических морских экосистем способствовали реализации настоящего исследования. Для залива Анива оставалась неясной качественная роль таких факторов морской среды в распределении и сезонной динамике фитопланктона, как распределение течений и вертикальной устойчивости вод, особенно в прибрежных районах.

В последнее время обсуждается увеличение частоты возникновения вспышек токсичных фитопланктеров в окраинных морях северной Пацифики (Орлова, 2005), в том числе в проливе Лаперуза и южной части Охотского моря (Nishihama, 1994; Shimada et al., неопубл.). Внимание к проблеме вредоносных водорослей объясняется угнетающим влиянием токсинов на объекты морского промысла и здоровье человека. В настоящий момент актуальность изучения воздействия токсичного фитопланктона на промыслы российской рыбной промышленности и здоровье людей неочевидна по финансовым и организационным причинам. Тем не менее, авторы статьи считают, что постановка качественных и регулярных исследований вредоносных микроводорослей (см. статью Могильниковой и др. в наст. сб.; Mogilnikova et al., 2007), а также промысловых объектов на предмет содержания в них токсинов (Mogilnikova, Konovalova, 2005; Коновалова, Могильникова, 2006;

Коновалова, Могильникова, 2006а), изучение передачи ядов по трофической цепи, разработка эффективных превентивных мер как отдельного прикладного научного направления являются лишь вопросом времени (Orlova, 2004).

Новизна проведенного нами исследования состояла в анализе количественных сборов, в то время как сведения о фитопланктоне вод залива Анива, опубликованные ранее (Киселев, 1947, 1959; Довгаль, 1973; Рура, 1985; Селина, Орлова, 2001; Орлова и др., 2004), основывались преимущественно на сетных ловах, содержали материалы о развитии микроводорослей, фрагментарно отражая их сезонную динамику (Киселев, 1959; Колганова, 1980; Колганова, Хрушкова, 1987; Федотова, Колганова, 1987). Нами обработаны материалы батометрических проб, что позволило оценить еще и численность пико- и нанопланктона. Известно, что организмы пико- и нанопланктона вносят существенный вклад в продуктивность морских субарктических экосистем открытых вод (Шунтов, 2001; Zhang et al., 2006), но часто недооцениваются исследователями вследствие методических трудностей их сбора и идентификации.

В анализе комплексных съемок залива Анива в 2001–2002 гг. особое внимание уделяли исследованиям не только видовой и пространственной вариабельности фитопланктона, но и сопряженной с его развитием изменчивости адвекции и вертикальной устойчивости вод. Нами проведена оценка водообмена вод на открытой границе залива с Охотским морем и полигонное исследование распределения течений. Разнообразие допущений граничных условий гидродинамического моделирования потоков в заливе Анива (Будаева и др., 2005; Никонов, 2005; Леонов, перс. сообщ.) способствовало выполнению натурных трехкомпонентных наблюдений течений в толще вод, выполненных также впервые. Диагноз двух систем течений в заливе Анива по материалам полигона буйковых станций потребовал привлечения в анализ данных по пространственному распределению хлорофилла-«а». Сравнение концентраций хлорофилла-«а» в поверхностном слое подтвердило существование в заливе Анива пары циклон–антициклон и выраженное влияние межгодовой изменчивости адвекции на пространственное распределение этого фитопигмента. Расчеты составляющих вертикальной устойчивости вод позволили оценить вклад температуры и солености в процессы образования, поддержания и разрушения стратификации морских вод залива.

В настоящей публикации мы приводим результаты наблюдений вод северо-западного побережья залива Анива на присутствие в них токсичных видов фитопланктона в течение безледового периода 2003 г. Целью проведенного здесь сбора микроводорослей стала верификация полноты списка видов-токсикантов, обнаруженных здесь ранее (Селина и др., 2005), а также определение уровня их концентрации в воде и продолжительности нахождения в воде вредоносных микроводорослей – источников ASP-, DSP-, PSP-, VSP-токсинов.

Представляемые результаты дополнили опубликованную в седьмом томе трудов СахНИРО часть комплексных исследований водных масс и базовых трофических уровней экосистемы залива Анива, проведенных СахНИРО в научном сотрудничестве со специалистами ИБМ ДВО РАН, ТИНРО-Центра, Сахгидромета, Института океанологии РАН в период 2001–2003 гг. Видовое определение фитопланктона выполнено при финансовой поддержке СахНИРО и грантов РФФИ (проект № 06-04-48649), ДВО РАН (проекты № 06-III-A-06-167, 06-III-B-06-213, 06-I-PI-06-057, 06-I-II-11-034), ДВО-РФФИ (проект № 06-04-96034), «Биологическая безопасность дальневосточных морей России» и Фонда содействия отечественной науке.

Целью предлагаемой статьи является выявление особенностей пространственно-временных изменений адвекции и вертикальной устойчивости вод, а также соответствующих откликов в распределении, численности, биомассе фитопланктона и его токсичных видов в заливе Анива Охотского моря в период 2001–2003 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ

Схема района исследований, расположение стандартных и дополнительных океанографических станций с батометрическими сборами фитопланктона и места постановок автономных измерителей течений приведены на рисунке 1. Физические параметры морской среды измеряли в свободном дрейфе судна зондом ICTD FSI, оснащенным дистанционным пробоотборником морской воды Rossette. Пробы фитопланктона собирали при движении системы ICTD FSI/Rossette от дна к поверхности во время остановок на выбранных горизонтах. Месторасположение станций и горизонты отбора проб фитопланктона в заливе Анива оставались неизменными на весь период работ с апреля 2001 г. по декабрь 2002 г.

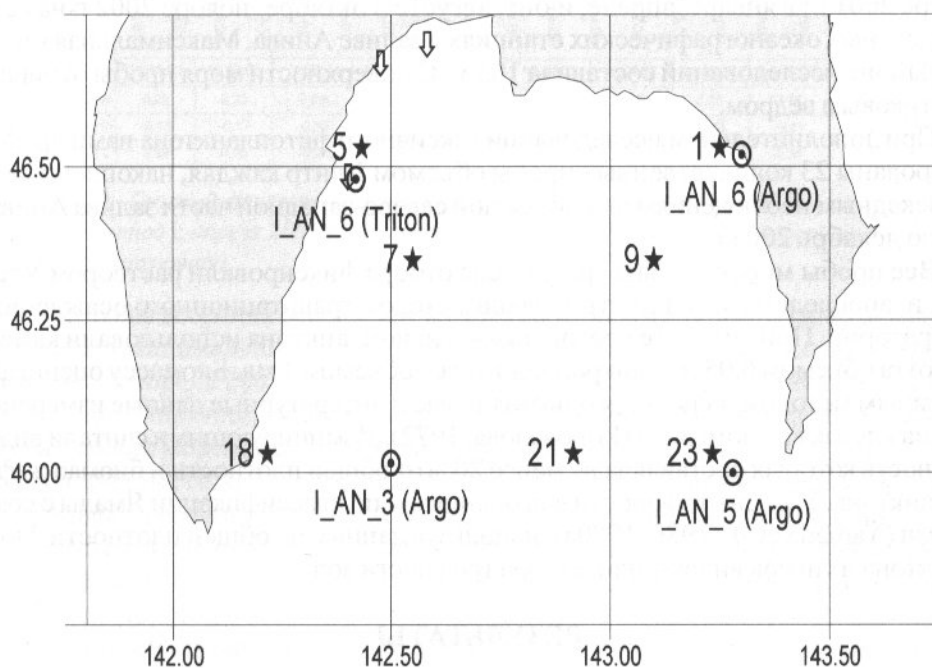


Рис. 1. Схема стандартных океанографических, автономных буйковых станций, места сбора проб потенциально токсичного фитопланктона в заливе Анива в 2001–2003 гг. (★ – стандартные океанографические станции; ⊙ – автономные буйковые станции; ↓ – места сбора проб потенциально токсичного фитопланктона с мая по декабрь 2003 г., географическая сетка на схеме дана в десятичных долях градуса)

Расчеты температурной и соленостной составляющих термохалинной устойчивости водной толщи провели по стандартным алгоритмам (Архипкин, 1992; Обработка данных..., 1993). Расчет водообмена залива Анива с Охотским морем базировался на динамическом методе расчета течений (Тимофеев, Панов 1962). Перенос вод на открытой границе залива разделили на его составляющие: N – северная, S – южная, Т – результирующая, в Sv ($10^6 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$). При осреднении температуры, солености, устойчивости по вертикали использовали средневзве-

шенные значения для устранения неравномерности шага по глубине стандартных горизонтов измерений температуры и солености (Инструкция по производству..., 1988). Концентрации хлорофилла-«а» вычислены при обработке дистанционных данных по алгоритму ОС-2 с учетом атмосферной коррекции (Reilly et al., 1998) и проведены лабораторией биологической океанографии СахНИРО. Полигонный эксперимент по течениям с 20 сентября по 4 ноября 2002 г. провели с помощью трехкомпонентных доплеровских измерителей (Cabrera et al., 1987; Polonichko et al., 2000), позволивших исследовать как горизонтальные, так и вертикальные скорости течений *in situ* на акватории залива в период осеннего усиления адвекции вод. Определение остаточных течений осуществлено фильтрацией приливов из исходных рядов составляющих скорости путем вычитания предвычисленных гармоник из каждого измерения (Шевченко, Романов, 2004).

Для анализа видового состава, численности и определения биомассы фитопланктона использованы количественные батометрические сборы. Материалом для анализа послужили 230 проб, собранных в апреле, июне, августе, октябре и ноябре 2001 г.; в январе, апреле, июне, августе и октябре–ноябре 2002 г. на семи стандартных океанографических станциях в заливе Анива. Максимальная глубина в районе исследований составила 105 м. С поверхности моря пробы отбирали пластиковым ведром.

При дополнительном исследовании токсичного фитопланктона нами проанализированы 23 количественных пробы объемом 1 литр каждая, накопленные по ежедекадным наблюдениям в прибрежной северо-западной части залива Анива с мая по декабрь 2003 г.

Все пробы морской воды сразу после отбора фиксировали раствором Утермеля и, впоследствии, концентрировали методом гравитационного осаждения в лаборатории. При подсчете клеток пико- и нанопланктона использовали камеру Ножотта объемом 0,05 мл, микропланктона – объемом 1 мл. Биомассу оценивали объемным методом, используя оригинальные и литературные данные измерений объема клеток каждого вида (Коновалова, 1972). Доминирующими считали виды, плотность которых составляла не менее 20% от общей плотности и биомассы фитопланктона. Уровень трофности вод оценивали по классификации Ямады с соавторами (Yamada et al., 1980, 1980a), используя данные по общей плотности фитопланктона и список видов-индикаторов трофности вод.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Адвекция, вертикальная устойчивость водных масс, биомасса и численность фитопланктона, концентрация хлорофилла-«а» в заливе Анива

В период исследований с апреля 2001 г. по октябрь 2002 г. расходы морских вод, выраженные в компонентах геострофического переноса на открытой границе залива Анива, представлены на рисунке 2. Водообмен залива на открытой границе с Охотским морем отличался выраженными сезонными и межгодовыми изменениями. Так, за период исследований наибольший результирующий вынос вод из залива отмечался в августе 2001 г., в то время как усиление затока вод в залив наблюдали в октябре, ноябре 2001 г. и в августе, октябре 2002 г. Расчетные данные геострофических расходов переноса указаны в сноске к рисунку 2 в дополнительной таблице. В периоды весенних всплеск фитопланктона отмечены разнонаправленные потоки – в залив в 2001 г. (апрель), из залива в 2002 г. (апрель).

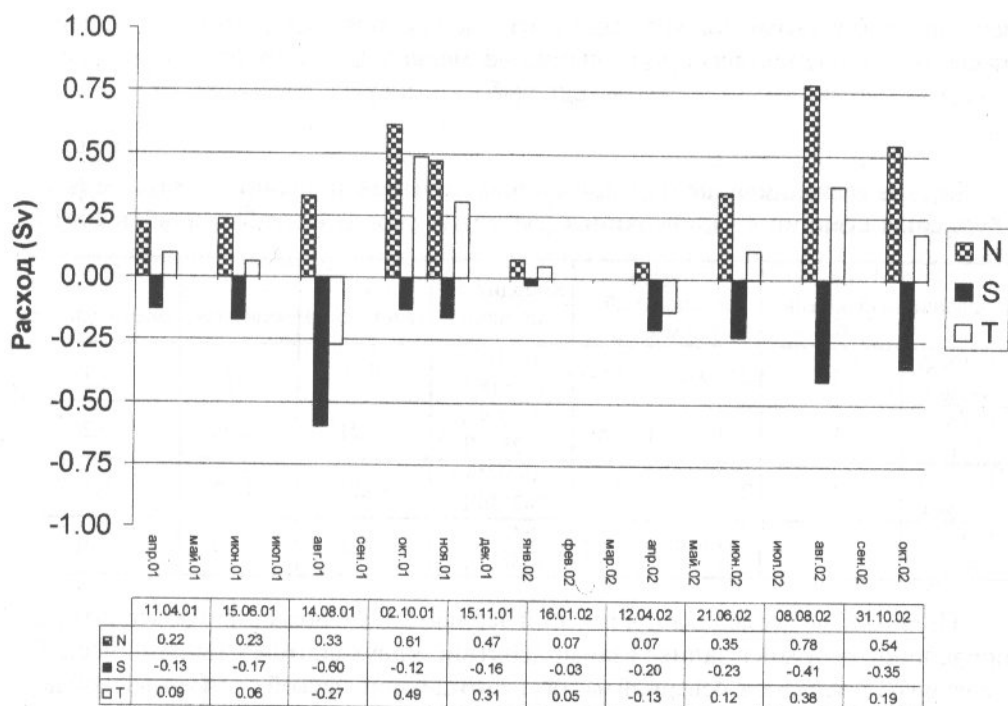


Рис. 2. Геоострофический перенос на открытой границе залива Анива с Охотским морем за период с апреля 2001 г. по октябрь 2002 г. (Sv, $10^6 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, N – северная, S – южная, T – результирующая)

Периоды весенних всплесков и максимумов биомассы фитопланктона сопровождалась минимальными значениями адвекции вод на открытой границе залива (см. рис. 2, апрель 2001 г., апрель 2002 г.), составляя уровень адвекции $\pm 0,1 \text{ Sv}$ в первом приближении. Далее происходила летне-осенняя интенсификация водообмена залива с морем, в 3–5 раз превосходя весенний уровень.

Вторичные годовые максимумы биомассы и численности фитопланктона совпадали по времени с началом хода осенней адвекции. В частности, уменьшение биомассы и численности фитопланктона происходило при выносе вод из залива, в то время как осеннее увеличение биомассы и численности сопровождалось усилением адвекции вод в залив. Отметим, что весенний заток вод в залив характеризовался уровнем биомассы фитопланктона на порядок больший (см. далее) по сравнению с результирующим оттоком вод из залива (апрель 2001 г. и апрель 2002 г. соответственно).

Распределение остаточных течений в сентябре–ноябре 2002 г. по заливу подтвердило известный результат о существовании здесь квазипостоянного антициклонического ринга (табл. 1).

Важным новым дополнением явилось доказательство наличия прибрежных потоков южного направления вдоль западной и восточной частей залива, полученное в результате выполненных измерений. Разнонаправленные составляющие течений (E-компонента, I_{AN_6} (Argo), I_{AN_6} (Triton), см. табл. 1) указали на существование в северной акватории залива дивергенции и, как ее следствия, – апвеллинга вод, что и подтвердили положительные значения U-компоненты (I_{AN_6} (Triton), см. табл. 1). В этом случае, учитывая антициклонический ринг в центральной части залива, между глубоководной частью залива, его западным и се-

верным побережьями должна наблюдаться конвергенция вод, что может способствовать накоплению здесь фитопланктона, мелких и средних фракций зоопланктона, ихтиопланктона, а также молоди рыб и пассивных примесей.

Таблица 1

Средние составляющие (без приливных) течений по данным автономных буйковых станций в заливе Анива ($\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$) за период сентябрь–ноябрь 2002 г.

Название	Горизонт наблюдений (м)	Период наблюдений (дд.мм.гг)	Координаты станции	Е (восточная)	N (северная)	U (вертикальная)
I_AN_6 (Argo)	12	24.09–06.11.2002	46°31'N 143°18'E	+0,70	–2,10	–0,40
I_AN_6 (Triton)	12	21.09–02.11.2002	46°29'N 142°25'E	–1,21	–2,08	+0,20
I_AN_3 (Argo)	45	20.09–02.11.2002	46°01'N 142°30'E	+0,03	+0,95	–0,40
I_AN_5 (Argo)	55	20.09–02.11.2002	46°00'N 143°17'E	+4,10	–0,74	–0,46

Полигонные исследования течений осенью 2002 г. позволили объяснить распределение потоков в заливе взаимодействием двух систем – циклонической в мелководной западной, северной частях и антициклонической в глубоководной центральной и мелководной восточной частях. В связи с практически неизменным постоянством антициклонической циркуляции движения вод в глубоководной части залива Анива на протяжении большей части года, возможно, что выявленное распределение адвекции его вод близко к приведенным в таблице 1 результатам и в другие сезоны.

Временная динамика составляющих параметра термохалинной устойчивости водных масс – температурной и соленостной (E_t и E_s соответственно) в открытой части залива Анива представлена на рисунке 3. Общим свойством распределения показателя устойчивости водных масс в заливе Анива являлось преобладание температурной составляющей в теплое время года над соленостной, в то время как в холодный осенне-зимний период соленость вносила наибольший вклад в показатели устойчивости водных масс. Пространственное распределение показателя термохалинной устойчивости по заливу Анива неоднородно. Воды мелководных северной и северо-западной частей залива Анива имели большие показатели устойчивости в абсолютном выражении, но характеризовались близкими пропорциями температурной и соленостной составляющих.

На рисунке 4 представлены временные последовательности средних значений по заливу Анива биомассы, численности фитопланктона и двух составляющих параметра термохалинной устойчивости вод – температурной и соленостной за период проведения исследований с апреля 2001 г. по конец октября 2002 г. В период развития стратификации и резкого увеличения температурной составляющей устойчивости с апреля 2001 г. наблюдалось уменьшение биомассы и численности фитопланктона, связанное с повышением устойчивости вод, которое продолжилось до августа 2001 г. Дальнейшее сезонное разрушение стратификации водной толщи залива совпадало с увеличением биомассы и численности, но меньшего масштаба по сравнению с весенней вспышкой фитопланктона. Далее постепенное разрушение стратификации и осеннее увеличение затока вод в залив (см. рис. 2) сопровождалось падением как биомассы, так и численности до минимальных значений в январе 2002 г. Заметим,

что для осенне-зимнего периода параметр устойчивости E полностью определялся соленостной составляющей. Кроме того, весенние вспышки фитопланктона наблюдались при преобладании соленостной составляющей в параметре устойчивости. С началом потепления 2002 г. (апрель) наблюдался аналогичный весне 2001 г. процесс развития микроводорослей – с увеличением до преобладания температурной составляющей в параметре устойчивости, далее наблюдалась вспышка фитопланктона, постепенно убывающая и по численности, и по биомассе, до времени наступления максимального значения параметра устойчивости в августе.

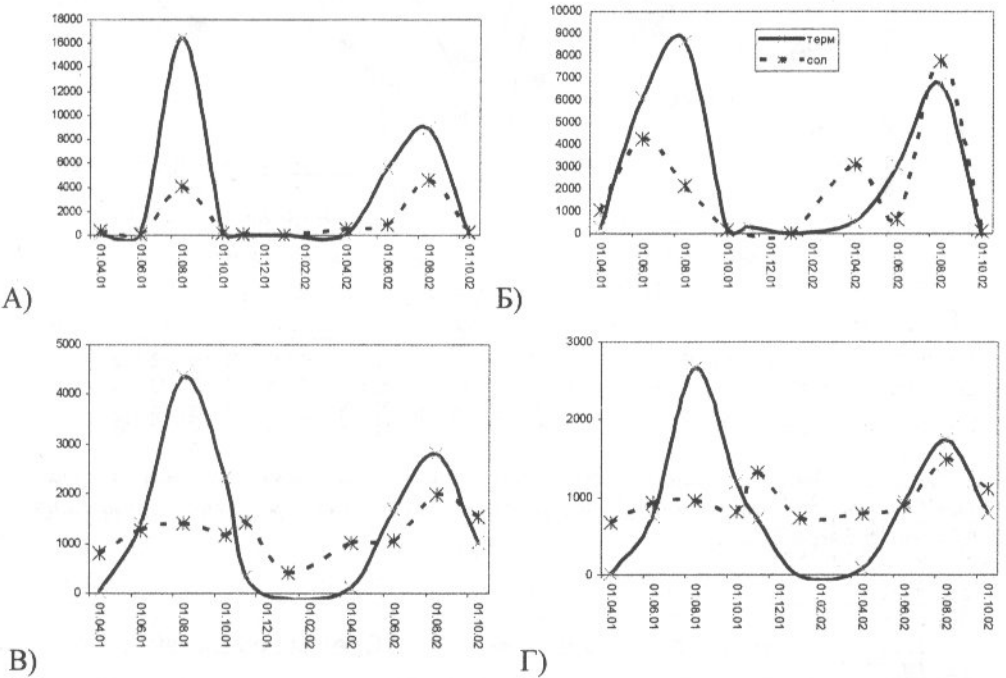


Рис. 3. Средневзвешенные температурная (сплошная) и соленостная (пунктир) составляющие показателя устойчивости E_t , E_s ($10^{-8} \cdot (1/м)$) на океанографических станциях за период с 11.04.2001 г. по 31.10.2002 г.: А) станция 1 (северо-восточная часть залива Анива у лагуны Буссе, глубина 14 м); Б) станция 5 (северо-западная часть залива Анива, глубина 23 м); В) станция 9 (средняя часть залива Анива, глубина 65 м); Г) станция 21 (открытая граница залива Анива с Охотским морем, глубина 97 м)

Для качественной оценки влияния обнаруженных систем течений в заливе на фитопланктонные сообщества нами проанализирована динамика концентрации хлорофилла-«а» (рис. 5) за период с апреля 2001 г. по декабрь 2003 г. на станциях залива Анива, расположенных соответственно в зонах влияния циклонической циркуляции и апвеллинга (станция 5), антициклонической циркуляции (станция 21), ее периферии и конвергенции (станции 1 и 9).

Полученные дистанционные данные по хлорофиллу-«а» в поверхностном слое воды имели выраженные сезонные и межгодовые колебания его концентраций в разных системах течений залива. Например, отмечались повышенные (в 5 раз относительно среднего) концентрации хлорофилла-«а» в зоне апвеллинга в северной части залива (см. рис. 5, станция 5), которые совпадали по времени с весенней вспышкой фитопланктона в апреле 2002 г. (см. рис. 4). Однако развитие весенней вспышки концентрации хлорофилла -«а» в северной части залива различалось по годам.

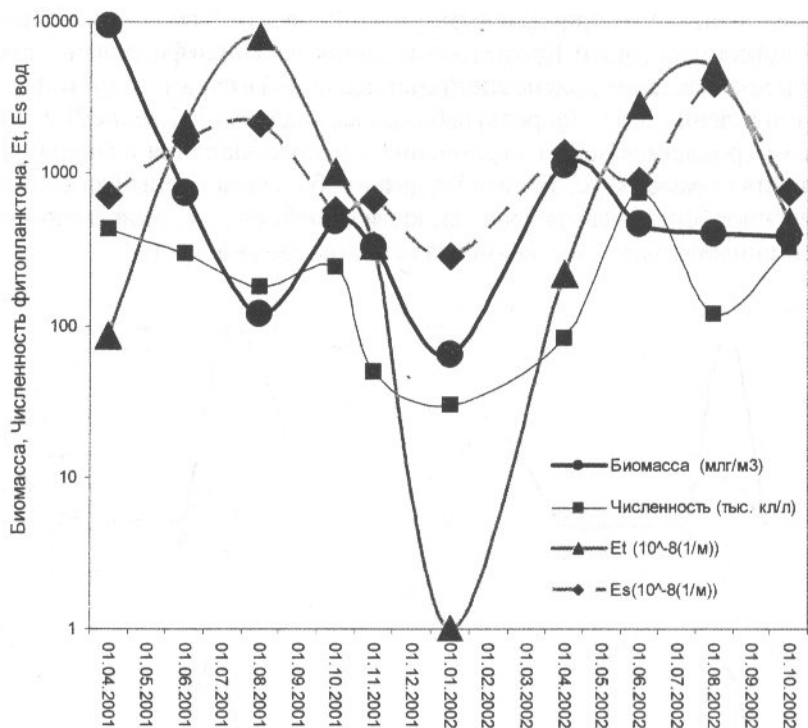


Рис. 4. Средние биомасса, численность фитопланктона, температурная E_t и солёность E_s составляющие параметра термохалинной устойчивости в заливе Анива с апреля 2001 г. по октябрь 2002 г.

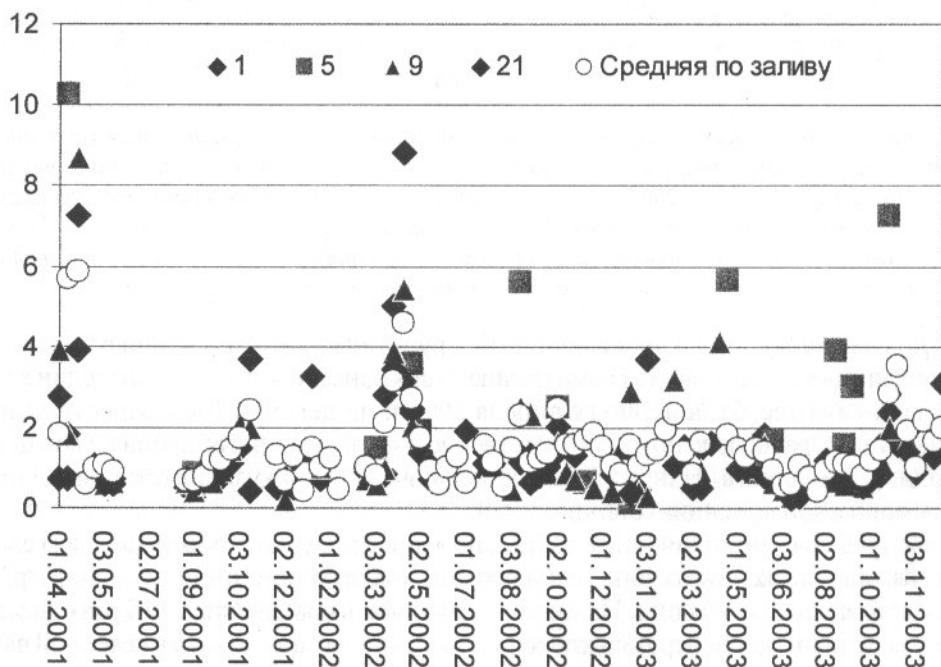


Рис. 5. Декадная динамика концентрации хлорофилла-«а» (мкг/м^3) с апреля 2001 г. по декабрь 2003 г. (данные станции TeraScan, СахНИРО)

Так, в 2001 г. максимальные концентрации наблюдались в северо-западной части залива (станция 5, зона апвеллинга), в то время как весной 2002 г. наибольшие концентрации хлорофилла-«а» отмечались на станции 1 в северо-восточной части залива, в зоне периферии антициклонической циркуляции и конвергенции течений.

В теплые периоды года наблюдались близкие к среднему значения концентрации хлорофилла-«а», которые характеризовали полное развитие стратификации по акватории всего залива. Выраженные вторичные пики концентраций хлорофилла-«а» фиксировались осенью как для глубоководных станций (см. рис. 5, станция 21), так и для прибрежных (станции 5, 9), отражая межгодовую изменчивость адвекции в залив и сезонное разрушение стратификации вод.

В целом, временная динамика хлорофилла-«а» в поверхностном слое за период 2001–2003 гг. показала, что прибрежная северо-западная часть залива, находящаяся в зоне апвеллинга, имеет большую продуктивность по показателю хлорофилла-«а», вторичные сезонные пики хлорофилла-«а» в глубоководной зоне антициклона близки по значению к весенним (станция 21). Места весенних всплесков концентраций хлорофилла-«а» менялись год от года. Так, в апреле 2001 г. максимум хлорофилла-«а» наблюдался на станции 5, в то время как максимальные концентрации хлорофилла-«а» весной 2002 г. наблюдались на станциях 1 и 9, совпадая в пространстве и времени с весенней вспышкой фитопланктона (см. далее). В 2003 г. отмечалась более высокая осенняя концентрация хлорофилла-«а» в сравнении с весенней на станции 5, дополняя разнообразие пространственно-временного распределения фитопигментации вод залива Анива.

Особенности пространственно-временного распределения фитопланктона в заливе Анива Охотского моря в 2001–2003 гг.

Общая численность фитопланктона, биомасса на отдельных станциях, а также минимальные, максимальные и средние значения по акватории залива приведены в таблице 2 (А, Б). Так, в 2001 г. общая численность фитопланктона изменялась от 6,3 до 3117,7 тыс. кл.*л⁻¹, биомасса – от 0,006 до 35,7 г*м⁻³ на отдельных станциях (см. табл. 2А). Максимальная численность микроводорослей зарегистрирована в августе в средней части залива на станции 9 (горизонт 30 м), минимальная – на этой же станции в октябре (горизонт 10 м). Максимум биомассы отмечен в кутовой части залива в апреле (станция 5, горизонт 10 м), минимум – в открытых водах в ноябре (станция 21, горизонт 95 м).

В 2002 г. общая численность фитопланктона изменялась в пределах 3,3–3725,1 тыс. кл.*л⁻¹, а общая биомасса – в пределах 0,003–6,2 г*м⁻³. Максимальную численность наблюдали в ноябре в кутовой части (станция 5, горизонт 10 м), минимальную – в августе в средней части залива (станция 9, горизонт 70 м). Как максимальная, так и минимальная биомасса зарегистрированы в апреле – в кутовой части на станции 5 (горизонт 0 м) и на мористой станции 23 (горизонт 95 м) соответственно (см. табл. 2А). В целом, залив Анива характеризовался выраженной межгодовой изменчивостью показателей биомассы, средние значения 2,218 и 0,494 г*м⁻³ в 2001 г. и 2002 г. соответственно при близких значениях средней численности 238 и 259 тыс. кл.*л⁻¹ (см. табл. 2Б).

Количественное распределение фитопланктона в заливе Анива было неравномерным, как в сезонном, так и в пространственном отношении. Сезонные изменения численности и биомассы фитопланктона были проанализированы на основании сборов с поверхностного горизонта на станциях 5, 7 и 21, характеризовавших фитопланктон в северной мелководной, средней и глубоководной частях залива соответственно.

Таблица 2А

**Количественные характеристики фитопланктона в заливе Анива
в 2001–2002 гг. на станциях 1, 5, 7, 9, 18 и 21**

Номер станции	Численность (тыс. кл*л ⁻¹)			Биомасса (г*м ⁻³)		
	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее
2001 г.						
1	37,7	870,8	27,6	0,1	26,9	3,7
5	74,6	1643,7	335,6	0,02	35,7	3,8
7	44,1	647,9	191,2	0,037	11,0	1,8
9	6,3	3117,7	280,4	0,011	11,1	0,9
18	19,7	817,2	143,7	0,007	3,6	0,9
21	27,1	2122,4	230,2	0,006	10,7	0,6
23	51,2	1519,2	151	0,011	23,6	1,9
2002 г.						
1	9,9	3218,3	559	0,045	0,4	0,1
5	3,3	3725,1	638,7	0,059	6,2	1,1
7	3,4	1713	359	0,023	0,8	6,2
9	3,4	215,2	49,6	0,008	0,4	0,08
18	5,9	1188,3	244,5	0,005	0,9	0,3
21	10,2	326,2	56,8	0,025	0,5	0,1
23	50,2	649,9	120	0,003	1,4	0,2

Таблица 2Б

**Минимальные, максимальные, средние значения численности
и биомассы фитопланктона в заливе Анива в 2001–2002 гг.**

Месяц	Численность (тыс. кл*л ⁻¹)			Биомасса (г*м ⁻³)		
	мин.	макс.	среднее	мин.	макс.	среднее
2001 г.						
IV	28	871	427	0,195	26,972	9,422
VI	6	742	297	0,022	2,542	0,738
VIII	79	414	177	0,073	1,89	0,118
X	80	472	240	0,074	1,243	0,484
XI	9	234	50	0,064	1,440	0,327
Весь период	6	871	238	0,022	26,972	2,218
2002 г.						
I	6	54	30	0,005	0,181	0,065
IV	9	215	83	0,105	6,178	1,146
VI	22	1568	738	0,050	1,414	0,468
VIII	73	189	118	0,066	1,584	0,399
XI	64	1440	327	0,043	0,793	0,390
Весь период	6	1440	259	0,005	6,178	0,494

Сезонная динамика фитопланктона в заливе Анива в период исследования характеризовалась тремя пиками численности и биомассы – весенним (апрель), летним (июнь или август) и осенним (ноябрь).

Зимой численность и биомасса фитопланктона на всей акватории залива была невысокой. В сообществе микроводорослей доминировали по численности диатомовая *Thalassionema nitzschiodes* и криптофитовые рода *Plagioselmis*, а по биомассе – крупные диатомовые рода *Thalassiosira*, *Corethron cryophilum*, *Coscinodiscus aff. oculis-iridis* и два вида динофитовых водорослей.

Весенний пик развития фитопланктона отмечался как по численности, так и по биомассе. В 2001 г. он был наиболее заметен в северной части залива, где численность и биомасса составляли 1643,7 тыс. кл.*л⁻¹ и 35,7 г*м⁻³ соответственно. В планктоне доминировали 14 видов диатомовых, один вид криптофитовых и три вида динофитовых водорослей (см. табл. 2; табл. 3, 4). В апреле 2002 г. существенное увеличение численности (до 144 тыс. кл.*л⁻¹) и биомассы (до 6,2 г*м⁻³) микроводорослей было зарегистрировано только в кутовой части залива (станция 1).

Комплекс доминирующих видов был также существенно беднее, по сравнению с предыдущим годом, и включал в себя всего два вида диатомовых, по одному виду криптофитовых и динофитовых водорослей (табл. 5, 6).

Летнее увеличение численности фитопланктона, как в 2001 г., так и в 2002 г., практически не сопровождалось возрастанием биомассы. В 2001 г. летнее «цветение» в кутовой и центральной частях залива отмечалось в июне, а в открытой части – в августе. Численность микроводорослей в этот период возрастала до 630–740 тыс. кл.*л⁻¹ и до 400 тыс. кл.*л⁻¹ соответственно. Комплекс доминирующих видов отличался разнообразием и включал в себя 32 вида, из которых: два вида сине-зеленых, 10 видов диатомовых, три вида криптофитовых, 16 видов динофлагеллят и один вид эвгленовых водорослей. Он представлен преимущественно мелкими видами, что определило невысокие значения биомассы (0,1–2,5 г*м⁻³) в этот период. В 2002 г. концентрация фитопланктона в летний период была значительно ниже (рис. 6). Увеличение численности фитопланктона в кутовой и открытой частях залива зарегистрировано в июне, а в центральной части залива – в августе. Комплекс доминирующих видов был заметно беднее (17 видов) и представлен преимущественно (10 видов) диатомовыми водорослями.

Осеннее увеличение плотности фитопланктона приходилось на ноябрь и было значительно интенсивнее в 2002 г. В 2001 г. оно было отмечено лишь в кутовой части и сопровождалось незначительным увеличением биомассы. Комплекс доминирующих видов в этот период был чрезвычайно разнообразным и включал в себя один вид золотистых, 11 видов диатомовых, два вида криптофитовых и 13 видов динофлагеллят. В 2002 г. осеннее «цветение» было зарегистрировано в кутовой и центральной частях залива. Оно превосходило по численности (900 тыс. – 1,7 млн. кл.*л⁻¹) летний и весенний пики развития фитопланктона. Среди доминирующих видов наиболее разнообразно были представлены диатомовые (10 видов). Динофитовые и криптофитовые были представлены четырьмя и двумя видами соответственно.

Горизонтальное распределение микроводорослей планктона в поверхностном горизонте на акватории залива было преимущественно неравномерным. Зимой (январь 2002 г.) максимумы численности и биомассы были отмечены в кутовой и центральной частях залива (станции 5 и 9), а минимумы этих показателей – у западного берега залива (станция 18). Повсеместно доминировали диатомовые водоросли (рис. 7).

Весной горизонтальное распределение фитопланктона было неравномерным. В апреле 2001 г. максимальные значения численности и биомассы отмечены в северной части залива (станция 5), минимальные – в его открытой части (станция 23). Диатомовые водоросли повсеместно преобладали над жгутиковыми как по численности, так и по биомассе (рис. 8). В апреле 2002 г. численность и биомасса микроводорослей были ниже, чем в 2001 г., а распределение микроводорослей по акватории залива было более равномерным. Максимум численности отмечен в центре залива (станция 9), а максимум биомассы – в кутовой части на станции 5.

Таблица 3

Доминирующие виды фитопланктона в заливе Анива в 2001 г.
(средний процент от общей численности микроводорослей
по станциям 1, 5, 7, 9, 18, 21, 23)

Вид	IV	VI	VIII	X	XI
Цyanophyta					
<i>Anabaena</i> sp.				43	
<i>Aphanothece protohydrae</i>		59			
<i>Synechococcus</i> sp.	21		43–93		
Chrysophyta					
<i>Dictyocha speculum</i>					26–54
Bacillariophyta					
<i>Chaetoceros compressus</i>				26–77	23–77
<i>Chaetoceros convolutus</i>					25
<i>Chaetoceros debilis</i>	17–23				
<i>Chaetoceros mitra</i>		35			
<i>Chaetoceros radicans</i> (споры)				23	21
<i>Cylindrotheca closterium</i>		28–45			
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>					34
<i>Guinardia striata</i>					28
<i>Navicula transitans</i> f. <i>delicatula</i>	41				
<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i> *			75		
<i>Rhizosolenia pungens</i>			34		29
<i>Rhizosolenia setigera</i>					27
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	10	11			20–43
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	20–84				
<i>Thalassiosira nordenskioeldii</i>	18–43				
<i>Thalassiosira rotula</i>	60				
<i>Thalassiosira</i> sp.	24–49				39
Cryptophyta					
<i>Cryptomonas acuta</i> *		11–25			
<i>Plagioselmis prolunga</i> *	10–18	19–55	23–26	24–73	
<i>Plagioselmis punctata</i> *		21–30	20–66	30–51	
Dinophyta					
<i>Ceratium fusus</i>					25–29
<i>Ceratium longipes</i>					47
<i>Gymnodinium agiliforme</i> *	23–32		20		
<i>Gymnodinium blax</i> *		24		28	29
<i>Gymnodinium elongatum</i>				27	
<i>Gymnodinium galeatum</i> *				27	
<i>Gymnodinium simplex</i> *				23–29	
<i>Gymnodinium wulffii</i>				40	32
<i>Gymnodinium</i> sp.			24–46	21–37	
<i>Gyrodinium</i> cf. <i>flagellare</i>	20	22–28			
<i>Heterocapsa rotundata</i> *				14–27	
<i>Katodinium glaucum</i> *	22				
<i>Katodinium rotundatum</i> *		27–49			
<i>Protoperidinium conicoides</i>			20		

Примечание: звездочками здесь и далее отмечены виды, не указанные ранее в числе доминирующих в заливе Анива.

Таблица 4

Доминирующие виды фитопланктона в заливе Анива в 2001 г.
(средний процент от общей биомассы микроводорослей
по станциям 1, 5, 7, 9, 18, 21, 23)

Вид	IV	VI	VIII	X	XI
Cyanophyta					
<i>Dictyocha speculum</i>					29–44
<i>Synechococcus</i> sp.			23–68		
Bacillariophyta					
<i>Chaetoceros compressus</i>				40–77	
<i>Chaetoceros convolutes</i>				25	
<i>Chaetoceros radicans</i> (споры)	21			21	
<i>Coretron criophyllum</i>			48–83		
<i>Coscinodiscus</i> aff. <i>oculus-iridis</i>	34				
<i>Coscinodiscus</i> sp.	53				
<i>Cylindrotheca closterium</i>		49			
<i>Dactylosolen fragilissimus</i>			20–49	23	29–61
<i>Guinardia striata</i>					24
<i>Pleurosigma formosum</i>	31				
<i>Pseudo-nitzschia calliantha</i>			20		
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>			40		
<i>Rhizosolenia hebetate</i>			33–51		
<i>Rhizosolenia pungens</i>			64	29	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	22		27–40	27	
<i>Thalassionema frauenfeldii</i>		20			
<i>Thalassionema nitzschioides</i>					
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i>	26–97	20–42			
<i>Thalassiosira gravida</i>	45–89				88
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	20–72	23–45			
<i>Thalassiosira rotula</i>	80				
<i>Thalassiosira punctigera</i>	45				50
<i>Thalassiosira</i> sp.	27–51		43	39	21–78
Dinophyta					
<i>Alexandrium</i> sp.		22–85			
<i>Ceratium fusus</i>			43	25–29	20–47
<i>Ceratium longipes</i>				47	20–56
<i>Dinophysis fortii</i> *					25
<i>Diplopsalis lenticula</i>					23
<i>Gymnodinium agiliforme</i>		23–31			
<i>Gymnodinium blax</i>		21		29	
<i>Gymnodinium elongatum</i>				21	
<i>Gymnodinium simplex</i>		23	29		
<i>Gymnodinium splendens</i>			50		
<i>Gymnodinium wulfii</i>				32	35
<i>Gymnodinium</i> sp.			29–31		
<i>Gyrodinium falcatum</i>		21			
<i>Gyrodinium fusiforme</i>		25	45		
<i>Gyrodinium lachrymal</i>		40–84	43–62		
<i>Gyrodinium spirale</i>		25–31			
<i>Heterocapsa rotundata</i>		35			
<i>Ceratium fusus</i>			43	25–29	20–47
<i>Ceratium longipes</i>				47	20–56
<i>Katodinium rotundatum</i>		21–45			
<i>Oxytoxum variabile</i>			58		
<i>Polykrikos schwartzii</i>					26
<i>Protoperidinium conicoides</i>			93		
<i>Protoperidinium divergens</i>					44
<i>Protoperidinium pallidum</i>					45
Euglenophyta					
<i>Eutreptiella braarudii</i> *		49			

Таблица 5

Доминирующие виды фитопланктона в заливе Анива в 2002 г.
(средний процент от общей численности микроводорослей
по станциям 1, 5, 7, 9, 18, 21, 23)

Вид	I	IV	VI	VIII	XI
Bacillariophyta					
<i>Chaetoceros socialis</i>					53–81
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>				51	
<i>Leptocylindrus cf. minimus</i> *			40		
<i>Porosira sp.</i>		66			
<i>Pseudo-nitzschia americana</i> *					24–30
<i>Skeletonema costatum</i>				31–53	20–81
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	26–86			21–86	
<i>Thalassiosira sp.</i>		24–83			
Cryptophyta					
<i>Plagioselmis prolunga</i>			20–92		45–50
<i>Plagioselmis sp.</i>	20–29	27–65	35–40	25–52	38–87
Dinophyta					
<i>Gymnodinium blax</i>		27–32	27	21–28	
<i>Gymnodinium galeatum</i>		29	27–36	20–31	
<i>Gymnodinium sp.</i>		28	86		

Таблица 6

Доминирующие виды фитопланктона в заливе Анива в 2002 г.
(средний процент от общей биомассы микроводорослей
по станциям 1, 5, 7, 9, 18, 21, 23)

Вид	I	IV	VI	VIII	XI
Bacillariophyta					
<i>Corethron cryophilum</i>	40			73	22
<i>Coscinodiscus aff. oculus-iridis</i>	81				
<i>Coscinodiscus sp.</i>				61	
<i>Chaetoceros socialis</i>					22–32
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>				73	22
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>					23–26
<i>Rhizosolenia hebeta f. hebeta</i>			32	27–47	
<i>Rhizosolenia pungens</i>				29–31	
<i>Rhizosolenia setigera</i>			24	28–49	28
<i>Skeletonema costatum</i>			23		22–59
<i>Thalassionema nitzschioides</i>					21–47
<i>Thalassiosira gravis</i>	45–57				26–47
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	25	66			
<i>Thalassiosira rotula</i>	39				
<i>Thalassiosira sp.</i>	20–43	73	22	21–55	28–36
Cryptophyta					
<i>Plagioselmis prolunga</i>			57		
Dinophyta					
<i>Alexandrium tamarense</i>			20–77		49
<i>Dinophysis acuminata</i>					30
<i>Gonyaulax alaskense</i>					49
<i>Gonyaulax diegensis</i>	38				
<i>Gonyaulax spinifera</i>					
<i>Gyrodinium fusiforme</i>					
<i>Gyrodinium lachryma</i>	38	76–83		36–86	36–67
<i>Gyrodinium spirale</i>			32		
<i>Gyrodinium sp.</i>			94		
<i>Gymnodinium galeatum</i>			20		
<i>Gymnodinium sanguenum</i>				33	
<i>Gymnodinium sp.</i>			24–57		
<i>Heterocapsa triquetra</i>			24–44		

Жгутиковые водоросли преобладали на всех станциях по численности, исключая станцию 5, где массового развития все еще достигали типичные для зимнего планктона диатомеи рода *Thalassiosira*. По биомассе преимущественно доминировали диатомовые водоросли. Небольшое увеличение биомассы жгутиковых отмечено на станциях 7, 9 и 23 в центре и в открытых водах залива.

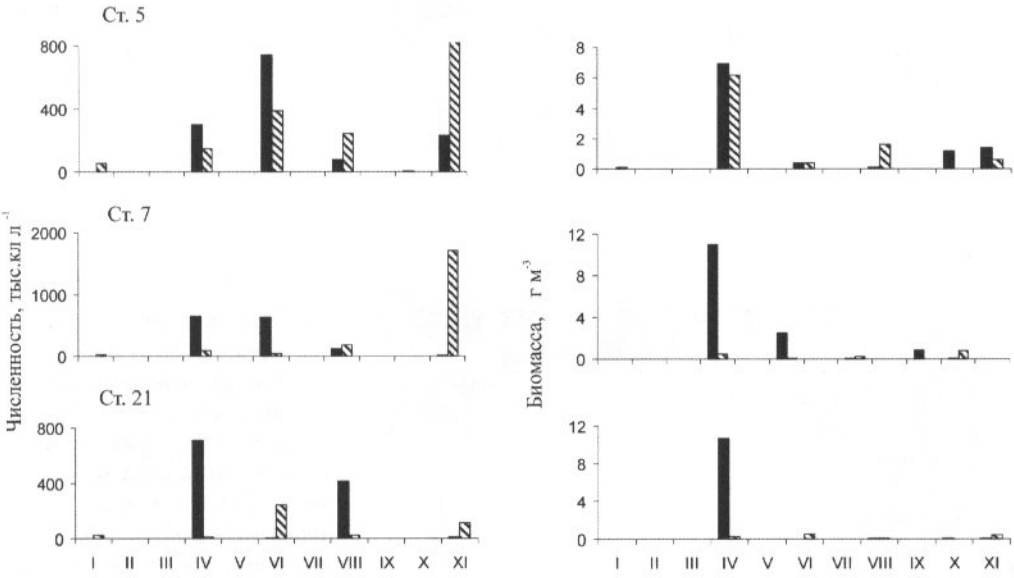


Рис. 6. Сезонные изменения общей численности (тыс. кл*л⁻¹) и биомассы (г*м⁻³) фитопланктона на станциях 5, 7 и 21 у поверхности воды в 2001 и 2002 гг. (столбики слева и справа соответственно)

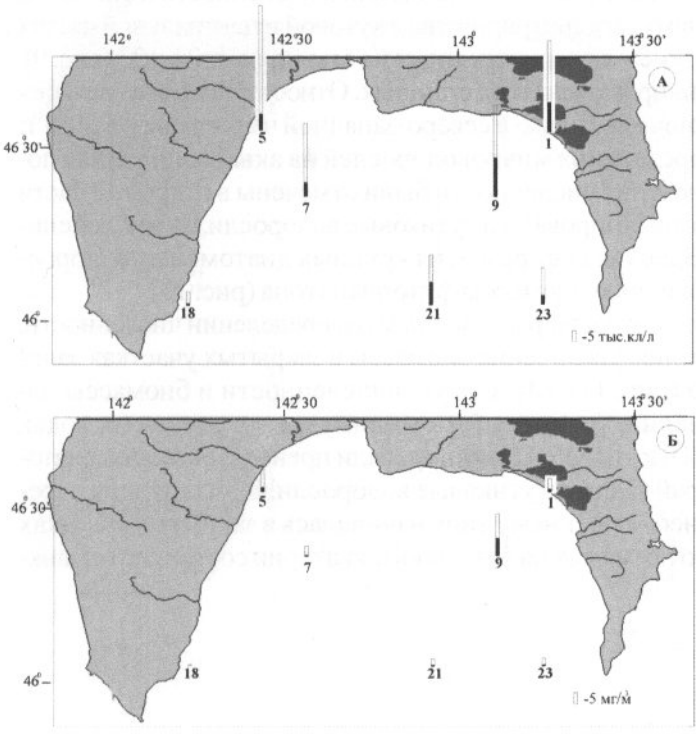


Рис. 7. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона у поверхности воды в заливе Анива в январе 2002 г. Белые столбики – диатомовые водоросли, черные столбики – жгутиковые водоросли

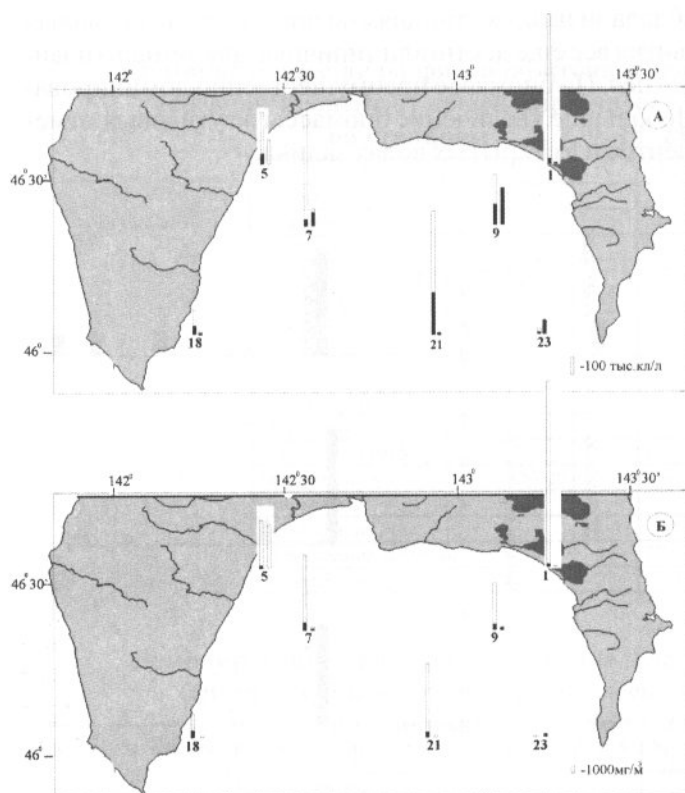


Рис. 8. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона у поверхности воды в заливе Анива в апреле 2001 г. (левые столбики) и 2002 г. (правые столбики). Белые столбики – диатомовые водоросли, черные столбики – жгутиковые водоросли

Летом горизонтальное распределение фитопланктона отличалось неравномерностью. В июне 2001 и 2002 гг. наиболее высокие значения численности и биомассы микроводорослей по-прежнему зарегистрированы в кутовой и центральной частях залива (станции 1, 5 и 7), низкие – в открытых водах на станциях 18, 21 и 23 (рис. 9). Жгутиковые водоросли доминировали на всех станциях. Относительно высокая численность диатомовых сохранялась только в северо-западной части залива в 2001 г.

В августе картина распределения микроводорослей на акватории залива поменялась. Более высокие значения численности были отмечены в открытой части залива. Почти повсеместно доминировали жгутиковые водоросли, за исключением западной части залива. Здесь за счет развития крупных диатомовых водорослей отмечено заметное увеличение биомассы фитопланктона (рис. 10).

В октябре 2001 г. при относительно равномерном распределении численности, зарегистрировано существенное увеличение биомассы в закрытых участках залива и у его западного берега (рис. 11). Максимумы численности и биомассы наблюдали в кутовой части залива (станция 5), а минимумы – в открытых водах (станции 21 и 23). В кутовой части бухты доминировали преимущественно диатомеи, тогда как в мористых районах – жгутиковые водоросли. В этот период перестройка сообщества от летнего к осеннему типу начиналась в закрытых участках залива (станции 1, 5 и 7), в то время как на остальной акватории состав фитопланктона оставался летним.

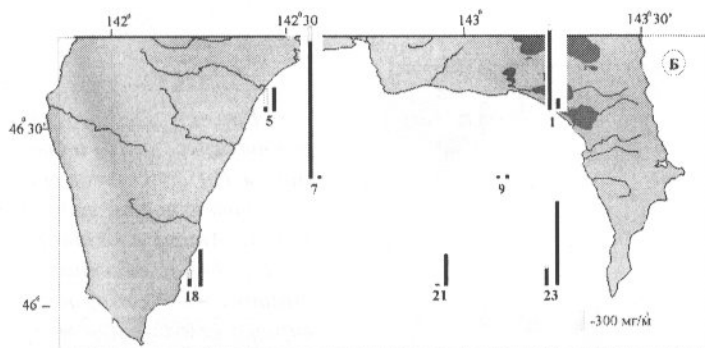
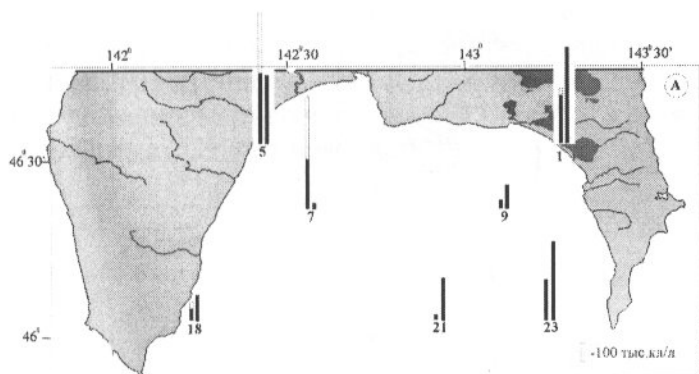


Рис. 9. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона у поверхности воды в заливе Анива в июне 2001 г. (левые столбики) и 2002 г. (правые столбики). Белые столбики – диатомовые водоросли, черные столбики – жгутиковые водоросли

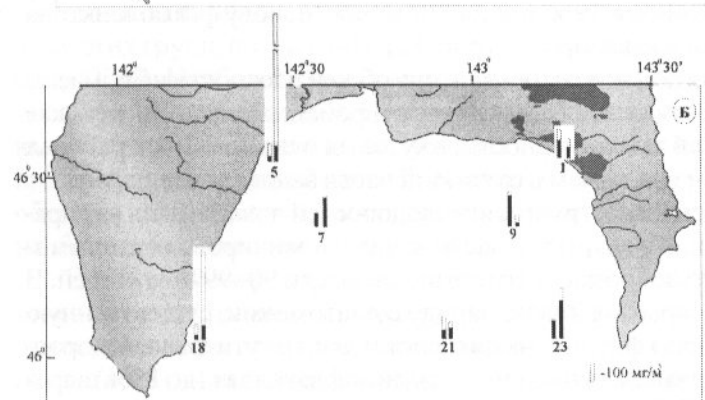
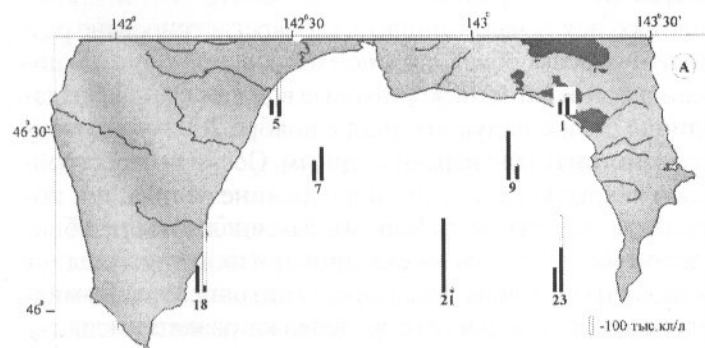


Рис. 10. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона у поверхности воды в заливе Анива в августе 2001 г. (левые столбики) и 2002 г. (правые столбики). Белые столбики – диатомовые водоросли, черные столбики – жгутиковые водоросли

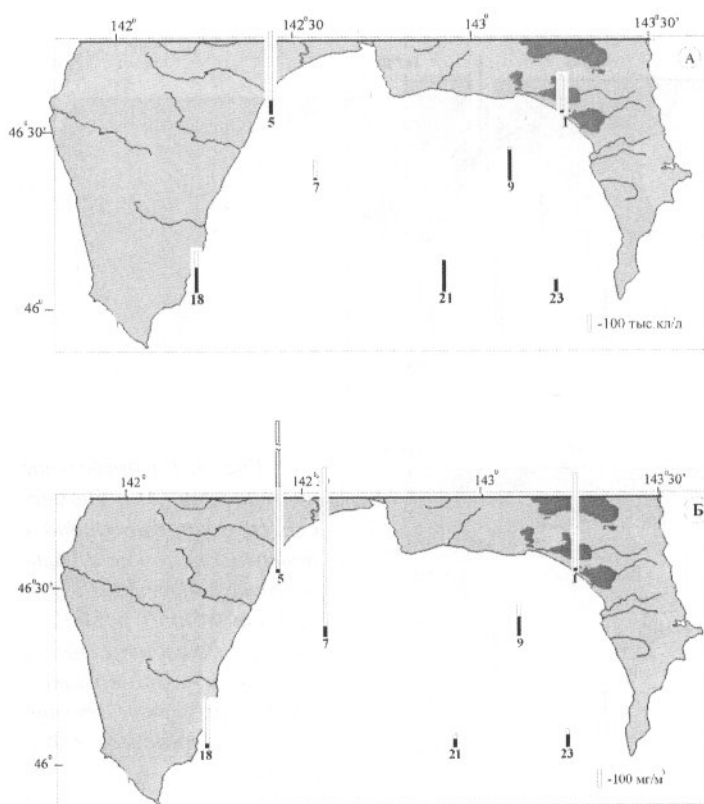


Рис. 11. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона у поверхности воды в заливе Анива в октябре 2001 г. Белые столбики – диатомовые водоросли, черные столбики – жгутиковые водоросли

В ноябре 2001 г. горизонтальное распределение фитопланктона отличалось равномерностью на всех станциях, исключая станцию 5, где зарегистрировано резкое увеличение численности и биомассы, обусловленное массовым развитием диатомовых водорослей. На остальной акватории жгутиковые водоросли преобладали над диатомовыми. В отличие от предыдущего года в ноябре 2002 г. горизонтальное распределение фитопланктона было неравномерным. Осенняя перестройка сообщества завершилась в закрытых участках и в середине залива, но, по-видимому, пока не затронула мористые станции. Максимумы численности и биомассы отмечены в центральной части залива на станции 7, а их минимумы – в центре залива и в открытых водах на станциях 9 и 23. Высокая концентрация микроводорослей в кутовой части и в середине залива определялась развитием диатомовых водорослей. В то же время на мористых станциях основу фитопланктона все еще составляли жгутиковые водоросли (рис. 12).

Таким образом, горизонтальное распределение общей плотности и биомассы было неравномерным на протяжении большей части времени исследования и, как правило, подчинялось общей закономерности: в кутовых и центральных районах залива эти показатели были выше, чем в открытой части залива.

Анализ соотношения основных групп микроводорослей показал, что, как правило, зимой, весной и осенью в закрытой части залива доминировали диатомовые водоросли, численность и биомасса которых достигали 90–99% от общей. В средней части залива и в открытых водах, наряду с диатомеями, существенную часть численности и биомассы фитопланктона составляли жгутиковые водоросли (рис. 13). Так, наиболее высокая численность динофлагеллят (до 89%) заре-

гистрирована в апреле 2002 г. на мористой станции 21. Динофлагелляты вносили также существенный вклад в общую биомассу фитопланктона (до 53–92%) в ноябре 2001 г. (станция 7) и в октябре–ноябре 2002 г. (станция 21). Крптофитовые доминировали по численности (до 67%) в октябре 2001 г. (станция 21), а золотистые (32%) – в ноябре 2001 г.

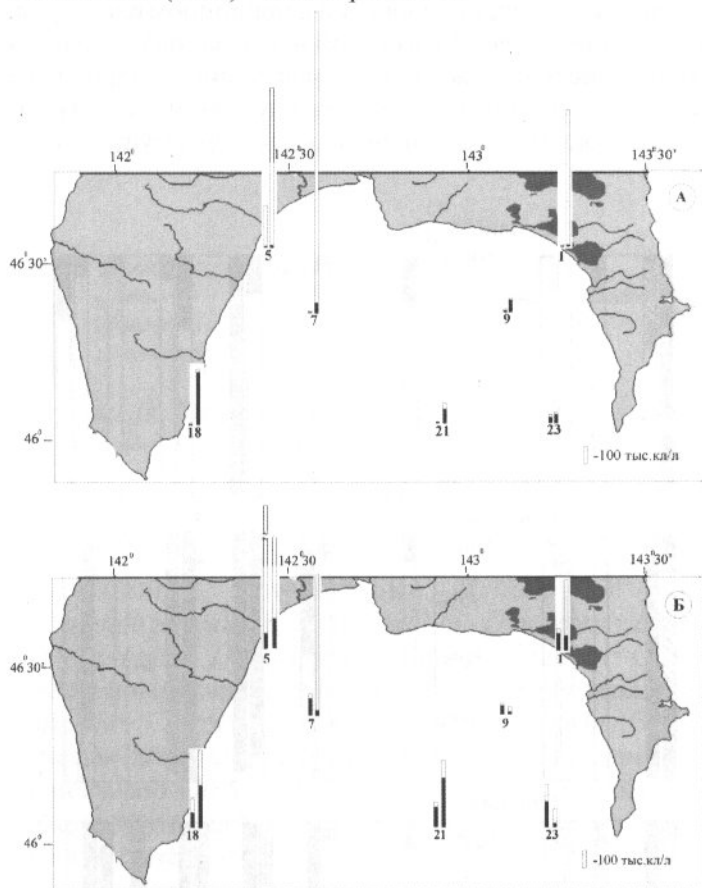


Рис. 12. Распределение численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона у поверхности воды в заливе Анива в ноябре 2001 г. (левые столбики) и 2002 г. (правые столбики). Белые столбики – диатомовые водоросли, черные столбики – жгутиковые водоросли

Летом в сообществе на всех станциях возрастала роль жгутиковых микроводорослей, среди которых наиболее высокой численности (до 99%) достигали динофлагелляты, мелкие жгутиковые (до 63%) и криптофитовые (до 57%). Наиболее высокая численность этих групп микроводорослей зарегистрирована в северной части залива (станция 5). В открытых водах (станция 21), наряду с представителями этих групп, по численности доминировали сине-зеленые (до 81%) и золотистые (32%). Наиболее существенный вклад среди жгутиковых водорослей в биомассу фитопланктона (до 97%) вносили динофлагелляты, а в открытой части залива – эвгленовые водоросли (до 50%). Из полученных данных следует, что по мере продвижения из кутовой части залива к его открытым участкам возрастали разнообразие, численность и биомасса различных групп жгутиковых организмов, что наиболее отчетливо проявлялось летом.

Вертикальное распределение микроводорослей существенно изменялось в течение года в разных частях залива. Зимой микроводоросли распределялись относительно равномерно в толще воды по всей акватории залива. Весной и в начале лета (июнь) микроводоросли были сконцентрированы преимущественно

в верхних горизонтах (рис. 14). Сходная картина вертикального распределения фитопланктона отмечена в августе в центральной и открытой частях залива (станции 7, 21). В кутовой части залива (станция 5), на фоне относительно равномерного распределения фитопланктона по горизонтам, напротив, прослеживалось увеличение численности и биомассы микроводорослей в придонном слое воды. Осенью (октябрь–ноябрь) и зимой (январь) в кутовой части залива также наблюдали относительное увеличение численности и биомассы микроводорослей в промежуточных и придонных горизонтах. Однако в середине залива и в открытых водах, как и летом, микроводоросли были сконцентрированы преимущественно в верхних слоях воды.

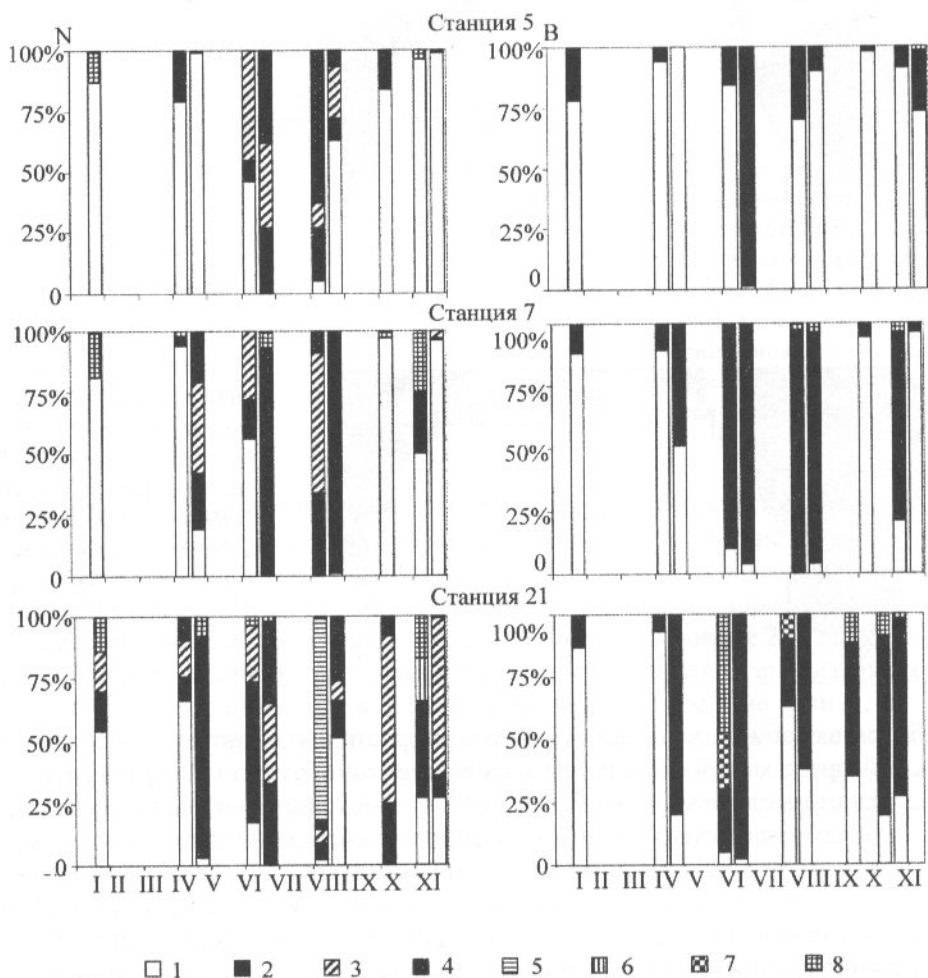


Рис. 13. Сезонные изменения численности (N) и биомассы (B) отдельных групп микроводорослей (в процентах от общей численности и биомассы фитопланктона у поверхности воды на станциях 5, 7 и 21 в 2001 и 2002 гг. (столбики слева и справа соответственно): 1 – диатомовые, 2 – динофитовые, 3 – криптофитовые, 4 – «мелкие жгутиковые» водоросли, 5 – сине-зеленые, 6 – золотистые, 7 – рафидофитовые, 8 – эвгленовые

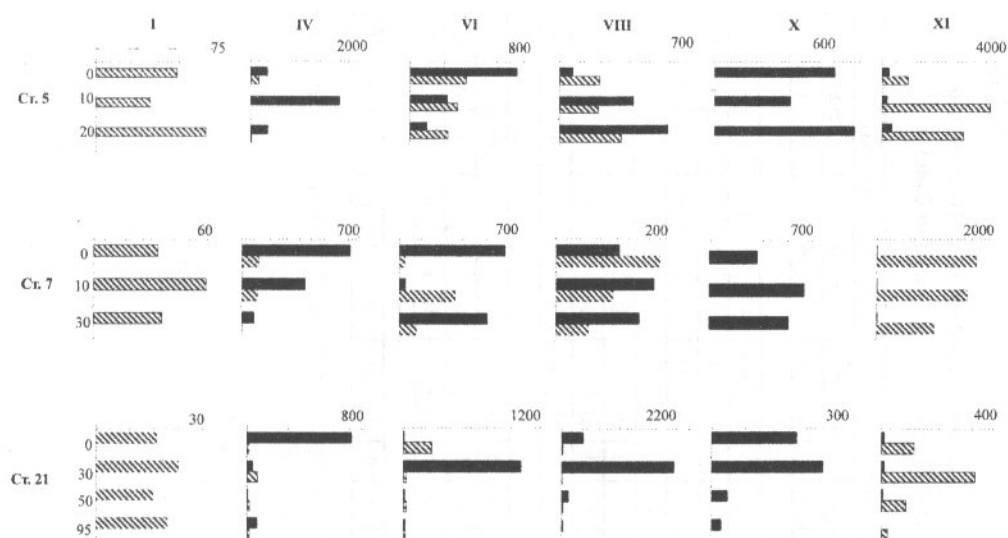


Рис. 14. Вертикальные изменения общей численности (тыс. кл.*л⁻¹) фитопланктона на станциях 5, 7 и 21 в 2001 и 2002 гг. (черная заливка – 2001 г., полосатая штриховка – 2002 г.)

В заливе Анива были зарегистрированы 16 потенциально токсичных видов микроводорослей. Это диатомовые *Pseudo-nitzschia multiseries*, *P. pungens*, *P. calliantha*, динофитовые *Alexandrium acatenella*, *A. tamarense*, *A. pseudogonyaulax*, *A. ostenfeldii*, *Dinophysis acuminata*, *D. acuta*, *D. fortii*, *D. norvegica*, *D. rotundata*, *Karenia brevis* (= *Gymnodinium breve*), *Karenia mikimotoi* (= *G. mikimotoi*), *Prorocentrum minimum* и рафидофитовая *Heterosigma akashiwo*. Среди них наиболее многочисленными были *Pseudo-nitzschia calliantha*, *Pseudo-nitzschia multiseries* и *Alexandrium tamarense*. Максимальные концентрации *Pseudo-nitzschia calliantha* (около 600 тыс. кл.*л⁻¹) и *Alexandrium tamarense* (около 50 тыс. кл.*л⁻¹) отмечены на фоне летних пиков численности фитопланктона в августе 2001 г. и в июне 2002 г. соответственно. Максимум численности *Pseudo-nitzschia multiseries* (около 50 тыс. кл.*л⁻¹) зарегистрирован в ноябре 2002 г. во время осеннего «цветения» фитопланктона.

С целью верификации полноты списка потенциально токсичных видов, обнаруженных ранее, и выяснения продолжительности их нахождения в планктоне в течение безледового периода 2003 г. проводили количественные сборы фитопланктона с 25 мая по 15 декабря 2003 г. с близкой к декадной дискретностью в прибрежье северо-западной части залива Анива. Обнаружены 10 потенциально токсичных видов из 16-ти, зарегистрированных в заливе Анива в 2001–2002 гг. Полученные результаты представлены в таблице 7. По частоте встречаемости преобладал вид *Pseudo-nitzschia pungens* – 52% (ASP-токсин); далее отмечены *Dinophysis acuminata* – 35% (DSP-токсин); *Alexandrium tamarense* – 17% (PSP-токсин); *Prorocentrum minimum* – 13% (VSP-токсин). Частота встречаемости остальных шести видов не превышала 5%. Наибольшая длительность нахождения в планктоне отмечена для *Pseudo-nitzschia pungens* – с 15 июля по 15 сентября и с 25 октября по 12 декабря 2003 г. Максимальная концентрация этого вида (22,3 тыс. кл.*л⁻¹), зарегистрированная в середине августа 2003 г., на порядок превосходила концентрации токсичных микроводорослей родов *Alexandrium*, *Dinophysis* и *Prorocentrum* (см. табл. 7).

Таблица 7

Концентрация потенциально токсичных видов фитопланктона (в кл./л) у бенча пос. Таранай¹, рейда пос. Песчанское² и рейда пос. Кириллово³ (северо-западная часть залива Анива, Охотское море) с 25 мая по 15 декабря 2003 г.

Видовое название	Дата отбора количественной пробы токсичного фитопланктона (месяц, число, место сбора)																							
	май		июнь		июль		август		сентябрь		октябрь		ноябрь		декабрь									
	25 ¹	5 ¹	15 ²	25 ¹	5 ²	15 ¹	23 ³	26 ³	5 ¹	7 ²	15 ¹	5 ¹	15 ¹	25 ¹	5 ¹	15 ¹	25 ¹	5 ¹	14 ¹	25 ¹	5 ¹	12 ¹	15 ¹	
ASP-токсичные виды																								
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	0	0	0	0	0	1227	1705	0	779	1881	22308	82	32	0	0	0	508	1435	0	137	773	26	0	0
<i>Pseudo-nitzschia multistriata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2318	0	0	0
<i>Pseudo-nitzschia calliantha/caciantha</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	154	0	0	0
PSP-токсичные виды																								
<i>Alexandrium acatenella</i>	0	0	0	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Alexandrium tamarense</i>	0	36	0	127	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSP-токсичные виды																								
<i>Dinophysis acuminata</i>	0	54	0	21	0	0	244	0	0	129	405	0	64	0	38	0	0	0	0	0	0	0	52	0
<i>Dinophysis acuta</i>	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dinophysis fortii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0
VSP-токсичный вид																								
<i>Prorocentrum minimum</i>	0	0	0	63	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0

Координаты отбора проб: 1. Бенч пос. Таранай – 46°40'N, 142°29'E; 2. Рейд пос. Песчанское – 46°42'N, 142°35'E; 3. Рейд пос. Кириллово – 46°29'N, 142°24'E.

Вид *Alexandrium tamarense* достигал наибольших концентраций в июне, также как и *Prorocentrum minimum*. В то же время наиболее высокие значения численности динофлагеллят рода *Dinophysis* зарегистрированы в середине августа 2003 г. Несмотря на невысокие концентрации, отмеченные в заливе Анива в 2003 г., токсичные виды трех родов – *Pseudo-nitschia*, *Alexandrium* и *Dinophysis* определяют потенциальную опасность амнезического, паралитического и диарейного отравления моллюсками, как у северо-западного побережья залива Анива, так и в его мористой части.

ОБСУЖДЕНИЕ

Отмеченная нами изменчивость биомассы и численности фитопланктона, как сезонная, так и межгодовая, может быть объяснена в том числе влиянием адвекции вод. Так, благоприятные условия для повышенной концентрации фитопланктона складывались при преобладании северной компоненты течений на открытой границе залива Анива и наблюдались в апреле 2001 г. Напротив, при стоке вод из залива мы отмечали здесь на порядок меньшие значения биомассы фитопланктона (апрель 2002 г.). Следует отметить, что геострофический расчет расхода течений обладает погрешностью в связи с невозможностью учета баротропной составляющей для определения полного потока. Тем не менее, картина влияния адвекции на повышение биомассы и создание условий для продуцирования фитопланктона в период весенней вспышки выглядит правдоподобно. То же можно сказать и для рассмотренных нами сопоставлений данных биомассы и численности фитопланктона с величинами адвекции вод на открытой границе залива Анива в 2001–2002 гг. и для других сезонов.

Начало весенней вспышки фитопланктона происходило при малой устойчивости вод, преобладании в этом параметре соленостной составляющей и минимальном водообмене залива с Охотским морем. Последующий прогрев верхнего слоя моря и рост за его счет параметра устойчивости вод создавали условия для накопления фитопланктона на пикноклине в глубоководной части залива Анива. В мелководной северной части залива фитопланктон продолжает поддерживаться за счет апвеллинга и подтока биогенных веществ, вероятно, неорганического кремния (Пропп, Гаврина, 2005) в фотический слой с глубины, распределяясь затем с южными течениями вдоль западного и восточного побережий залива. Вертикальное распределение общей численности фитопланктона, выявленное нами на станциях 5, 7 и 21, подтверждало подъем вод на прибрежных станциях 5 и 7, в то время как для расположенной мористее станции 21 наблюдали классическое распределение фитопланктона в верхнем фотическом слое (см. рис. 14).

Наличие повышенных значений хлорофилла-«а» в северной части залива по сравнению с его глубоководной и центральной частями согласуется с опубликованными данными (Гаврина и др., 2005) по оценке сезонной изменчивости спутниковых и судовых измерений концентрации хлорофилла-«а» в период 2001–2002 гг. Параметры вертикальной устойчивости вод с июня по октябрь превышали показатели соленостной составляющей устойчивости для глубоководных станций 9 и 21. В период с ноября по апрель процессы вертикальной устойчивости вод контролировались соленостной составляющей и характеризовались минимальными значениями биомассы и численности фитопланктона. Для мелководных станций отмечалось преобладание соленостной составляющей параметра устойчивости в августе 2002 г. (станция 1). Возможно, что соотношение Et/Es , или плотностное число

Рр (Обработка данных..., 1993) необходимо использовать при анализе пространственного распределения фитопланктона и его районирования на сообщества открытых вод и прибрежного комплекса.

Диагностированная осенью 2002 г. для залива Анива гидродинамическая пара циклон–антициклон позволяет объяснить повышенные распределения фитопланктона в северной, западной и, отчасти, центральной частях залива. Опубликованные данные по дрейфтерным экспериментам на шельфе и свале глубин восточного Сахалина (Oshima et al., 2003) показали траектории дрейфтерных буюв, совпадающие с выявленными системами течений в заливе. Полученное по дрейфтерным буюм распределение потоков подтверждало наличие южных течений вдоль западного и восточного берегов залива Анива. Если картина распределения течений по заливу верна в другие сезоны, то в северной части залива создаются благоприятные условия для развития фитопланктона. Однако, как показано нами в настоящей работе, смена адвекции вод в апреле 2002 г. привела к значительному снижению биомассы фитопланктона в заливе. Адвекция вод видится одним из главных контролирующих обилие фитопланктона океанографических факторов, и отражает динамику годового хода уровня моря в заливе (Романов и др., 2005), сезонную изменчивость Восточно-Сахалинского потока и течения Соя, а также их взаимодействие в районе пролива Лаперуза.

Исследования устойчивости существования гидродинамической пары, состоящей из прибрежного циклона и глубоководного антициклона в заливе Анива, выходят за рамки настоящей статьи и представляют собой отдельную тему натурных экспериментов и моделирования, с необходимостью учета топографии дна, характера водообмена с открытым морем, воздействия атмосферы и пресного стока в залив Анива.

Полученные нами данные о сезонном развитии фитопланктона, в целом, согласуются с имеющимися в литературе сведениями. Так, Л. И. Смирнова (1959) отмечала в неритической зоне Охотского моря преимущественно один (весенний) максимум биомассы фитопланктона. «Цветение» фитопланктона в Охотском море начинается сразу после схода льда: на юге это апрель–май. Согласно теоретически рассчитанному ходу развития фитопланктона Охотского моря, максимальная продукция обеспечивается диатомовыми водорослями и приходится на май–начало июня (Леонов, Сапожников, 1997; Сорокин, 1997). В результате нашего исследования максимум биомассы фитопланктона, обусловленный развитием диатомовых водорослей, в заливе Анива в 2001–2002 гг. также наблюдали весной.

В то же время зарегистрированные нами максимальные значения биомассы ($35,7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$) существенно превышали таковые, отмеченные в 50-е годы прошлого столетия в неритической зоне на севере Охотского моря ($0,8\text{--}4,5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$) (Смирнова, 1959), и приближались к показателям ($15 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$), отмеченным в пятнах весеннего «цветения» в районе зал. Пилтун в 1992 г. (Сорокин, 1997). Весеннее «цветение» на исследованной акватории было вызвано развитием неритических холодноводных видов диатомовых родов *Thalassiosira*, *Navicula*, *Chaetoceros*, что характерно для Охотского моря и других морей субарктической зоны (Смирнова, 1959; Waite et al., 1992; Сорокин, 1997).

Ранее в годовом цикле развития фитопланктона в лагуне Буссе, расположенной в восточной части залива Анива, были установлены три пика численности – весной, летом и осенью (Колганова, 1980; Колганова, Хрушкова, 1987). Нами также зарегистрированы три пика численности микроводорослей (зимне-весенний, летний и осен-

ний). Однако отмеченные нами максимумы численности (3,1 млн. кл.*л⁻¹ в августе 2001 г. и 3,7 млн. кл.*л⁻¹ в ноябре 2002 г.) были более чем на порядок выше летнего максимума (до 20 тыс. кл.*л⁻¹) и значений численности весной и осенью (5–16 тыс. кл.*л⁻¹), указанных для лагуны Буссе залива Анива за период 1979–1981 гг. (Колганова, Хрушкова, 1987). Средние значения численности и биомассы фитопланктона у поверхности воды (118–177 тыс. кл./л и 0,1–0,4 г*м⁻³ соответственно), отмеченные нами в августе в заливе Анива, оказались близки соответствующим показателям (численность больше 100 тыс. кл.*л⁻¹ и биомасса 0,1–0,2 г*м⁻³), приведенным И. А. Киселевым (1959) для этого района по результатам количественных сборов в июле–сентябре 1947 г.

Наряду с сезонными изменениями количественных характеристик фитопланктона нами зарегистрированы и их межгодовые изменения. Так, весной (апрель) и летом (июнь) в 2001 г. численность и биомасса микроводорослей были заметно выше, чем в 2002 г., тогда как в ноябре 2002 г., напротив, численность микроводорослей, как правило, превышала таковую в 2001 г. На фоне близких для 2001 и 2002 гг. средних по станциям за весь период изучения значений численности (238,2 и 259 тыс. кл.*л⁻¹ соответственно) средняя биомасса фитопланктона в 2001 г. (2,2 г*м⁻³) была более чем в четыре раза выше, чем в 2002 г. (0,5 г*м⁻³). Относительно низкий уровень количественного развития фитопланктона летом 2002 г., по видимому, может быть частично объяснен холодными погодными условиями и опреснением акватории залива Анива, обусловленным необычно большим количеством осадков и повышенным стоком речных вод (Будаева и др., 2005).

Согласно полученным ранее данным (Киселев, 1959; Колганова, 1980; Колганова, Хрушкова, 1987; Федотова, Колганова, 1987), летом и осенью в заливе Анива доминируют виды родов диатомовых водорослей *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema*, *Thalassiosira*, *Coscinodiscus* и динофлагеллят *Prorocentrum* и *Ceratium*. Представители этих родов чаще других доминировали и в нашем исследовании. Вместе с тем наши данные свидетельствуют о массовом развитии в заливе Анива потенциально токсичных микроводорослей родов *Pseudo-nitzschia* и *Alexandrium*, а также мелкоклеточных криптофитовых, динофлагеллят и сине-зеленых водорослей. Многие из этих организмов ранее в заливе Анива не указывались в числе доминирующих (см. табл. 2–4). Известно, что представители этих групп фитопланктона многочисленны и широко распространены в прибрежных водах Японского и Охотского морей (Коновалова и др., 1989; Вентцель, 1997; Стоник, Орлова, 1998; Орлова и др., 2004). Несмотря на значительную роль этих организмов в продуктивности морских экосистем, они существенно недооцениваются исследователями при проведении рутинных гидробиологических наблюдений.

Выявленные нами особенности вертикального распределения фитопланктона, связанные как с увеличением численности и биомассы в поверхностных слоях воды весной и летом в условиях оптимальной освещенности, так и с массовым развитием микроводорослей преимущественно на промежуточных и придонных горизонтах в период вертикальных движений вод, являются типичными для фитопланктона шельфовых зон дальневосточных морей России (Коновалова, 1984; Коновалова, Орлова, 1988).

В закрытых участках залива Анива мы наблюдали заметное увеличение численности и биомассы фитопланктона и раннее начало (август) сезонной перестройки сообщества от летней стадии к осенней, не отмеченной в мористых районах, где еще развивались типично летние виды. Неоднородность горизонтального распределения, связанная со снижением общей численности и биомассы микроводорос-

лей и увеличением роли жгутиковых в фитопланктоне на мористых станциях, вероятно, связана с особенностями гидрологического режима в районе исследования. Закрытые прибрежные участки залива в наибольшей степени подвержены влиянию сезонных колебаний температуры, объема берегового стока и других факторов по сравнению с открытыми водами. Вместе с тем известно, что фитопланктон на прибрежных акваториях о. Сахалин, даже на смежных участках, может сильно различаться и в одно и то же время может находиться в разных сукцессионных фазах, которым соответствует различный состав видов-доминантов (Шунтов, 2001). Общая закономерность, выражающаяся в смене доминирующих групп микроводорослей и увеличении численности динофлагеллят в летний период, была отмечена ранее для прибрежных вод о. Сахалин (Гайл, 1963; Сорокин, Федоров, 1976). Подтверждением этой закономерности могут служить и полученные нами данные об увеличении численности динофитовых, криптофитовых, сине-зеленых и золотистых водорослей в летнем планктоне залива Анива.

Воды залива Анива, учитывая общую численность и биомассу фитопланктона, можно считать мезотрофными с увеличением уровня трофности до промежуточного типа между мезотрофным и евтрофным в периоды «цветения» микроводорослей.

Таким образом, в результате проведенного исследования выявлены особенности сезонного и пространственного распределения фитопланктона в заливе Анива. Определена численность и биомасса организмов пико- и нанопланктона, которые нередко недооценивались исследователями при изучении фитопланктона субарктических вод. Получено полное представление о видах-доминантах фитопланктона залива Анива. Нами зарегистрировано около 80 доминирующих видов, многие из которых, в особенности мелкоклеточные организмы из разных систематических групп жгутиковых водорослей, не отмечались ранее в качестве массовых в районе исследования.

Вместе с тем невысокая частота отбора проб, в особенности в осенний и зимний периоды, затрудняла интерпретацию данных и определение сроков и интенсивности сезонных «цветений» фитопланктона. В связи с этим полученные нами сведения о сезонной динамике фитопланктона следует считать предварительными, особенно для организации мониторинга и сбора проб токсичных микроводорослей.

В заключении обсуждения отметим, что необходимо увеличение пространственно-временной частоты сбора, проведение дистанционных, альтиметрических экспериментов и измерений течений, в том числе получение вертикальных профилей для корректных расчетов адвекции вод на открытой границе залива. Вероятно, что такой подход к организации исследований вод и фитопланктона залива Анива позволит получить исчерпывающее представление о сезонных изменениях численности и биомассы фитопланктона для моделирования базовых трофических уровней его экосистемы, к пониманию механизмов функционирования которой мы в какой-то мере приблизились в настоящей работе.

ВЫВОДЫ

1. Адвекция вод оказывала выраженное влияние на показатели биомассы и численности фитопланктона, зависела от интенсивности и направленности водообмена на открытой границе залива Анива с Охотским морем. В свою очередь, величина водообмена зависела от разности уровней воды в заливе и близлежащей части Охот-

ского моря, определяясь состоянием Восточно-Сахалинского течения в осенне-зимний период и, отчасти, интенсивностью расхода течения Соя через пролив Лаперуза в весенне-летний период. Весенние вспышки фитопланктона начинались при минимальных значениях водообмена залива с Охотским морем, в период сезонной релаксации как Восточно-Сахалинского течения, так и течения Соя.

2. Полученные данные позволяют качественно определить систему течений в заливе как гидродинамическую пару циклон–антициклон. Взаимодействие рингов внутри залива сказывалось на распределении и условиях продуцировании фитопланктона. Дивергенция течений в северной части приводила к образованию апвеллинга. Показатели вертикальной устойчивости вод максимальны в теплый период года и в его северной части, определяются температурной составляющей. В зимне-весенний период параметр устойчивости вод полностью зависел от солености, приводя вертикальную стратификацию вод в неустойчивое состояние, и совпадал со снижением численности и биомассы фитопланктона до минимальных значений. Весенние вспышки фитопланктона начинались при преобладании соленостной составляющей в параметре вертикальной устойчивости. Роль вертикальной устойчивости водных масс в управлении биомассой фитопланктона в заливе требует нового исследования, в частности количественного сравнения адвективного фактора и сезонного цикла создание–фиксация–разрушение стратификации вод в заливе Анива.

3. Сезонная динамика фитопланктона в заливе Анива характеризовалась тремя пиками численности и биомассы: зимне-весенним, летним и осенним. В 2001 г. зимне-весеннее «цветение» фитопланктона (апрель) у поверхности воды было наиболее интенсивным, как по биомассе ($36,7 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$), так и по численности (около 700 тыс. кл. $\cdot \text{л}^{-1}$). В 2002 г. осеннее «цветение» характеризовалось наиболее высокой численностью (900 тыс. – 1,7 млн. кл. $\cdot \text{л}^{-1}$) при относительно низкой биомассе ($0,6\text{--}0,8 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$). Максимальное значение биомассы ($6,2 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$) в 2002 г. наблюдали в апреле. Летнее увеличение численности фитопланктона, как в 2001 г. (до 630–740 тыс. кл. $\cdot \text{л}^{-1}$), так и в 2002 г. (до 244–390 тыс. кл. $\cdot \text{л}^{-1}$), практически не сопровождалось возрастанием биомассы.

4. Горизонтальное распределение фитопланктона весной, летом и осенью отличалось неравномерностью. Численность и биомасса микроводорослей в северной и центральной частях залива, как правило, выше таковой на мористых станциях. По мере продвижения из северных районов залива в открытые воды отмечено увеличение разнообразия, численности и биомассы отдельных групп жгутиковых водорослей на протяжении большей части времени исследования.

5. Зимой, весной и осенью основу фитопланктона составляли диатомовые водоросли (до 90–99% от общей численности фитопланктона). Летом в планктоне возрастала роль жгутиковых водорослей, среди которых по плотности преобладали динофлагелляты (до 99%), сине-зеленые (до 81%), мелкие жгутиковые (до 63%), криптофитовые (до 57%) и золотистые (до 32%) водоросли, а по биомассе – динофлагелляты (97%) и эвгленовые водоросли (50%).

6. Вертикальное распределение фитопланктона весной и летом, как правило, отличалось неравномерностью с максимумами численности и биомассы в поверхностном слое и верхних промежуточных горизонтах. Осенью зарегистрировано относительно равномерное распределение микроводорослей на различных горизонтах с небольшим увеличением их концентрации на придонных и промежуточных горизонтах, что наиболее заметно проявлялось в северной части залива. Зимой вертикальное распределение численности и биомассы было равномерным с

небольшим увеличением на придонных и промежуточных горизонтах. В открытых водах залива во все сезоны, кроме зимнего, концентрация микроводорослей в придонных горизонтах была существенно ниже, чем у поверхности и на промежуточном горизонте 30 м.

7. Токсичные виды трех родов – *Pseudo-nitzschia*, *Alexandrium* и *Dinophysis*, определяют потенциальную опасность амнезического, паралитического и диарейного отравления моллюсками, как в северо-западном побережье залива Анива, так и в его мористой части. В связи с этим возникает необходимость организации мониторинга, контролирующего численность потенциально токсичных видов в планктоне, их цист в грунтах и содержание токсинов в тканях гидробионтов-фильтраторов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают свою искреннюю благодарность экипажу НИС «Дмитрий Песков» за безупречную работу в период круглогодичных исследований в заливе Анива в 2001–2002 гг.; компаниям «Компас Плюс», «Пиленга» за техническое содействие при установке и снятии прибрежных автономных станций осенью 2002 г.; Ю. В. Фефилову за операции с автономными станциями; И. Ю. Брагиной, Е. Н. Фомиченко – сотрудникам лаборатории биологической океанографии СахНИРО, за подготовку и проведение сборов фитопланктона в северо-западной части залива Анива в 2003 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипкин, В. С. Алгоритмы и программы на Фортране по обработке океанологической информации / В. С. Архипкин. – М. : МГУ, 1992. – 83 с.
2. Будаева, В. Д. Результаты гидрологических исследований залива Анива в 2001–2003 гг. (структура и циркуляция вод) / В. Д. Будаева, В. Г. Макаров, В. Н. Частиков // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 83–110.
3. Вентцель, М. В. Фитопланктон Охотского моря зимой и в начале весны 1990 г. / М. В. Вентцель // Комплекс. исслед. экосистемы Охотского моря. – М. : Изд-во ВНИРО, 1997. – С. 205–209.
4. Гаврина, Л. Ю. Сезонная изменчивость концентрации хлорофилла а в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям / Л. Ю. Гаврина, Ж. Р. Цхай, Г. В. Шевченко // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 156–178.
5. Гайл, М. М. Весенний фитопланктон юго-восточной части Татарского пролива / М. М. Гайл // Изв. ТИНРО. – 1963. – Т. 49. – С. 137–158.
6. Довгаль, Л. А. Водоросли в планктоне и донных осадках лагуны Буссе (остров Сахалин) / Л. А. Довгаль // Изв. Новосиб. отд-ния ГО СССР. – 1973. – Вып. 6. – С. 75–80.
7. Инструкция по производству наблюдений и обработке данных системы оперативных стандартных разрезов (ССОР). Сахалинский шельф. – Владивосток, 1988. – 36 с.
8. Киселев, И. А. Фитопланктон дальневосточных морей как показатель некоторых особенностей их гидрологического режима / И. А. Киселев // Тр. Гос. океанограф. ин-та. – 1947. – Вып. 1. – С. 189–212.
9. Киселев, И. А. Качественный и количественный состав фитопланктона и его распределение в водах у Южного Сахалина и южных Курильских островов / И. А. Киселев // Исслед. дальневост. морей. – 1959. – Вып. 6. – С. 58–77.
10. Колганова, Т. Н. Сезонное распределение фитопланктона в лагуне Буссе (залив Анива) / Т. Н. Колганова // Распред. и рац. использ. вод. зооресурсов Сах. и Курил. о-вов. – Владивосток, 1980. – С. 3–7.
11. Колганова, Т. Н. Сезонная характеристика планктона лагуны Буссе (залив Анива) / Т. Н. Колганова, Н. Г. Хрушкова // Итоги исслед. по вопр. рац. использ. и охраны вод., земел.

и биол. ресурсов Сах. и Курил. о-вов : Тез. докл. III науч.-практ. конф. (27–28 марта). – Ю-Сах., 1987. – С. 124–126.

12. Коновалова, Г. В. Сезонная характеристика фитопланктона в Амурском заливе Японского моря / Г. В. Коновалова // Океанология. – 1972. – Т. 12, вып. 1. – С. 123–128.

13. Коновалова, Г. В. Структура планктонного фитоценоза залива Восток Японского моря / Г. В. Коновалова // Биология моря. – 1984. – № 1. – С. 13–23.

14. Коновалова, Г. В. Структура фитопланктона мелководий северо-западной части Японского моря / Г. В. Коновалова, Т. Ю. Орлова // Биология моря. – 1988. – № 5. – С. 10–20.

15. Коновалова, Г. В. Атлас фитопланктона Японского моря / Г. В. Коновалова, Т. Ю. Орлова, Л. А. Паутова. – Л. : Наука, 1989. – 167 с.

16. Коновалова, Н. В. Содержание PSP-токсина в тканях гребешка зал. Анива (южный Сахалин) в период сезонного цветения *Alexandrium tamarense* / Н. В. Коновалова, Т. А. Могильникова // Фундам. исслед. – 2006. – № 3. – С. 81–83.

17. Коновалова, Н. В. Токсичный фитопланктон и содержание биотоксинов в тканях гребешка / Н. В. Коновалова, Т. А. Могильникова // Фундам. исслед. – 2006а. – № 9. – С. 100–103.

18. Леонов, А. В. Биогидрохимическая модель трансформации органических веществ и ее использование для расчета первичной продукции в экосистеме Охотского моря / А. В. Леонов, В. В. Сапожников // Комплекс. исслед. экосистемы Охотского моря. – М. : Изд-во ВНИРО, 1997. – С. 143–166.

19. Никонов, Ю. Ю. Численное моделирование циркуляции вод в заливе Анива по данным океанографической съемки 26–31 мая 2004 г. / Ю. Ю. Никонов // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 245–254.

20. Обработка данных океанографической станции : [Пер. с англ. яз.] / Сост. редкол. ОГОТС. – Севастополь : ЮНЕСКО–МГИ, 1993. – 136 с.

21. Орлова, Т. Ю. Видовой состав микроводорослей планктона охотоморского побережья острова Сахалин / Т. Ю. Орлова, М. С. Селина, И. В. Стоник // Биология моря. – 2004. – Т. 30, № 2. – С. 96–104.

22. Орлова, Т. Ю. Красные приливы и токсические микроводоросли в дальневосточных морях России / Т. Ю. Орлова // Вестн. ДВО. – 2005. – № 1. – С. 27–31.

23. Пропп, Л. Н. Сезонные вариации соединений биогенных элементов и продукционных характеристик в водах зал. Анива по результатам экспедиционных исследований 2001–2002 гг. / Л. Н. Пропп, Л. Ю. Гаврина // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 111–155.

24. Романов, А. А. Приливные и сезонные колебания уровня моря между островами Сахалин и Хоккайдо по данным спутниковой альтиметрии и береговых станций / А. А. Романов, О. С. Седаева, Г. В. Шевченко // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 271–285.

25. Рура, А. Д. Фитопланктон прибрежных вод южного Сахалина / А. Д. Рура // Биоценозы и фауна шельфа южного Сахалина : Сб. науч. тр. – 1985. – Т. 30. – С. 69–71. – (Сер.: Исслед. фауны морей).

26. Селина, М. С. Дополнение к флоре микроводорослей планктона Охотского моря / М. С. Селина, Т. Ю. Орлова // Ботан. журн. – 2001. – Т. 86, № 9. – С. 28–32.

27. Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря / М. С. Селина, И. В. Стоник, Г. А. Кантаков, Т. Ю. Орлова // Тр. СахНИРО. – 2005. – Т. 7. – С. 179–196.

28. Смирнова, Л. И. Фитопланктон Охотского моря и прикурильского района / Л. И. Смирнова // Тр. Ин-та океанологии. – 1959. – Т. XXX. – С. 3–51.

29. Сорокин, Ю. И. Продуктивность микропланктона в северной части Татарского пролива / Ю. И. Сорокин, В. К. Федоров // Биология моря. – 1976. – № 5. – С. 48–56.

30. Сорокин, Ю. И. Первичная продукция в Охотском море / Ю. И. Сорокин // Комплекс. исслед. экосистемы Охотского моря. – М. : Изд-во ВНИРО, 1997. – С. 103–110.

31. Стоник, И. В. Летне-осенний фитопланктон в Амурском заливе Японского моря / И. В. Стоник, Т. Ю. Орлова // Биология моря. – 1998. – Т. 24, № 4. – С. 205–211.

32. Тимофеев, В. Т. Косвенные методы выделения и анализа водных масс / **В. Т. Тимофеев, В. В. Панов.** – Л. : Гидрометеиздат, 1962. – 351 с.
33. Федотова, Н. А. Характеристика планктона шельфовых вод Татарского пролива и юго-восточного Сахалина весной 1985–1986 гг. / **Н. А. Федотова, Т. Н. Колганова** // Итоги исслед. по вопр. рац. использ. и охраны вод., земел. и биол. ресурсов Сах. и Курил. о-вов : Тез. докл. III науч.-практ. конф. (27–28 марта). – Ю-Сах., 1987. – С. 126–127.
34. Шевченко, Г. В. Определение характеристик прилива в Охотском море по данным спутниковой альтиметрии / **Г. В. Шевченко, А. А. Романов** // Исслед. Земли из космоса. – 2004. – № 1. – С. 49–62.
35. **Шунтов, В. П.** Биология дальневосточных морей России / В. П. Шунтов. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. – Т. 1. – 580 с.
36. Development of practical coherent acoustic Doppler current profiler / **R. Cabrera, K. Deines, B. Brumley, E. Terray** // Proc. Ocean'87. Halifax. NS. Canada. IEEE Oceanic Engineering Society. – 1987. – P. 93–97.
37. Mogilnikova, T. A. Saxitoxin content in the Aniva Bay scallops caused by seasonal blooming of toxic phytoplankton / **T. A. Mogilnikova, N. V. Konovalova** // North Pacific Marine Science Organization. Fourteenth Annual Meeting Program abstracts. September 29 – October 9, 2005. Vladivostok, Russia. – 2005. – P. 194.
38. Toxic phytoplankton in Aniva Bay and environment conditions of development / **T. A. Mogilnikova, E. M. Latkovskaya, I. A. Mitrakovich et al.** // North Pacific Marine Science Organization. Sixteenth Annual Meeting Program abstracts. October 26–November 5, 2007. Victoria, Canada. – 2007. – P. 84.
39. **Nishihama, Y.** Paralytic shellfish poisoning / Y. Nishihama // Scallop Fishery in the Okhotsk Sea coast of Hokkaido. – Hokkaido University Press. Sapporo. – 1994. – P. 170–180. – (In Japanese).
40. **Orlova, T. Yu.** National Report on HABs in Russia / T. Yu. Orlova // Report of the Second Meeting of NOWPAP Working Group 3 (HAB), Qingdao, People's Republic of China, 25–26 November 2004. – 2004. – P. 150–207.
41. Oshima, K. I. Near surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters / **K. I. Oshima, M. Wakatsuchi, Y. Fukamachi** // Journal of Geophysical Research. – 2002. – Vol. 107, No. C11, 3195, doi:10.1029/2001JC001005. – P. 16-1-16-18.
42. Polonichko, V. Pulse-Coherent Acoustic Doppler Profiler / **V. Polonichko, J. Mullison, R. Cabrera** // Sea Technology. – 2000. – No. 2. – P. 76–78.
43. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS / **J. E. Reilly, S. Maritorena, B. G. Mitchell et al.** // Journal of Geophysical Research. – 1998. – Vol. 103, No. C11. – P. 24397–24953.
44. Waite, A. Spring bloom sedimentation in a subarctic ecosystem. I. Nutrient sensitivity / **A. Waite, P. K. Bienfang, P. K. Harrison** // Mar. Biol. – 1992. – Vol. 114, No. 1. – P. 119–129.
45. Yamada, M. A list of phytoplankton as eutrophic level indicator / **M. Yamada, A. Tsuruta, Y. Yoshida** // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. – 1980. – Vol. 46, No. 12. – P. 1435–1438.
46. Yamada, M. Classification of eutrophic levels in several marine regions / **M. Yamada, A. Tsuruta, Y. Yoshida** // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. – 1980a. – Vol. 46, No. 12. – P. 1439–1444.
47. Interdisciplinary physical and biological processes of the Sea of Okhotsk and the Japan / East Sea (11,S) / **C. I. Zhang, V. I. Radchenko, T. Sugimoto, S. Hyung** // The Sea. – Harvard, 2006. – Part A, chapter 16. – P. 549–636.