

СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ СОЕДИНЕНИЙ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОДУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ВОДАХ зал. АНИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2001–2002 гг.

Л. Н. Пропп¹, Л. Ю. Гаврина²

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

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на суровые климатические условия, Охотское море является высокопродуктивным водоемом. Важнейшие факторы, обеспечивающие его высокую биопродуктивность, – это активная гидродинамика и насыщенность вод биогенными элементами (Шунтов, 2001, с. 49). Высокая биологическая продуктивность представляет необходимую основу для получения из морских экосистем полезной продукции, для чего необходимо знание механизмов, определяющих общую продуктивность. Подобные закономерности могли бы проявиться при изучении циркуляции соединений биогенных элементов, что требует знания сезонной динамики их основных форм на различных глубинах и дает возможность рассчитать количество синтезированного органического вещества (Рекомендации..., 1984).

Сведения по гидрологии и гидрохимии вод Охотского моря относятся в основном к его центральным, прикурильским и северо-западным районам (Комплексные исследования..., 1997), прилегающим к нефтегазоносной зоне шельфа. Комплексных сезонных исследований в заливе Анива ранее не проводилось, а имеющиеся данные относятся преимущественно к наиболее часто определяемым ортофосфатам, нитритам, кремнию и к гидрологическому режиму – температуре, солености, кислороду. Эти, а также ингредиенты, загрязняющие акваторию, наблюдались Сахалинским управлением по гидрометеорологии и мониторингу среды Росгидромета (СахУГМС), в задачи которого не входило изучение взаимозависимости океанографических и биологических закономерностей, влияющих или даже определяющих продуктивность водоема.

Изучение гидрохимического режима вод шельфа Сахалина берет начало в 1962 г. Исследования шельфовых вод Сахалина в основном были выполнены на судах СахУГМС и СахТИНРО. Конкретно за биогенными веществами на-

блюдения начинаются с 1975 г. Для охотоморского шельфа о. Сахалин анализ распределения биогенных веществ впервые проведен в работе В. М. Пищальника (1986). В более поздние годы для опыта создания компьютеризированного гидролого-гидрохимического атласа сахалинского шельфа были использованы материалы СахУГМС по среднемноголетним значениям концентраций биогенных элементов, за исключением аммонийного, нитратного, общего азота и общего фосфора в связи с методическими трудностями его определения в судовых условиях в ранние годы (Пищальник, Бобков, 2000).

Залив Анива является районом интенсивной хозяйственной деятельности близ портовых сооружений и всегда подвергается антропогенной нагрузке. Проводимые ранее исследования СахУГМС по динамике загрязнения нефтеуглеводородами и фенолами вод шельфовой зоны острова Сахалин, позволяли в свое время сделать вывод о том, что «... в настоящее время наиболее загрязненным районом шельфа является залив Анива» (Ежегодник..., 1985).

В СахНИРО в 2001–2002 гг. были проведены комплексные исследования в заливе Анива. Целью этих исследований являлось:

а) изучение основ формирования биопродуктивности субарктических акваторий (на примере залива Анива Охотского моря) по сезонной изменчивости различных форм биогенных элементов и хлорофилла *a*, концентрации которых можно использовать в качестве меры потенциальной активности фитопланктона;

б) мониторинг состояния водных масс водоема перед началом активных работ по шельфовым проектам нефтедобывающих компаний (Океанографические основы..., 2002).

Цель данной статьи – из объемного экспедиционного материала в сжатой форме представить наиболее значимые и интересные вариации концентраций исследованных ингредиентов вод зал. Анива как в пространственном, так и во временном аспекте; по результатам этих исследований произвести расчет продукции органического вещества (ОВ) через запасы минерального фосфора на нижней границе фотической зоны (Рекомендации..., 1984). Наиболее ценным и полезным результатом этих исследований является то, что были заполнены пробелы в изучении распределения таких соединений биогенных веществ, как азот аммонийный и нитратный, а также органических форм азота и фосфора, информация о которых в предыдущие годы отсутствовала. Полученные данные представляют интерес в качестве первичного материала для построения моделей функционирования морских экосистем.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Океанографические наблюдения в 2001–2002 гг. проводили на четырех стандартных разрезах, ориентированных в широтном направлении: разрез 1 – Выселки–Починки; разрез 2 – Новотамбовское–Новиково; разрез 3 – Мраморный–Хвостово и разрез 4 – м. Анива–м. Анастасии (Пищальник, Климов, 1991). Исследования проводили за основными характеристиками вод на 24 станциях. Кроме океанографических и биологических, в 2001 г. на 14 станциях и в 2002 г. на 15 станциях (на рис. 1 отмечены заливкой), исследовались гидрохимические показатели, такие, как содержание растворенного кислорода, минеральные и органические формы азота и фосфора, кремний и хлорофилл *a* (см. рис. 1).

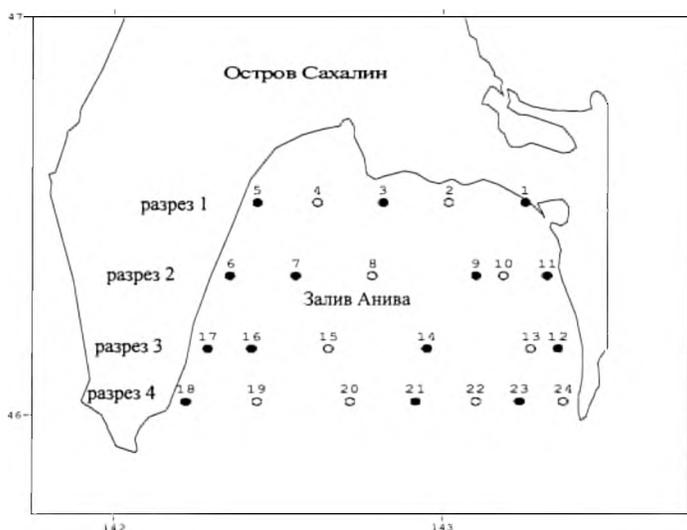


Рис. 1. Схема стандартных разрезов в зал. Анива. Темным цветом выделены станции, на которых производился отбор проб для гидрохимических определений

В 2001 г. работы были проведены в апреле, июне, августе, октябре, ноябре; в 2002 г. – в январе, апреле, июне, августе, ноябре с борта НПС «Дмитрий Песков», в октябре 2001 г. работы проводили с борта НИС «Профессор Хромов». Объемы выполненных гидрохимических исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1

Информация о количестве химических анализов проб воды за 2001–2002 гг.

Ингредиент	Залив Анива и пролив Лаперуза									
	2001 год					2002 год				
	апр.	июнь	авг.	окт.	нояб.	январ.	апр.	июнь	авг.	нояб.
Кислород, O ₂	83	63	77	63	63	60	81	81	101	101
Азот (N-NH ₄) аммонийный	–	63	77	63	63	60	81	81	101	101
Азот (N-NO ₂) нитритный	83	63	77	63	63	60	81	81	101	101
Азот (N-NO ₃) нитратный	83	63	77	63	63	60	81	81	101	101
Азот (Nорг) органический	–	63	63	63	63	60	63	63	63	63
Фосфор (P-PO ₄) минеральный	83	63	77	63	63	60	81	81	101	101
Фосфор (Pорг) органический	–	63	63	63	63	60	63	63	63	63
Кремнекислота (Si-SiO ₂)	83	63	77	63	63	60	81	81	101	101
Хлорофилл <i>a</i>	83	63	77	63	63	60	81	81	63	63
Итого	498	567	665	567	567	540	693	693	795	795
Всего	6380 химических анализов									

Съемки проводили в сжатые сроки (менее двух суток), чтобы свести к минимуму влияние изменений океанографических и гидрохимических параметров в акватории. Определение температуры и солености осуществляли с помощью зонда ICTD#1356(FSI) с батометрической секцией ROSSETTE, снабженной кассетой из 12 пластиковых батометров Нискина объемом 1,7 л с дистанционным управлением закрытия батометров на заданной глубине. Пробы воды на гидрохимические анализы были отобраны со стандартных горизонтов 0, 10, 20, 30, 50, 75, 90 м.

Для определения гидрохимических параметров использовали аттестованные методики (РД 52.10.243-92, 1993), в которых для разных интервалов концентраций определяемого компонента указаны показатели погрешности метода. Для решения задач, сформулированных выше, химические анализы проводили непосредственно в судовых условиях, минуя стадию замораживания, ввиду плохой сохранности проб. Известно, что при хранении даже в замороженном состоянии в пробах происходят изменения из-за бактериальной активности и образования полимерных форм фосфора, кремния.

После отбора проб воды из батометров в калиброванные кислородные склянки и последующей фиксации проб для определения растворенного кислорода, воду из двух батометров с каждого горизонта сливали в 2,5-литровые пластиковые канистры и фильтровали через стекловолоконные фильтры Whatman GF/F. Фильтры с собранной взвесью хранили в эксикаторе в холодильнике над силикагелем до определения хлорофилла *a* в береговой лаборатории. В фильтрате определяли минеральные и органические формы азота и фосфора, кремний, оптические плотности растворов измеряли на фотоэлектроколориметре КФК-2, удобном для использования в судовых условиях.

Растворенный кислород. Непосредственно на борту судна определяли содержание растворенного кислорода методом Винклера.

Хлорофилл *a*. В основе метода лежит спектрофотометрирование ацетонового экстракта пигментов до и после его подкисления раствором соляной кислоты. Расчеты концентрации хлорофилла *a* основаны на известных удельных спектральных показателях поглощения света хлорофиллом *a* и основными компонентами, мешающими анализу. Чувствительность метода составляет (ГОСТ 17.1.04.02-90, 1990).

Минеральный фосфор ($P-PO_4$). В основу метода положены прописи Морфьи и Райли (Morphy, Riley, 1962), когда используется реакция солей ортофосфорной кислоты с шестивалентным молибденом и трехвалентной сурьмой в кислой среде с образованием синего фосфорносурьмяномолибденового комплекса, который затем восстанавливается аскорбиновой кислотой.

Органический фосфор (Porg). Сначала определяют общий (валовый) фосфор, затем органический фосфор вычисляют как разницу между валовым содержанием элемента и минеральным. Метод определения общего фосфора основан на минерализации всех фосфорсодержащих органических соединений в пробах морской воды под воздействием персульфата калия, что позволяет в дальнейшем для определения их содержания применять метод, описанный выше для неорганического фосфора.

Нитритный азот ($N-NO_2$). Использовали метод Бендшнайдера и Робинсона (Методы гидрохимических..., 1988), которые предложили заменить классическую пару реагентов в методе Грисса–Илосвая на сульфаниламид

и менее канцерогенный N-(α -нафтил) этилендиаминдигидрохлорид, что позволило не только избежать общения с канцерогенным веществом, но и увеличить интенсивность окраски, а следовательно, и чувствительность метода на 20–25%.

Нитратный азот ($N-NO_3$). При определении его предварительно восстанавливают до нитритного с помощью омедненного мелкокристаллического кадмия. Авторы статьи использовали измененную конструкцию кадмиевых редукторов, предложенных ранее (Пропп, Пропп, 1979). Содержание нитратов в пробе рассчитывается как разность между суммарной концентрацией нитритов после восстановления и содержанием нитритов в самой пробе. Восстановление нитратов составляет не менее 90% (Гусарова, 2000).

Общий азот (*Nobii*) и органический азот (*Norg*). Метод определения общего азота основан на сжигании с персульфатом калия (дважды перекристаллизованным) в щелочной среде и пригоден для определения в водах любой тропности. В основе метода лежит метод Королева–Вальдеррама (Valderrama, 1981). Органический азот определяют как разность между общим (валовым) содержанием азота и минеральными формами.

Кремний ($Si-SiO_3$). Метод основан на колориметрическом определении восстановленной кремнемолибденовой гетерополикислоты; реакцию проводят в сильноокислой среде, а введение комплексообразователя (щавелевой кислоты) разрушает аналогичные соединения фосфора и мышьяка (Strickland, Parsons, 1972).

Аммонийный азот ($N-NH_4$). Аммоний определяли по методу Седжи–Солорзано (Solozano, 1969) с гипохлоритом натрия и фенолом. Метод основан на колориметрическом определении индофенольного красителя, образующегося из фенола, аммиака и гипохлорита в щелочной среде; применение нитропрусида как катализатора значительно увеличивает чувствительность реакции.

Методика расчета синтезированного органического углерода заимствована из «Рекомендаций по гидрохимическим методам оценки первичной продукции в океане» (1984). Существуют различные способы определения первичной продукции. Во-первых, ее можно рассчитать прямым радиоуглеродным измерением по ^{14}C ; во-вторых, по концентрациям растворенного кислорода (скляночный метод); в-третьих через баланс фосфатов, нитратов и кремния в поверхностном слое за вегетационный период; в-четвертых, по увеличению рН. В выбранной авторами методике все расчеты базируются на постоянном соотношении углерода, азота, фосфора (C : N : P) в живых организмах. Следует отметить, что расчет продукции фитопланктона за период от начала вегетации до момента исследования возможно произвести и по уменьшению в эвфотическом слое содержания кремния как наиболее консервативного из всех биогенных элементов, количество которого в наименьшей степени подвержено изменению с течением времени вследствие его медленной регенерации. При использовании расчетного метода по любым биогенным элементам неизбежны определенные допущения, которые приводят к некоторой условности результатов. Однако использование массового материала по содержанию биогенных элементов позволяет получить вполне реальное представление о порядке величин продукции фитопланктона и ориентировочно оценить продуктивность водоема (Аржанова и др., 2002).

Авторы выражают признательность и благодарят экипажи НПС «Дмитрий Песков» и НИС «Профессор Хромов», обеспечивших благополучные условия для сбора проб морской воды и при оборудовании судовой химической лаборатории на борту; В. Н. Частикова, А. М. Козляковского и В. М. Ткачука, инженеров лаборатории биологической океанографии СахНИРО, за обеспечение бесперебойной работы гидрологического оборудования и отбор проб воды; К. Л. Пузанкова и В. Н. Частикова за помощь в освоении программы Ocean Data View и при построении рисунков к статье; А. Г. Андреева, ведущего научного сотрудника Тихоокеанского океанологического института, за полезные советы по поводу представления материала в статье.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности распределения концентраций биогенных веществ в водах зал. Анива в 2001 г.

Содержание биогенных элементов в заливе Анива изменялось по сезонам. Эти изменения происходили в основном в поверхностных слоях водной массы, количество биогенных элементов в которых зависело от интенсивности их поступления из нижних слоев и от потребления фитопланктоном (Прорр, Gavrina, 2002).

Апрель. В весенний период 2001 г. дефицит кислорода проявлялся в более холодных слоях ($t = -1,33^{\circ}\text{C}$) западных станций на глубинах 20–30 м, где процент насыщения снижался до 81, например, на станции 3 (30 м) (рис. 2). Акватория зал. Анива в апреле была покрыта обломками льда. На перевернутых льдинах можно было наблюдать скопления водорослей зеленовато-бурого цвета, что свидетельствовало о развитии фитопланктона непосредственно у кромки льда и подо льдом. Несмотря на низкие температуры и слабое проникновение световой радиации, процесс интенсивного цветения микроводорослей прослеживался во всей толще воды от 0 до 70 м, обогащенной биогенными элементами. Мощное насыщение поверхностных слоев воды кислородом (до 163%) наблюдалось в поверхностных слоях на станции 7 (рис. 3). В Охотском море в антициклонических круговоротах над свалом глубин также отмечалось высокое содержание кислорода, превышавшее 140% насыщения (Сапожников, 1999). Максимальная концентрация хлорофилла *a* в весенний вегетационный период 2001 г. достигала 20,6 мкг/дм³ в юго-восточной части залива на станции 12 (10 м) (табл. 2).

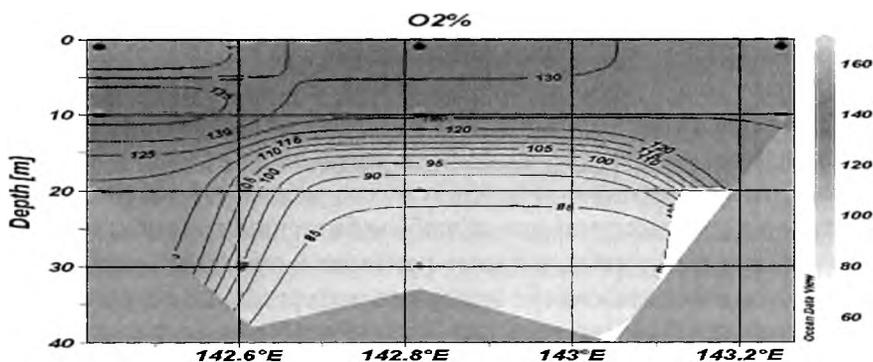


Рис. 2. Распределение растворенного кислорода в воде на разрезе 1 в апреле

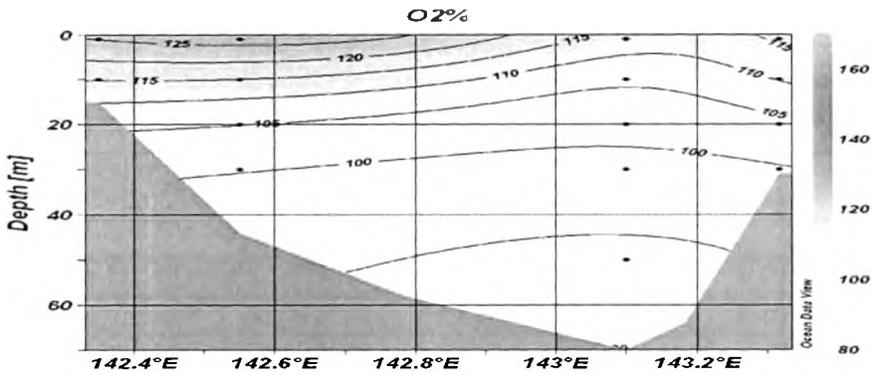


Рис. 3. Распределение растворенного кислорода в воде на разрезе 2 в апреле

Таблица 2

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в апреле 2001 г.

	Температура, °С	Соленость, ‰	Кислород, ‰	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,67	31,94	81,0	0,00	0,00	0,10	0,39	0,00
Макс.	0,81	33,23	163,7	0,26	38,7	1,80	30,1	20,6
Среднее	-0,69	32,45	105,3	0,08	8,75	1,01	14,2	5,26

Водные массы на станциях, расположенных в непосредственной близости от пролива Лаперуза, были подвержены воздействию модифицированных в результате интенсивного перемешивания япономорских вод (см. статью Будаевой и др. в наст. сб.). Влияние этих вод, отличающихся меньшим содержанием хлорофилла *a*, прослеживалось вдоль западного побережья зал. Анива.

Наибольшее содержание биогенных элементов было в придонных горизонтах глубоководных станций, ниже температурного скачка, сформировавшегося в апреле на глубинах 10–20 м. Максимальные концентрации минерального фосфора составляли 1,8 мкМ на глубине 70 м станций 9, 14, 23. Высокие концентрации нитратного азота достигали 38,7 мкМ на западной стороне залива на станции 7 (50 м) и 34,8 мкМ на восточной станции 23 (75 м) (табл. 3). Эти богатые соединениями биогенных элементов воды распространялись во внутренние зоны залива, вплоть до прибрежных станций, подпитывая питательными солями поверхностные слои акватории залива (рис. 4, 5).

**Средние значения концентраций гидрологических,
гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³)
в водах зал. Анива относительно термоклина в апреле 2001 г.**

Номер разреза	Слой, м	Температура, °С	Соленость, ‰	Кислотность, ‰	N-NO ₂	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Горизонты выше термоклина									
1	0–20	–0,04	32,36	122,2	0,03	3,72	0,77	12,5	7,06
2	0–20	–0,27	32,21	114,1	0,00	2,89	0,78	8,86	7,75
3	0–20	–0,41	32,29	109,6	0,00	5,95	0,87	10,3	7,80
4	0–20	–0,72	32,32	105,5	0,01	5,32	0,84	11,5	5,41
Горизонты ниже термоклина									
2	30–95	–1,30	32,66	92,6	0,23	17,3	1,45	21,2	3,89
3	30–95	–1,35	32,74	91,6	0,22	17,0	1,42	22,2	0,68
4	30–95	–1,23	32,78	92,7	0,19	16,7	1,32	20,9	1,08

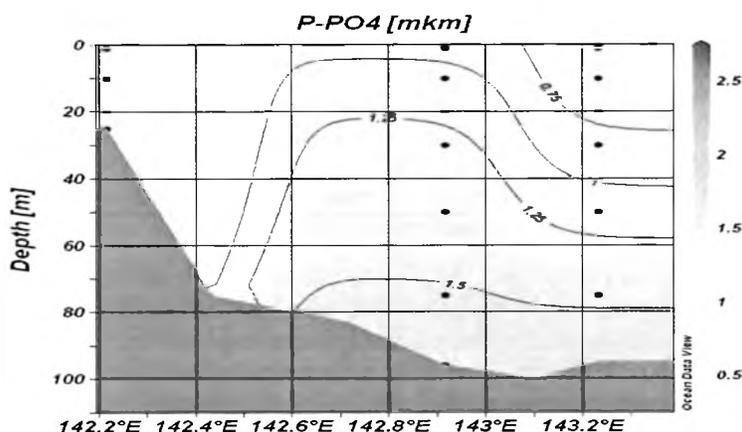


Рис. 4. Распределение концентраций фосфатов в воде на разрезе 4 в апреле

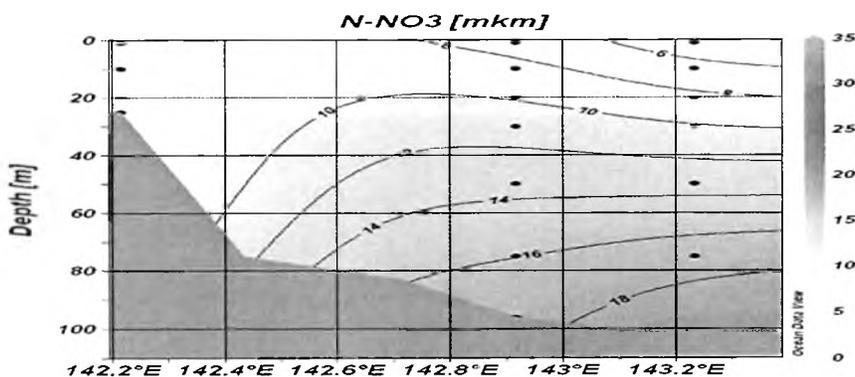


Рис. 5. Распределение концентраций нитратов в воде на разрезе 4 в апреле

Концентрации хлорофилла *a* и кремния находились в обратной зависимости, так как весенний фитопланктон, в основном, бывает представлен диатомовыми, нуждающимися в кремнии для построения створок. Максимальные концентрации кремния (30,1 мкМ) были зафиксированы на станции 3 (20 м), где, вероятнее всего, проявлялось влияние прибрежного стока, и 27,7 мкМ на глубоководной станции 21 (96 м). На поверхности воды в восточной части залива, где отмечалось наиболее активное развитие фитопланктона, концентрации кремния уменьшались до 1,97–5,94 мкМ (станция 12 в слоях 0–10 м) (рис. 6). В центральной части залива нижние слои подпитывали биогенными элементами зоны с развивающимся в период начала вегетации фитопланктоном, и в апреле он не испытывал в них дефицита. Это происходило за счет подъема холодных вод ($-1,67^{\circ}\text{C}$) из придонных слоев в восточной части залива (рис. 7).

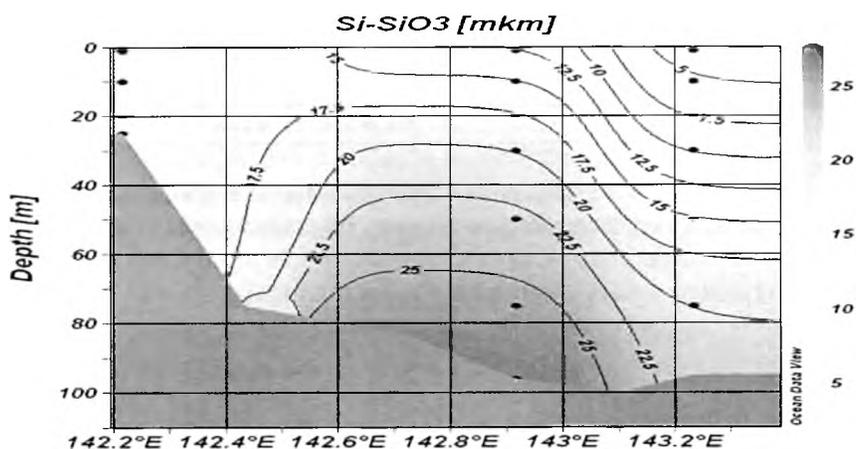


Рис. 6. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 4 в апреле

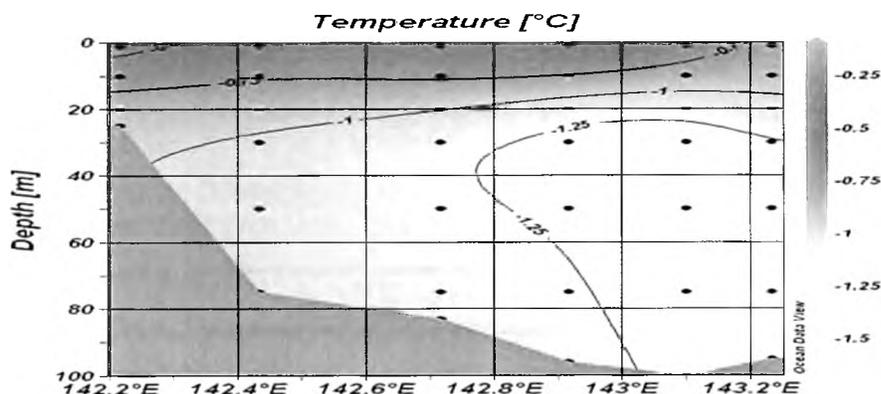


Рис. 7. Распределение температуры в воде на разрезе 4 в апреле

При высоком содержании хлорофилла *a* у восточного побережья в апреле 2001 г. наиболее продуктивными были водные массы глубоководных станций 9, 14, 23, где величины суммарной продукции органического вещества (ОВ) в столбе воды достигали 43,8; 42,1; 50,5 гС/м² соответственно (табл. 4) (рис. 8).

Таблица 4

Расчетные величины суммарной продукции органического вещества (ОВ) (гС/м²) в водах зал. Анива (в различные сезоны 2001 г.)

Номер станции	Апрель	Июнь	Август	Октябрь	Ноябрь
14	42,1	36,0	91,0	114,0	85,3
9	43,8	68,0	101,	84,0	37,8
21	21,41	80,0	93,0	108,0	67,3
23	50,5	54,6	104,0	4,0	34,4
Сумма	157,8	238,6	389,0	310,0	225,8
Среднее	39,5	59,6	97,3	77,5	56,2
Среднее в сутки	0,219	0,311	0,540	0,430	0,312
Среднее, мгС/(м ² в сут.)	219,0	311,0	540,0	430,0	312,0
Среднее по году	366,0 мгС/(м² в сут.)				

Таким образом, среднее значение продукции органического вещества в столбе воды на глубоководных станциях в апреле составляло 219 мгС/(м² в сут.) (см. табл. 4).

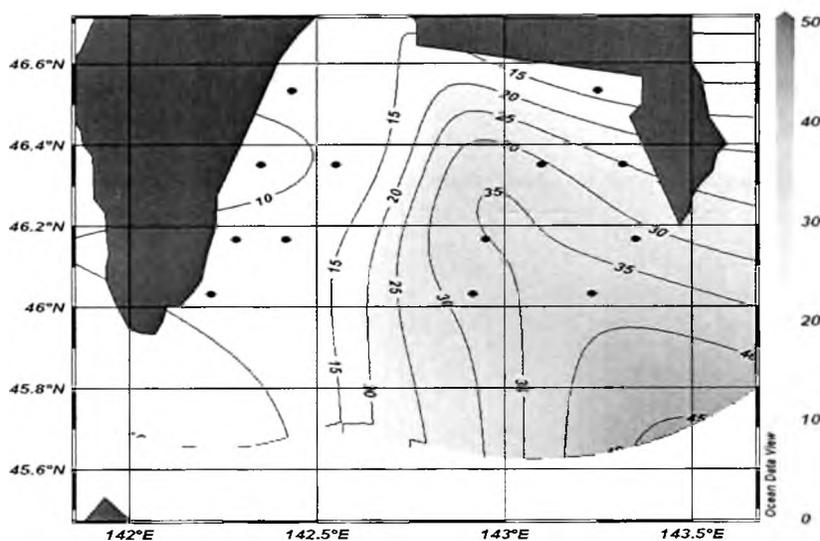


Рис. 8. Распределение суммарной продукции ОВ (гС/м²) в водах зал. Анива в апреле 2001 г.

Июнь. В поверхностных слоях воды процент насыщения кислородом в июне варьировался в интервале 126,7–129,5%. На некоторых станциях достаточное насыщение воды кислородом достигало и глубин 50 м. В прибрежных водах на разрезе 1 дефицит кислорода обнаруживался уже на горизонтах 30 м, например, на станции 3 (66,1%). Основная масса фитопланктона в июне была отчетливо приурочена к глубине 20 м, где концентрации хлорофилла *a* варьировались в узком, по сравнению с апрелем, интервале 1,14–2,0 мкг/дм³. Максимальная концентрация 4,87 мкг/дм³ обнаружена лишь на более прогретой прибрежной станции 5 (20 м) (табл. 5).

Таблица 5

**Статистические характеристики гидрологических,
гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³)
в водах зал. Анива в июне 2001 г.**

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,27	31,33	66,1	0,00	0,00	0,00	5,20	0,00	0,00	0,0	0,00
Макс.	11,52	33,05	129,5	4,08	0,63	19,5	23,1	2,26	2,10	40,4	4,87
Среднее	4,34	32,29	109,5	1,34	0,08	4,60	14,5	1,04	0,44	10,4	0,70

Одновременно с нитратными формами азота (N-NO₃) в глубинных слоях присутствовали промежуточные формы: аммонийный азот (N-NH₄) с максимальной концентрацией 4,08 мкМ и нитритный азот (N-NO₂) с максимальной концентрацией 0,63 мкМ на станции 9 (70 м). На этих же станциях прослеживался дефицит кислорода от 90% насыщения на станции 9 (50 м) до 66% на станции 3 (20 м). Вероятно, в июне в водной толще происходили различные процессы превращения веществ, такие, как образование новосинтезированного органического вещества в фотических слоях, процессы деградации и регенерации остаточного органического вещества в придонных горизонтах. В дополнение к процессу дыхания живых организмов растворенный в воде кислород, как известно, расходуется и на окисление органических веществ.

Вертикальное распределение биогенных элементов в июне зависело от расположения температурного скачка и терригенного стока. На разрезах 3, 4 в восточной части залива заметно проявлялось влияние холодных (например, -1,9°C на станции 14 (75 м) вод, обогащенных питательными солями. В связи с этим в слоях, залегающих ниже термоклина, были отмечены высокие концентрации биогенных элементов. Содержание минерального фосфора 2,26 мкМ было на станции 9 (70 м), нитратного азота 19,5 мкМ на станции 23 (95 м) (табл. 6) (рис. 9, 10).

Таблица 6

**Пример распределения содержания гидрологических,
гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³)
в водах на глубоководных станциях 14 и 23 в июне 2001 г.**

№ ст.	Горизонт, м	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
14	20	1,86	32,54	120,1	1,50	0,00	2,73	12,89	0,96	0,00	4,32	1,14
14	30	-0,38	32,70	99,3	2,55	0,50	10,6	19,0	1,56	0,00	17,9	0,45
23	50	2,71	32,36	111,9	0,76	0,00	7,12	14,3	0,97	0,30	12,8	0,23
23	75	-0,54	32,89	91,5	0,76	0,00	18,0	14,1	1,64	0,00	32,1	0,23

Суммарная величина продукции органического вещества в столбе воды в июне достигала максимум 80 гС/м² на глубоководной станции 21 разреза 4 (рис. 11), где интервал концентраций фосфатов в толще воды был значительным (от 0,02 до 2,0 мкМ).

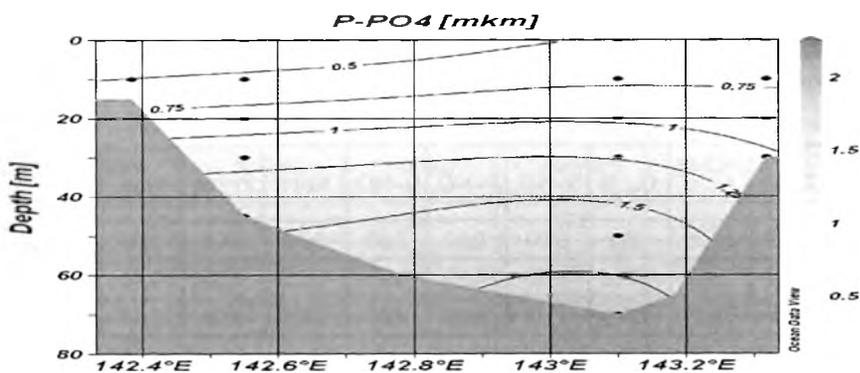


Рис. 9. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 2 в июне

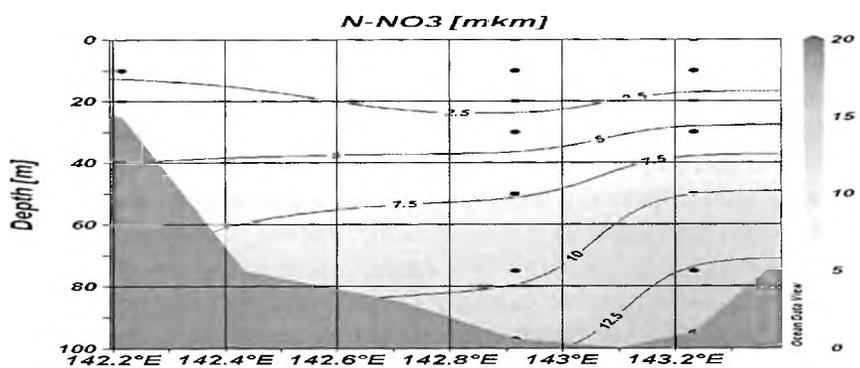


Рис. 10. Распределение концентраций нитратного азота в воде на разрезе 4 в июне

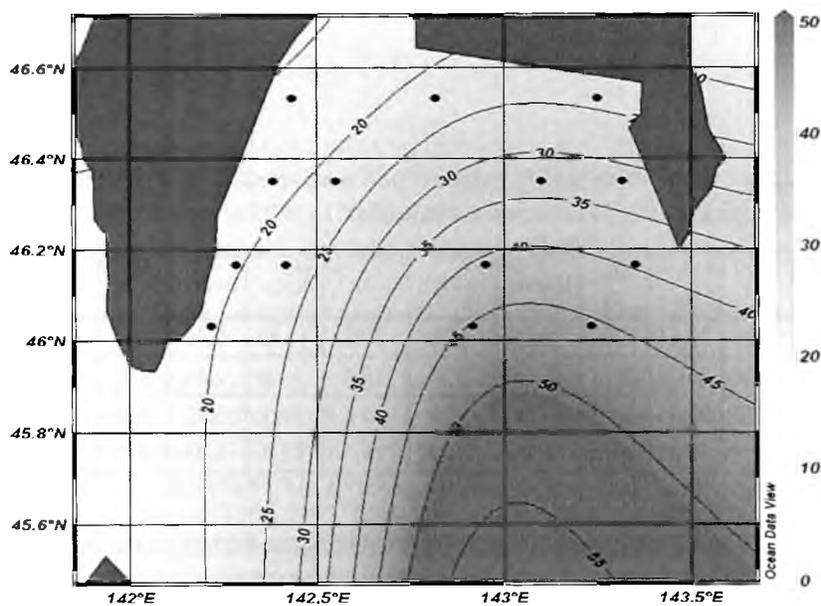


Рис. 11. Распределение суммарной продукции ОБ ($гС/м^2$) в водах зал. Анива в июне 2001 г.

Таким образом, среднее значение продукции органического вещества в столбе воды на глубоководных станциях составляло в июне 311 мгС/(м² в сут.) (см. табл. 4).

Август. Особый интерес представляет взаимное распределение хлорофилла *a* и кислорода в водах залива в условиях резкого перепада температур в слоях водной массы в августе от -1,2 до +19,12°C (табл. 7).

Таблица 7

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в августе 2001 г.

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Норг.	Si-SiO ₂	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,23	31,70	60,8	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,00	1,58	0,00
Макс.	19,12	33,06	132,6	4,59	0,68	31,5	33,1	2,67	2,05	31,6	1,70
Среднее	8,20	32,35	99,5	1,46	0,09	6,70	14,5	0,87	0,47	9,92	0,37

При этом относительно прогретый 10-метровый слой был отделен от нижележащих холодных слоев хорошо выраженным слоем температурного скачка, препятствующего обмену водных масс по вертикали. В западной части исследуемой акватории на станциях 5 (20 м) и 18 (10 м) были зафиксированы незначительные, до 1,7 мкг/дм³, но максимальные для августа, концентрации хлорофилла *a* (см. статью Гавриной и др. в наст. сб.).

Над термоклином минеральные формы биогенных элементов были почти полностью исчерпаны развивающимся фитопланктоном. Максимальные концентрации питательных солей обнаруживались в слоях, расположенных ниже термоклина в глубоководной части залива (Propp, Gavrina, 2004). Максимальная концентрация минерального фосфора в августе составляла 2,67 мкМ на станции 7 (50 м), содержание нитратного азота 31,5 мкМ было на станции 11 (30 м) (рис. 12, 13) (табл. 8).

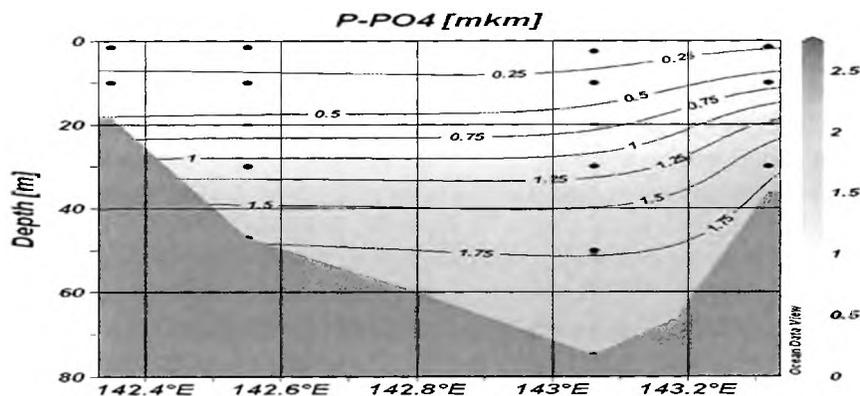


Рис. 12. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 2 в августе

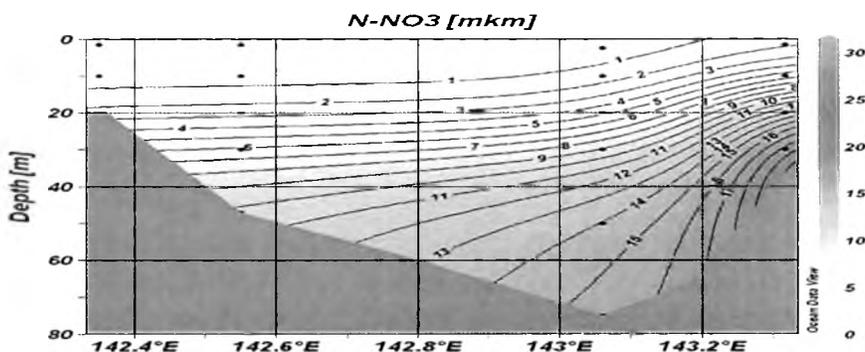


Рис. 13. Распределение концентраций азота нитратного в воде на разрезе 2 в августе

Таблица 8

Пример распределения средних концентраций гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива относительно термоклина в августе 2001 г.

Номер разреза	Слой, м	Температура, °С	Соленость, ‰	Кислотность, ‰	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Горизонты выше термоклина											
1	0–20	13,87	31,97	102,1	1,50	0,09	1,78	12,1	0,43	5,98	0,51
2	0–20	13,32	32,02	109,5	1,09	0,04	1,68	13,1	0,35	5,04	0,37
3	0–20	12,80	32,04	110,9	1,16	0,02	1,47	16,5	0,26	5,94	0,29
4	0–20	13,47	32,18	99,6	0,85	0,02	1,46	15,3	0,25	5,09	0,49
Горизонты ниже термоклина											
1	30–95	0,04	32,69	67,59	3,25	0,58	15,6	11,9	2,1	17,5	0,22
2	30–95	0,53	32,73	80,2	2,54	0,32	15,3	13,2	1,84	17,8	0,29
3	30–95	0,84	32,83	73,9	1,93	0,08	14,8	16,2	1,68	11,2	0,39
4	30–95	0,51	32,81	87,7	1,22	0,23	14,2	14,2	1,69	19,8	0,20

Известно, что при снижении концентраций минеральных форм питательных солей в поверхностных слоях происходит увеличение органических форм биогенных элементов за счет синтеза нового органического вещества (Шунтов, 2001, с. 53). В августе это наглядно проявлялось, например, на станции 11 (30 м), где концентрации нитратного азота в придонном слое на 30 м достигали 31,5 мкМ, органического азота – 1,23 мкМ. В поверхностном слое, наоборот, концентрация нитратного азота составляла 1,0 мкМ, а азота органического – 10,9 мкМ (рис. 14, 15). Подобное распределение минерального и органического азота наблюдалось и на других станциях центральной части залива.

Вероятно, что в прогретых фотических слоях залива происходил активный синтез нового органического вещества, тогда как в придонных слоях с отрицательными температурами, например, на станции 7 (40 м) при $t = -0,2^{\circ}\text{C}$, продолжались замедленные процессы трансформации органических веществ различного происхождения, в том числе и антропогенного. В прибрежье сильнее сказывались пресный сток и влияние дна, о чем свидетельствовало высокое содер-

жание аммонийного азота. В августе его концентрации были обнаружены в широком диапазоне и достигали максимума 4,59 мкМ на глубинах 20 м. Подобных величин (3,0–4,5 мкМ) концентрации аммонийного азота достигали в летний период в Охотском море в Ямском апвеллинге (Сапожников и др., 1999). На рисунке 16 можно отметить, что на центральных станциях разреза 4, удаленных от берега, наблюдается пятно с малым содержанием аммонийного азота (0,26 мкМ).

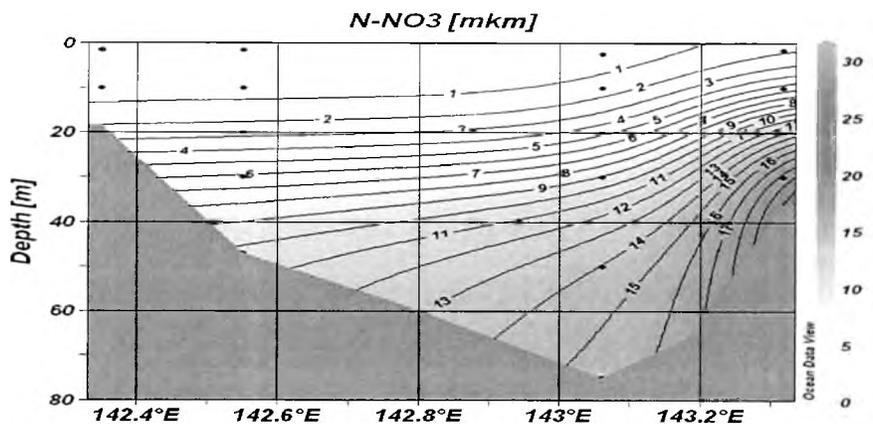


Рис. 14. Распределение концентраций азота нитратного в воде на разрезе 2 в августе

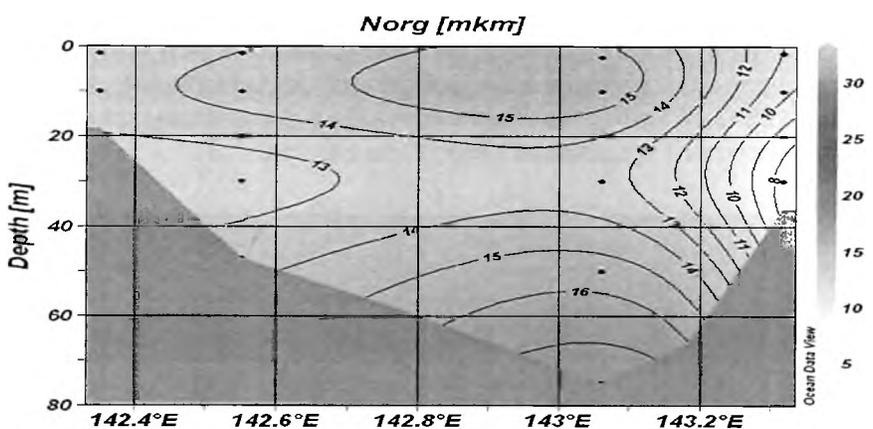


Рис. 15. Распределение концентраций органического азота в воде на разрезе 2 в августе

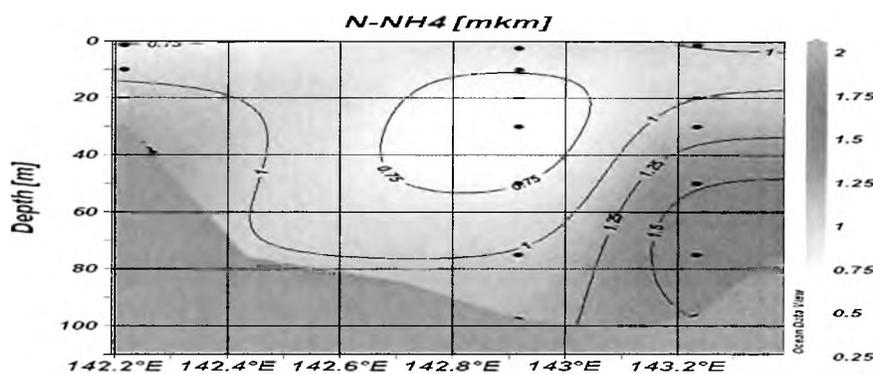


Рис. 16. Распределение концентраций аммонийного азота в воде на разрезе 4 в августе

На мелководных станциях при максимальном содержании в воде аммонийного азота прослеживался дефицит растворенного кислорода. Например, на станции 18 (20 м) процент насыщения кислородом составлял 87,2. Минимальное насыщение воды кислородом (77,5%) отмечено на станции 21 (98 м) (рис. 17).

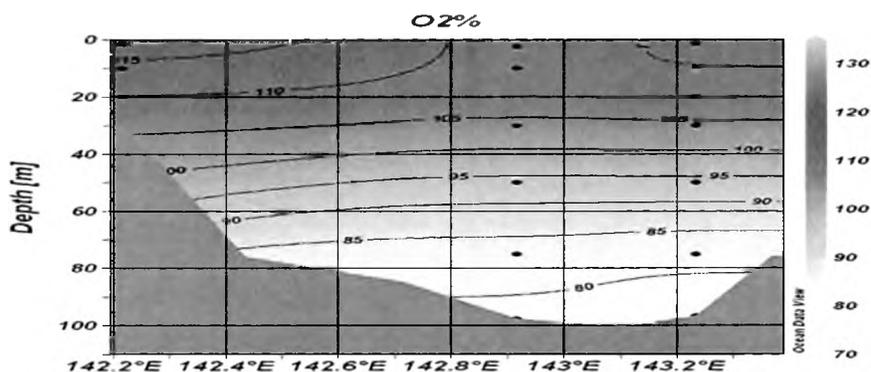


Рис. 17. Распределение растворенного кислорода в воде на разрезе 4 в августе

Максимальная величина суммарной продукции ОВ в столбе воды была 104 гС/м^2 на глубоководной станции 21 (разрез 4) (см. табл. 4). Заметно, что в августе продуктивной являлась уже более обширная зона, чем в апреле–июне, поскольку в толще воды отмечен высокий перепад концентраций минерального фосфора ($0,08\text{--}2,14 \text{ мкМ}$), по убыли которого в фотическом слое производился расчет величины суммарной продукции ОВ (рис. 18).

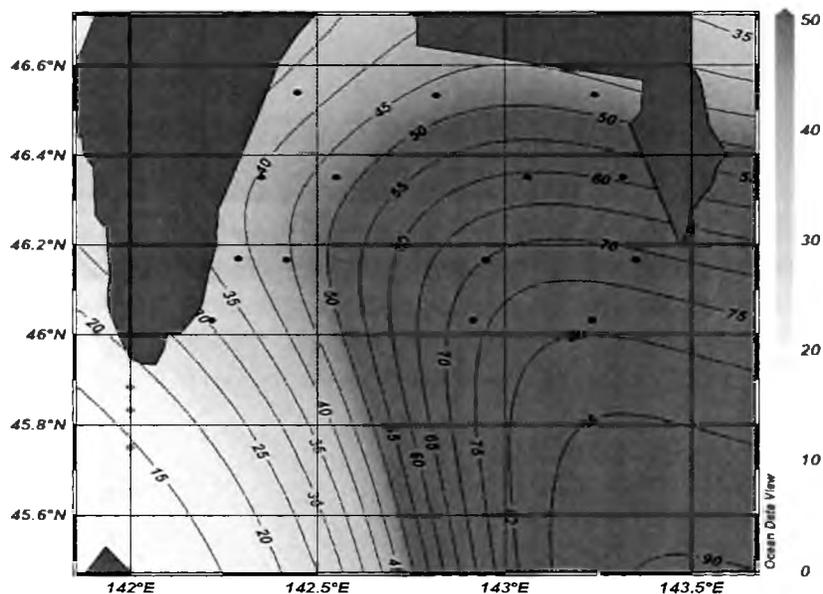


Рис. 18. Распределение суммарной продукции ОВ (гС/м^2) в водах зал. Анива в августе 2001 г.

Таким образом, среднее значение продукции органического вещества в столбце воды на глубоководных станциях достигало 540 мгС/(м² в сут.) (см. табл. 4).

Более высокие концентрации биогенных веществ в прибрежной зоне объясняются преимущественно влиянием берегового стока и размывом берегов. Отмечается, что существует высокая скорость регенерации биогенных элементов также и из взвешенной органической формы в растворенную минеральную форму на границе «дно–вода» (Пропп, Пропп, 1981). В донных отложениях физико-химические и метаболические процессы протекают замедленнее, чем в водной среде, способной к активному самоочищению за счет насыщения воды кислородом из атмосферы на границе «вода–атмосфера», водообмена при волнении и течениях, окисления органических веществ и их утилизации. Различного рода загрязнения, накопленные в донных отложениях в результате сложных процессов деградации, разложения органических веществ на барьере «дно–вода», вызывают процесс вторичного загрязнения. «Исследуя шельфовую зону, мы сталкиваемся с некоторыми проблемами, которые не возникали раньше. Известно, что, работая в шельфовой зоне, уже нельзя пренебречь дном, т. е. работать надо до дна и учитывать обмен с донными осадками в отношении потока биогенов и в отношении продукции хемосинтеза на восстановленных формах азота, углерода, серы, железа, марганца» (Сапожников и др., 1999).

Октябрь. Более равномерное распределение температуры воды по вертикали в октябре привело к заглублению термоклина, холодные слои с минусовой температурой сохранялись лишь на глубинах 70–95 м, например, $t = -1,06^{\circ}\text{C}$ была на станции 14 (81 м) (табл. 9). Распределение концентраций биогенных элементов в слоях воды на горизонтах между 30 и 50 м в октябре относительно термоклина приведено в таблице 10.

Таблица 9

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в октябре 2001 г.

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,06	31,87	67,24	0,00	0,00	0,00	16,3	0,00	0,00	0,70	0,17
Макс.	13,07	33,05	107,22	20,0	0,65	12,2	160,0	2,35	1,46	48,6	3,74
Среднее	9,48	32,19	99,23	2,81	0,08	1,70	43,6	0,39	0,65	8,25	0,89

При этом наибольшие концентрации фосфатов (максимум 2,5 мкМ) были отмечены на станции 14 (81 м) и кремния (максимум 48,6 мкМ) на станции 14 (50 и 75 м) (рис. 19, 20).

В связи с дефицитом питательных веществ в поверхностных слоях воды фитопланктон не находил благоприятных условий для активного развития в фотических слоях и развивался на глубинах до 50 м, несмотря на слабое проникновение света в более глубокие слои. При этом концентрации хлорофилла *a* были обнаружены в интервале 0,20–0,84 мкг/дм³ с максимумом на станции 23 (50 м). Этот факт свидетельствовал о начале второго, осеннего «пика» цветения микроводорослей.

Примеры распределения гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива на глубоководных станциях в октябре 2001 г.

№ ст.	Горизонт, м	T, °C	O ₂ , %	P-PO ₄	Popr.	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
21	30	11,48	105,6	0	0,5	2,8	0	0	5,7	0,7
21	50	0,36	87,8	1,17	0,52	1,4	0	6,8	22,9	0,2
14	30	10,32	103,8	0,21	0,55	1,6	0	0,6	4,8	0,63
14	50	0,73	84,7	1,41	0,44	2,6	0,12	6,8	25,4	0,31
16	30	7,61	100,7	0,22	0,55	3,3	0	0,9	5,7	0,7
16	50	0,14	68,0	1,8	0,76	3,8	0,16	8,8	41,4	0,38
7	20	11,1	106,0	0,23	0,47	1,9	0	0	0,8	2,14
7	30	9,58	106,1	1,41	0,44	2,2	0	9,9	29,6	1,52
9	30	12,44	102,8	0,37	0,5	0	0	0	7,1	1,51
9	50	7,01	104,8	1,72	0,36	0,3	0,65	7,1	25,7	0,41
9	70	-0,42	82,2	2,0	0,51	20,0	0,26	8,0	40,0	-

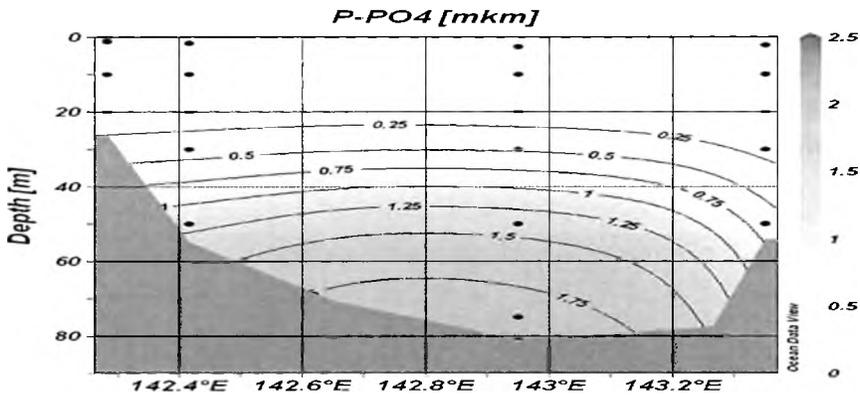


Рис. 19. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 3 в октябре

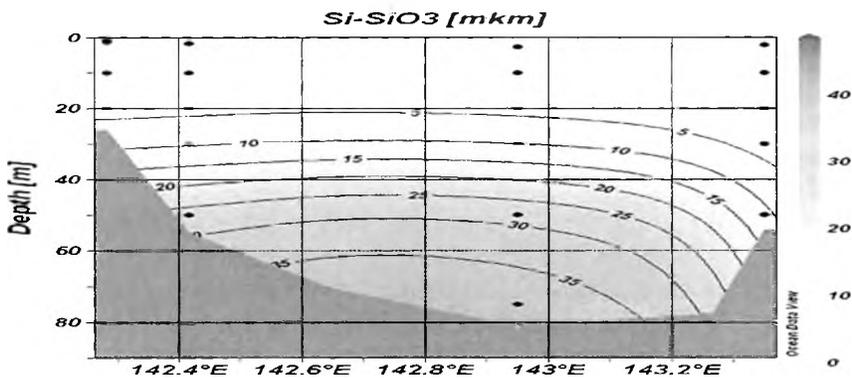


Рис. 20. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 3 в октябре

Активизация продукционных процессов в октябре сопровождалась равномерным насыщением слоев воды растворенным кислородом, максимум 107,2% на станции 18 (10 м). Исключение составляли придонные слои, например, на разрезе 3 дефицит кислорода достигал 67,2% на станции 14 (75 м), 68% – на станции 16 (50 м) и на других станциях, где, вероятно, была недостаточна «вентиляция» вод (рис. 21, 22). Следуя выводам исследователей Японского моря, для залива Анива также возможно предположить, что уменьшение концентраций кислорода обусловлено или уменьшением скорости обновления придонной воды (развитием стагнационных процессов) (Тищенко и др., 2002), или поступлением в залив Анива обедненных кислородом япономорских вод.

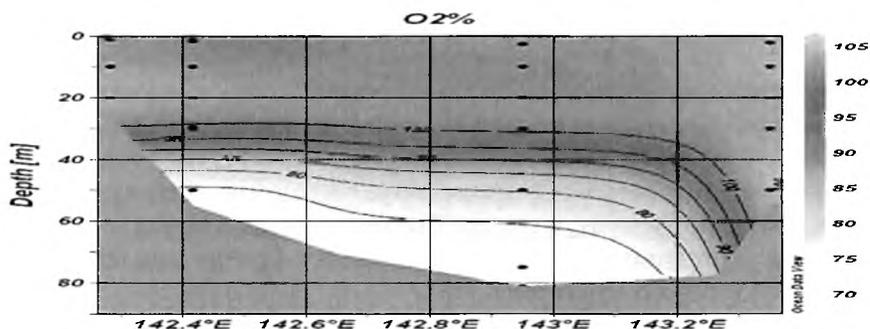


Рис. 21. Распределение кислорода в воде на разрезе 3 в октябре

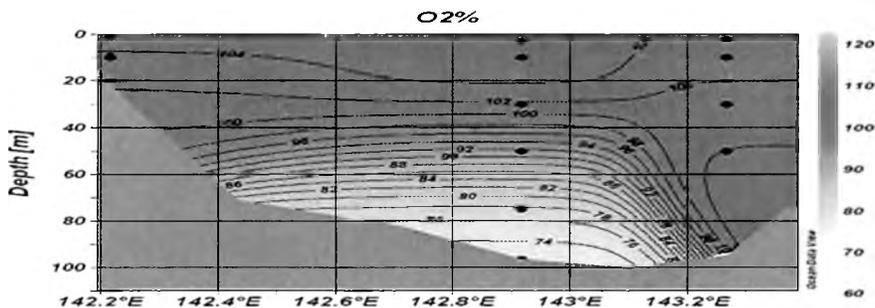


Рис. 22. Распределение кислорода в воде на разрезе 4 в октябре

Концентрации органического азота в этот период варьировались в широком диапазоне от 16,3 до 160 мкМ на глубинах 0–75 м (станции 3, 21). На станции 5 (20 м) концентрация органического азота составляла 154 мкМ, где в июне было обнаружено высокое содержание хлорофилла *a*. Трансформация органических веществ в океане протекает весьма сложно, и скорость отдельных стадий этого процесса различна. Разложение нестойкой части органических веществ наиболее интенсивно в верхнем слое. В глубинах, куда попадает часть органических остатков, процесс их разложения замедлен. В результате за счет метаболизма фито-, зоопланктона и бактерий в водную среду выделяется значительное количество питательных солей, исчисляемых в тысячах тонн азота, фосфора, кремния, вновь вовлекаемых гидробионтами в оборот. В процессе отмирания гидробионтов образуется большое количество органического детрита, являющегося источником растворенных органических форм биогенных

элементов (Леонов, Стыгар, 1999). Однако столь высокие концентрации органических форм азота и аммония нельзя объяснить только природными процессами. Поскольку подобные значения отмечены на мелководных станциях близ порта Корсаков, приходится признать, что они могут быть результатом антропогенного воздействия в условиях интенсивной хозяйственной деятельности. По неопубликованным данным ВНИРО, согласно устным сообщениям специалиста, анализировавшего грунты близ этих станций, кандидата биологических наук А. И. Агатовой, содержание органического вещества в них было более чем 40%, тогда как обычно эта величина составляет около 20%. По всей видимости, органическое вещество исследованных грунтов является субстратом и питательной средой для развития бактериальных популяций. Метаболизм последних приводит к весьма высоким концентрациям органической и аммонийной форм азота. Осенью, за счет усиления процесса распада органического вещества, накопившегося летом, в режиме ионов аммония наблюдается закономерное увеличение их концентраций (Алекин, 1970). При высокой продуктивности зал. Анива и относительно малых глубинах в сравнении с открытыми морями (например, Охотское море) возможно, что здесь наиболее крупные и труднорастворимые взвеси быстрее достигают дна и их дальнейшее изменение в придонных слоях продолжается крайне медленно на фоне дефицита растворенного кислорода.

Повышенные концентрации аммонийного азота в поверхностных слоях воды были обнаружены на западных станциях зал. Анива, например, на станции 18 (0 м) – 19,1 мкМ. В глубоководных слоях наибольшие концентрации аммония были на восточных станциях 21 (95 м) (20,0 мкМ), 12 (30 м) (7,5 мкМ) (рис. 23, 24).

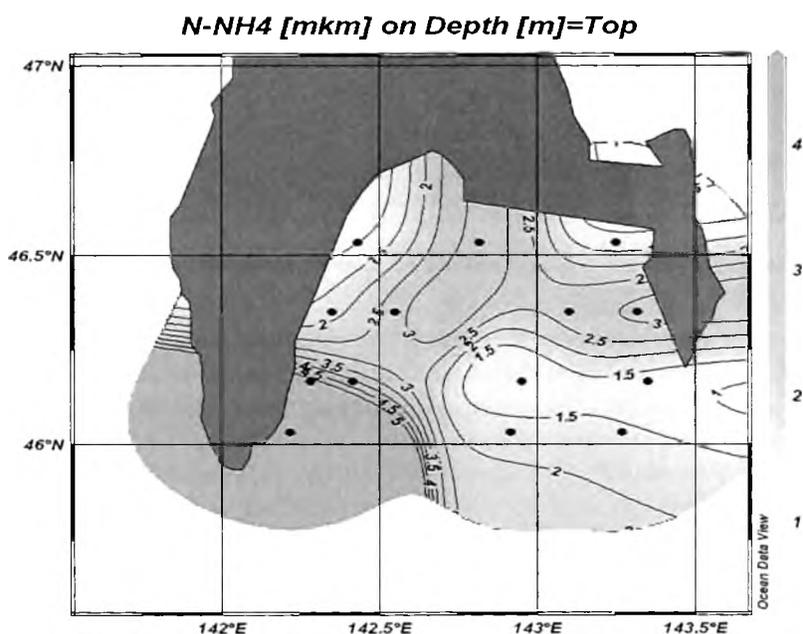


Рис. 23. Распределение концентраций аммонийного азота на поверхности воды в октябре

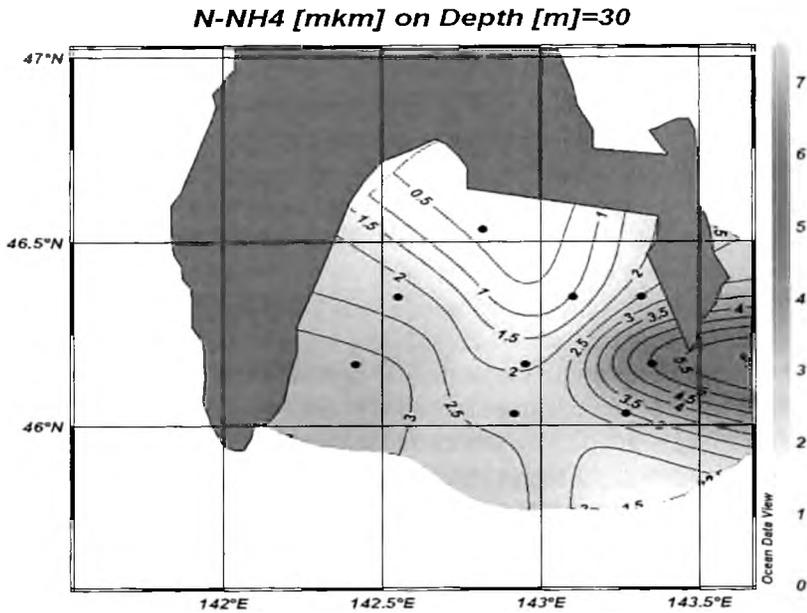


Рис. 24. Распределение концентраций аммонийного азота в воде на глубине 30 м в октябре

В октябре наиболее благоприятные условия для интенсивного образования продукции органического вещества были по-прежнему в центральной части залива Анива на глубоководных станциях. Максимальная величина суммарной продукции ОВ достигала в столбе воды под квадратным метром **114 гС/м²** на станции 14 (рис. 25).

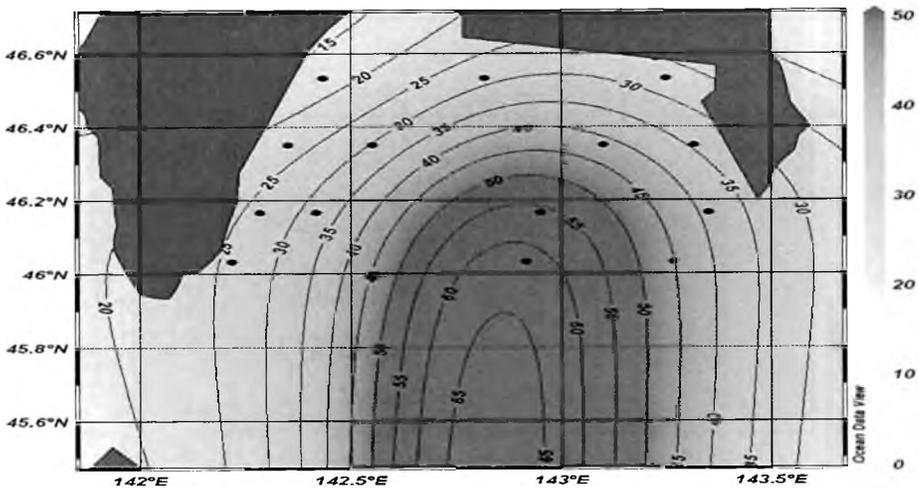


Рис. 25. Распределение суммарной продукции ОВ (гС/м²) в водах зал. Анива в октябре 2001 г.

Таким образом, среднее значение продукции ОВ в столбе воды на глубоководных станциях составляло в октябре **430** мгС/(м² в сут.) (см. табл. 4).

Ноябрь. Активизация метеорологических процессов, охлаждение верхних слоев воды в акватории залива имели следствием снижение вертикальных градиентов температуры. В ноябре продолжалось развитие второго «пика» цветения микроводорослей. Концентрации хлорофилла *a* варьировались от 0,82 до 2,85 мкг/дм³ в слоях 0–30 м в благоприятном, по-видимому, для его развития интервале температур 6–8°C. Аналогичные наблюдения отмечали исследователи в Норвежском море в июле 1977 г., когда в относительно холодных водах с температурами верхнего двухметрового слоя 7–8°C продолжалось весеннее цветение диатомовых водорослей (Сапожников и др., 2000).

Дефицит насыщения воды кислородом прослеживался уже на горизонте 20 м и до дна, например, на станции 14 (80 м) насыщение снижалось до 63,3%, на станции 21 (75 м) – до 70,2%, что свидетельствовало об усилении процессов окисления органического вещества. Насыщенными кислородом были только верхние слои 10–20 м, например, на станции 7 (20 м) процент насыщения достигал 107,7% (табл. 11) (рис. 26, 27).

Таблица 11

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в ноябре 2001 г.

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₂	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-0,38	31,09	63,3	0,20	0,00	0,00	9,40	0,33	0,26	3,44	0,00
Макс.	8,16	32,90	107,7	2,08	0,00	18,6	71,2	1,91	1,84	46,6	2,90
Среднее	6,25	31,60	94,0	0,68	0,00	2,54	21,0	0,58	0,59	9,10	1,14

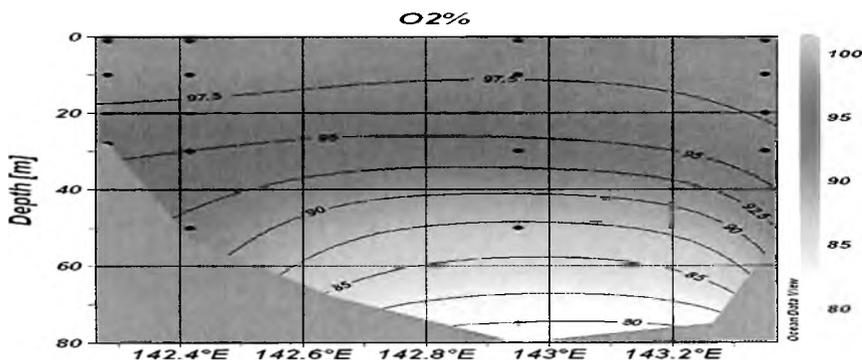


Рис. 26. Распределение кислорода в воде на разрезе 3 в ноябре

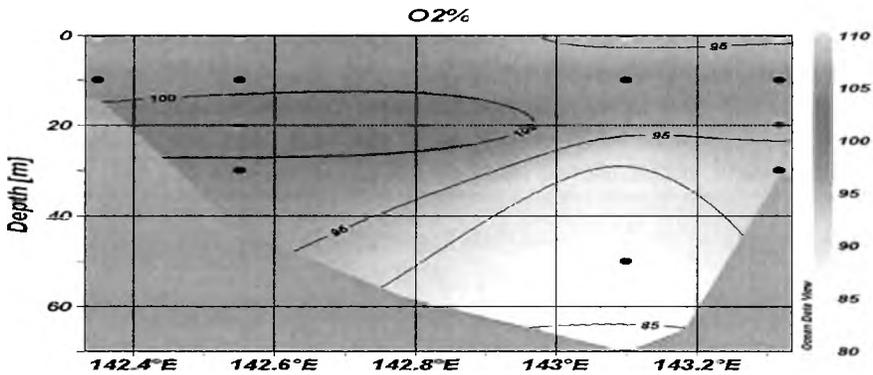


Рис. 27. Распределение растворенного кислорода в воде на разрезе 4 в ноябре

В ноябре, как и в другие сезоны 2001 г., происходило заметное различие в распределении соединений биогенных элементов по вертикали. Наибольшие концентрации нитратов, фосфатов и кремния традиционно были на мористых глубоководных станциях 14, 21, 23. При этом максимальные концентрации нитратного азота 18,6 мкМ и минерального фосфора 1,9 мкМ зафиксированы в центральной части залива на станции 14 (разрез 3) на глубинах 75, 80 м (рис. 28, 29).

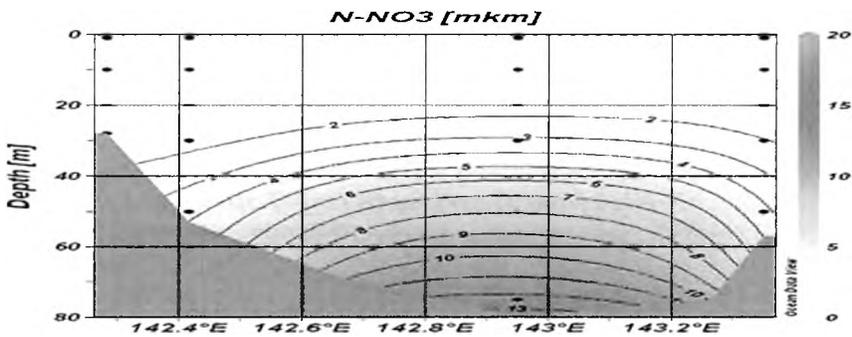


Рис. 28. Распределение концентраций азота нитратного в воде на разрезе 3 в ноябре

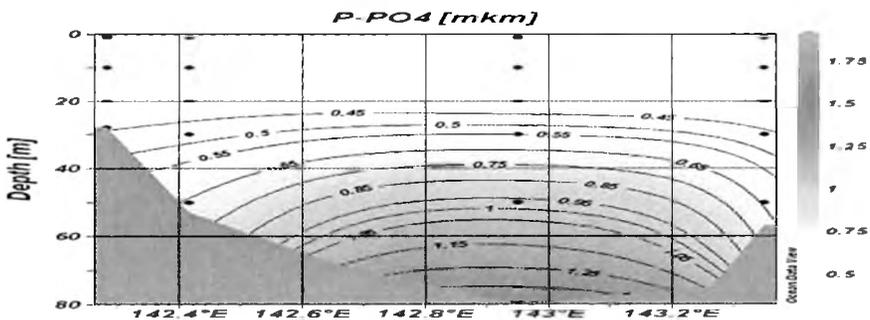


Рис. 29. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 3 в ноябре

В этот период замедление окислительных процессов при низких температурах сопровождалось снижением концентраций органических форм азота, величины которых варьировались в интервале 9,4–71,2 мкМ. Максимум отмечен в поверхностных водах побережья на станции 1. Максимальная концентрация аммонийного азота 2,08 мкМ обнаружена также в поверхностных слоях, но уже в центральной части залива на станции 21 (0 м) (рис. 30, 31).

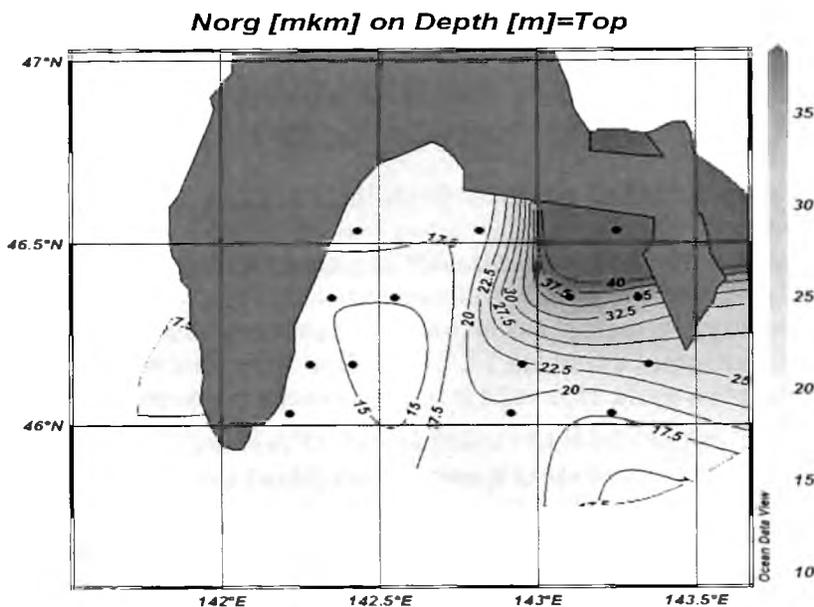


Рис. 30. Распределение концентраций органического азота на поверхности воды в ноябре

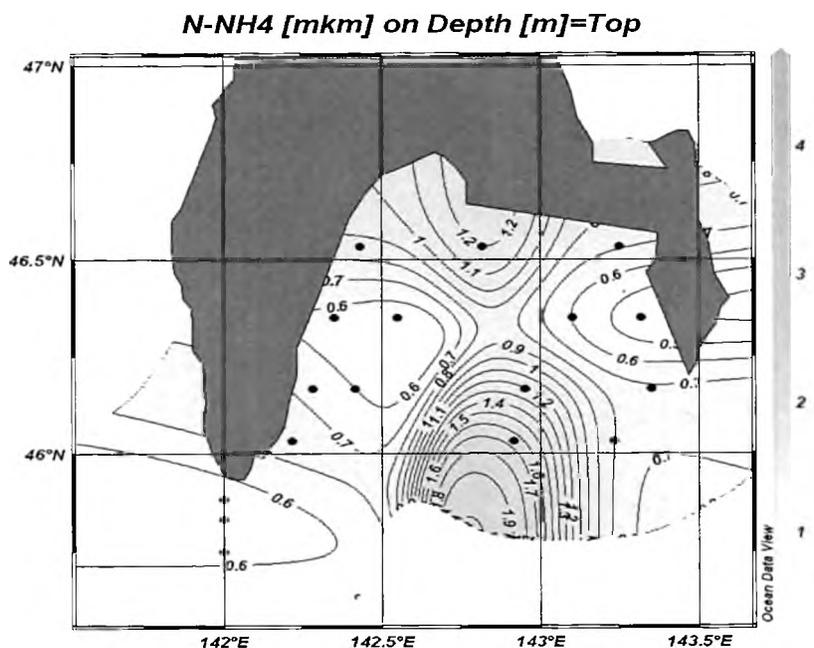


Рис. 31. Распределение концентраций аммонийного азота на поверхности воды в ноябре

В ноябре происходило затухание процессов синтеза органического вещества, что отчетливо просматривается на рисунке 32. Как и в октябре, максимальная величина суммарной продукции ОВ в столбе воды 85 гС/м^2 в этот период была в центральной части залива на станции 14 (см. рис. 32).

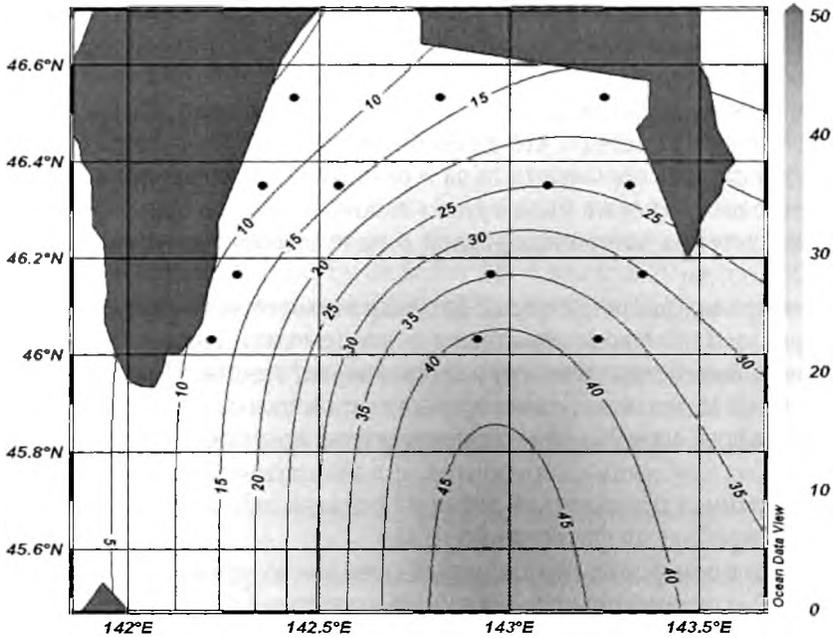


Рис. 32. Распределение величины суммарной продукции ОВ (гС/м^2) в водах зал. Анива в ноябре 2001 г.

Таким образом, среднее значение продукции ОВ в столбе воды на глубоководных станциях в ноябре составляло $312 \text{ мгС}/(\text{м}^2 \text{ в сут.})$ (см. табл. 4).

Следует отметить, что оцененные в 2001 г. концентрации биогенных элементов не противоречат среднемноголетним значениям, представленным в «Океанографическом атласе шельфовой зоны острова Сахалин» (Пищальник, Бобков, 2000). Так, в весенние сезоны в заливе Анива наблюдались максимальные концентрации минерального фосфора в интервале $0,1\text{--}1,8 \text{ мкМ}$ на глубине 96 м (в Атласе – $0,4\text{--}1,4 \text{ мкМ}$). Максимальные концентрации азота нитритного были $0,26 \text{ мкМ}$ (в Атласе – $0,25 \text{ мкМ}$), кремний на глубине 96 м определен в максимальных концентрациях 30 мкМ (в Атласе – $20,0 \text{ мкМ}$ на глубинах 50 м). Аналогичные совпадения прослеживаются и по другим сезонам. Например, осенью на разрезе III северо-восточного шельфа Сахалина в слоях до 100 м среднемноголетние значения концентраций кремния составляли 50 мкМ , а на разрезе II в зал. Анива – 40 мкМ . Осенью 2001 г. в зал. Анива в октябре–ноябре средняя концентрация кремния варьировалась в интервале $47\text{--}48 \text{ мкМ}$.

Для летнего периода в Охотском море максимальные концентрации фосфатов в мощных циклонических круговоротах северо-восточного шельфа Сахалина достигали величин порядка $1,4\text{--}1,8 \text{ мкМ}$. Около м. Анива в поверхностных слоях они были порядка $0,3 \text{ мкМ}$ (Сапожников, 1999). В 2001 г. в заливе Анива максимальные концентрации минерального фосфора в придонных

горизонтах достигали 2,67 мкМ на станции 7 (75 м), в поверхностных слоях было также 0,3 мкМ.

Подводя итоги экспедиционных исследований в зал. Анива в 2001 г., следует сказать, что отмечаемые повышенные концентрации как гидрохимических, так и продукционных параметров на восточных и глубоководных станциях являлись результатом проникновения в акваторию залива Восточно-Сахалинского течения, способствующего уменьшению стратификации в восточных участках залива, а также увеличением высоты фотического слоя на мористых станциях. Оба эти фактора создавали благоприятные условия для образования значительного количества продукции органического вещества в воде зал. Анива в 2001 г.

Особо следует отметить, что в весенний период 2001 г. (*апрель*) акватория залива была покрыта обломками льда и развитие фитопланктона происходило непосредственно у кромки льда и подо льдом. При этом был отмечен рекордный «пик» цветения микроводорослей в виде высоких концентраций хлорофилла *a* (20 мкг/дм³).

В *июне* происходили процессы биогидрохимического характера, выразившиеся в присутствии в воде повышенных концентраций недоокисленных форм азота (аммонийного, нитритного) и органического азота. При этом обнаружено снижение насыщения воды кислородом в прибрежных водах вплоть до 66,1%. Образовавшийся в слое 20–30 м термоклин тормозил проникновение питательных веществ из глубинных горизонтов, и в поверхностных слоях водной толщи в июне начинал проявляться дефицит соединений биогенных элементов в результате потребления фитопланктоном.

В *августе* происходил интенсивный прогрев толщи воды, вследствие чего на глубине 10 м сформировался хорошо выраженный слой скачка, препятствующий обмену водных масс по вертикали, что приводило к резкому уменьшению в нем питательных солей из-за высокой степени их потребления при образовании продукции органического вещества.

В результате штормовых погодных условий в *октябре* и *ноябре* процессы перемешивания водной массы и усиление терригенного стока оказывали влияние на качественный состав водной толщи. Обнаружены особенно высокие концентрации органического азота в осенний период (до 160 мкМ). Отмечен второй, осенний «пик» цветения микроводорослей, при этом концентрации хлорофилла *a* были невысокими (максимум 2,85–3,74 мкг/дм³), но развитие микроводорослей прослеживалось во всей толще воды. Вероятно, это было связано с глубоким залеганием термоклина в осенний период.

Учитывая, что на глубинах 75–100 м зимний запас минеральных форм фосфора не изымается в процессе фотосинтеза, оставаясь в течение года на одном уровне, рассчитанная величина суммарной продукции ОВ под квадратным метром за полгода на глубоководных станциях 9, 14, 21, 23 в 2001 г. колебалась в среднем в пределах от 157,8 гС/м² в апреле до 389 гС/м² в августе, или 219–540 мгС/(м² в сут.), что в среднем по году составляет 366 мгС/(м² в сут.) (см. табл. 4).

В прибрежных районах морей умеренного пояса широко распространены мезотрофные воды, и, как правило, они характеризуются значительными колебаниями в содержании соединений биогенных элементов и продуктивности вод на протяжении года в пределах от 100 до 500 мгС/(м² в сут.) (Кобленц-Мишке, Ведерников, 1977). Поскольку рассчитанное нами значение продукции на глубоководных станциях хорошо укладывается в этот интервал, воды зал. Анива следует отнести к **мезотрофным**.

Особенности распределения концентраций биогенных веществ в водах зал. Анива в 2002 г.

Январь. В январе 2002 г. положительная температура воды была отмечена вдоль восточного побережья – от 0,02 до 1,48°C. По этой же «траектории» прослеживались максимальные по заливу значения солёности в интервале 31,60–32,72‰ и наибольшие концентрации соединений биогенных элементов: минерального фосфора (2,07 мкМ), нитратного азота (21,35 мкМ) на станции 12 (50 м). В глубинных слоях с положительной температурой воды на восточных станциях 9 (75 м) при $t=0,09^\circ\text{C}$, 16 (50 м) при $t=1,28^\circ\text{C}$, 23 (95 м) при $t=1,48^\circ\text{C}$ были отмечены максимальные для января концентрации кремния: 27,7; 19,3; 22,7 мкМ соответственно. На западных станциях 5, 6, 18 во всей толще воды содержание кремния было в два раза меньше (5–13 мкМ), по-видимому, из-за влияния затоков обедненных биогенными элементами япономорских вод (см. статью Будаевой и др. в наст. сб.).

Максимальные концентрации аммонийного азота (8,75 мкМ) были обнаружены на западном побережье залива на станции 17 (0 м). Вероятно, в прибрежье сказывалось влияние речного стока, загрязняющего воду аммонием до глубин 30 м, где его концентрации варьировались в интервале 1,43–5,45 мкМ. В январе во всей исследуемой акватории наблюдался дефицит растворенного кислорода (69,1–92,7%) (табл. 12).

Таблица 12

**Статистические характеристики концентраций гидрологических,
гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³)
в водах зал. Анива в январе 2002 г.**

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,69	31,27	69,1	0,00	0,00	1,70	1,79	0,51	0,01	5,10	0,00
Макс.	1,48	32,72	92,7	8,75	0,85	21,45	38,5	2,07	1,81	27,7	0,00
Среднее	-0,82	31,45	89,4	1,40	0,21	7,86	16,6	0,91	0,35	12,8	0,00

Наибольшая суммарная величина продукции ОВ в столбе под квадратным метром в январе составляла 74 гС/м² на станции 23, поскольку здесь зимний запас минерального фосфора был максимальным и достигал концентрации 2,07 мкМ (см. табл. 12, табл. 13).

Таким образом, среднее значение величины суммарной продукции органического вещества на глубоководных станциях в январе 2002 г. составляло 164 мгС/(м² в сут.).

Таблица 13

**Расчетные величины суммарной продукции (ОВ) (гС/м²)
в водах зал. Анива (в различные сезоны 2002 г.)**

Номер станции	Январь	Апрель	Июнь	Август	Октябрь– ноябрь
14	28,0	41	63	98,5	100
9	13,0	68	44,8	96,2	100,4
21	4,0	54,1	65	144	111,8
23	74,0	49,7	80,9	155,8	119,5
24	–	17,5	103,8	62	18
Сумма	119,0	230,3	357,5	556,5	449,4
Среднее	29,8	46,1	71,5	111,3	89,9
Среднее в сутки	0,164	0,256	0,392	0,618	0,500
Среднее, мгС/(м ² в сут.)	164,0	256,0	392,0	618,0	500,0
Среднее по году	386,0 мгС/(м² в сут.)				

Апрель. В апреле 2002 г. дополнительно были выполнены станции в проливе Лаперуза на разрезе S1, поэтому на некоторых рисунках распределение ингредиентов отображено в более обширной зоне. Кроме этого исследования проводили и на станции 24 на разрезе 4, так как побережье м. Анива было к этому времени свободно ото льда.

Поскольку в условиях ранней весны и отсутствия ледового покрова начало вегетационного развития микроводорослей пришлось на более ранние сроки по сравнению с весной 2001 г., в период проведения экспедиции вегетационный «пик» не был замечен. Это согласуется с океанологическими и погодными условиями (см. статью Будаевой и др. в наст. сб.). На фоне слабой фотосинтетической деятельности процент насыщения кислородом в среднем составлял 98,1%, что ниже среднего прошлогоднего насыщения, равного 105,3%. Максимальное насыщение 115,1% было на станции 6 (10 м) с интенсивно развивающимся фитопланктоном, где отмечалась наиболее высокая концентрация хлорофилла *a* (4,97 мкг/дм³) (табл. 14).

Таблица 14

**Статистические характеристики гидрологических,
гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³)
в водах зал. Анива в апреле 2002 г.**

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₃	Хлоро- филл <i>a</i>
Мин.	-1,72	31,30	62,9	0,00	0,00	0,00	9,63	0,03	0,00	7,53	0,00
Макс.	1,86	32,92	115,1	6,67	0,47	20,0	62,7	1,84	1,82	33,5	4,97
Среднее 2002 г.	-0,13	32,16	98,1	1,53	0,23	9,82	27,9	0,85	0,56	18,0	0,88
Среднее 2001 г.	-0,69	32,45	105,3	–	0,08	8,75	–	1,01	–	14,2	5,26

Кислородный режим в водных слоях в апреле 2002 г. был интересен тем, что его дефицит проявлялся уже на глубинах 10–30 м, достигая минимума 62,9% насыщения. В то же время в придонных слоях восточной станции 23 (75 м) отмечено нетипичное для глубинных вод насыщение воды кислородом (до 103,8%), происходившее, возможно, из-за свежих затоков вод с востока, способствующих «вентиляции» глубинных вод (Сапожников, Метревели, 2000). С этими же водами в залив поступали биогенные элементы, и их содержание было вполне достаточным для развития фитопланктона, но, вероятно, присутствовали какие-то другие факторы, лимитирующие процесс активной вегетации в апреле 2002 г.

В связи с тем, что интенсивного потребления биогенных элементов не происходило из-за слабой фотосинтетической деятельности, их январские запасы сохранились и в апреле 2002 г. были немного выше, чем годом ранее. Максимальная концентрация кремния составляла 33,5 мкМ на станции 23 (50 м). При этом следует отметить, что поверхностные слои залива были на порядок богаче кремнием (от 8 до 18 мкМ), чем в апреле 2001 г. (от 1 до 8 мкМ). Концентрации нитратного азота в слоях выше термоклина снижались в тот период до минимального предела обнаружения, в то время как в апреле 2002 г. варьировались в поверхностных слоях от 5 до 11 мкМ (рис. 33, 34).

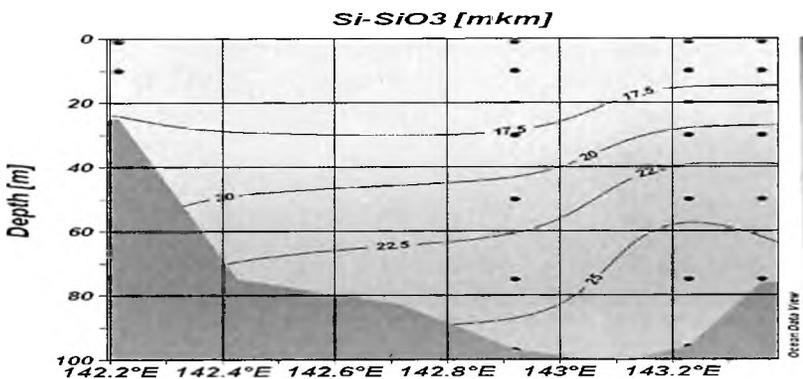


Рис. 33. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 4 в апреле

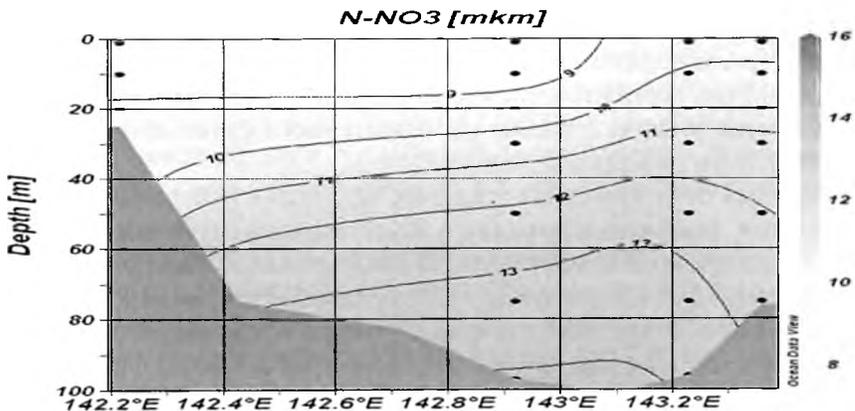


Рис. 34. Распределение концентраций нитратного азота в воде на разрезе 4 в апреле

Концентрации минерального и органического фосфора достигали равновесия и варьировались в интервалах 1,82–1,84 мкМ на восточных станциях 9, 11 (рис. 35, 36).

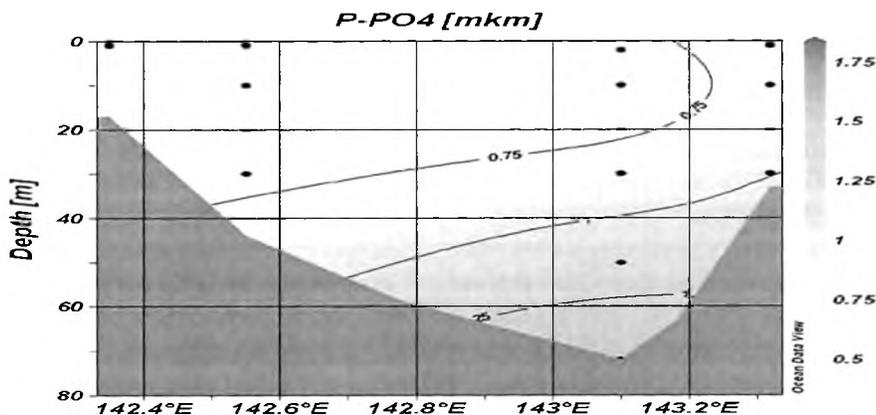


Рис. 35. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 2 в апреле

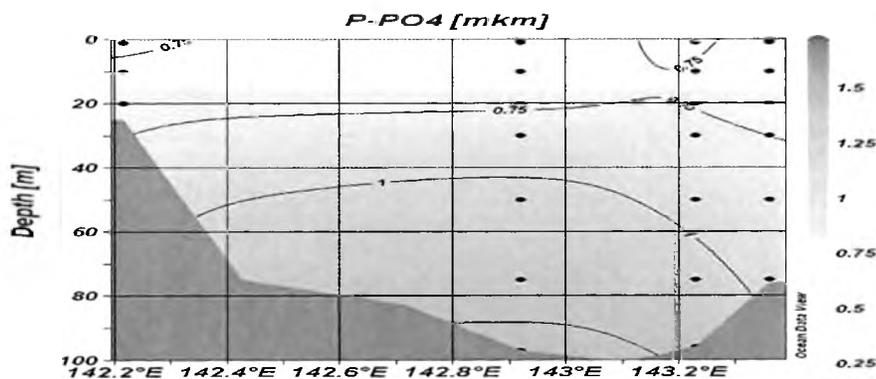


Рис. 36. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 4 в апреле

Наибольшие концентрации органического азота (62,7 мкМ) и аммонийного азота (6,67 мкМ) были приурочены к районам с развивающимся фитопланктоном. Максимальные в этом сезоне концентрации органического фосфора 1,82 мкМ были отмечены на глубинах 10–20 м на станциях 5, 6 в западной части залива. Таким образом, в прибрежных районах залива наблюдались наибольшие для апреля концентрации и минеральных, и органических форм биогенных элементов в связи с влиянием терригенного стока при раннем сходе снежного покрова и дождливой погоде.

На восточных глубоководных станциях 12, 23, 24 в распределении концентраций нитратов, фосфатов и кремния в толще воды на глубинах 0, 20, 30, 50 м наблюдались «вторичные максимумы», за которыми следовали глубинные максимумы концентраций хлорофилла *a* (Ведерников, Гагарин, 1998). Особенно нетипичными были более высокие концентрации соединений биогенных веществ в поверхностных слоях с уменьшением их на глубинах 10 и 50 м. Такое «расслоение» концентраций в толще воды объясняется необычными океанологическими условиями на разрезе м. Анива – м. Анастасии в апреле 2002 г. (см. статью Будаевой и др. в наст. сб.). Более слабое расслоение толщи воды на

«глубинные максимумы» в 2001 г. также имело место, но проявлялось на западных станциях. Это объясняется различной гидродинамикой и отсутствием четко выраженного термоклина в апреле 2002 г. В связи с неравномерным вертикальным распределением концентраций минерального фосфора в водных слоях образование продукции ОВ в апреле 2002 г. имело «очаговый» характер и наиболее активно проявлялось на восточных глубоководных станциях. Максимальная величина суммарной продукции ОВ в воде была на станции 9 и составляла 68 гС/м^2 (см. табл. 13) (рис. 37).

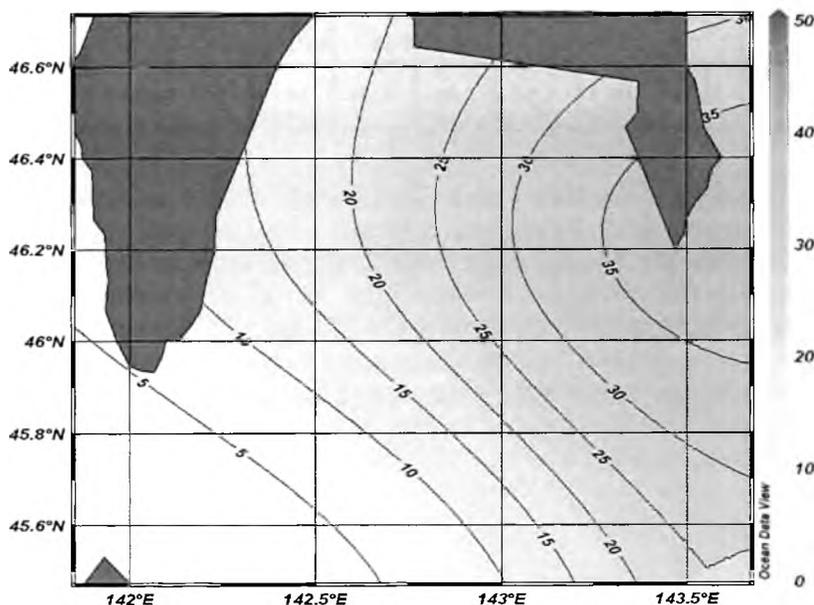


Рис. 37. Распределение величины суммарной продукции ОВ (гС/м^2) в водах зал. Анива в апреле 2002 г.

Таким образом, среднее значение продукции ОВ в столбе воды на глубоководных станциях в апреле составляло 256 гС/м^2 (см. табл. 13).

Июнь. В условиях резкого перепада температур в июне (от $-1,54$ до $+10,37^\circ\text{C}$) более теплые воды распространялись на западном побережье, где плюсовая температура была отмечена и в придонных слоях. На восточных станциях отрицательная температура воды была на горизонтах 30 м (станция 11). Самые холодные воды были на глубинах 50–96 м (станции 21, 23, 24). При этом концентрации соединений минерального фосфора, азотной группы биогенных элементов оставались в тех же пределах, что и в апреле (табл. 15).

При достаточном количестве питательных веществ, повышении температурного режима поверхностных вод процессы образования фитопланктона на западных станциях активизировались по сравнению с апрелем, так как существенно повысились концентрации хлорофилла *a* (до $7,96 \text{ мкг/дм}^3$). Это свидетельствовало о том, что при отсутствии льда в акватории залива в апреле 2002 г. весенней вспышки, возможно, не было и «пик» цветения фитопланктона состоялся в июне, в слоях выше термоклина, сформировавшегося на 30 м.

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в июне 2002 г.

	T, °C	S, ‰	O ₂ , ‰	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Рорг.	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,54	31,69	67,4	0,00	0,00	0,00	3,20	0,08	0,00	4,10	0,00
Макс.	10,37	32,99	119,5	6,25	0,00	18,2	42,5	2,13	1,00	34,6	7,96
Среднее 2002 г.	5,65	32,16	102,2	1,60	0,00	3,95	24,8	0,78	0,41	13,1	0,84
Среднее 2001 г.	4,34	32,29	109,5	1,34	0,08	4,60	14,5	1,04	0,44	10,3	0,70

В период развития фитопланктона в июне процент насыщения водной массы кислородом был высоким во всей толще воды (максимум 119,5%), за исключением горизонтов 50–70 м, где его дефицит достигал 67,4%.

Распределение концентраций кремния на мористых станциях было типичным – максимум 30,8 мкМ у дна на станции 23 (95 м), минимум 4,1 мкМ в поверхностных слоях станции 24 (см. табл. 15) (рис. 38). По изолиниям распределения концентраций соединений кремния на разрезе 2 можно наблюдать «расслоение» воды по вертикали на две части (запад–восток), что, вероятно, отражает особенности гидрологического режима в акватории в июне 2002 г. (рис. 39). Кроме этого, на горизонтах были образованы «вторичные максимумы» концентраций минерального фосфора и нитратного азота.

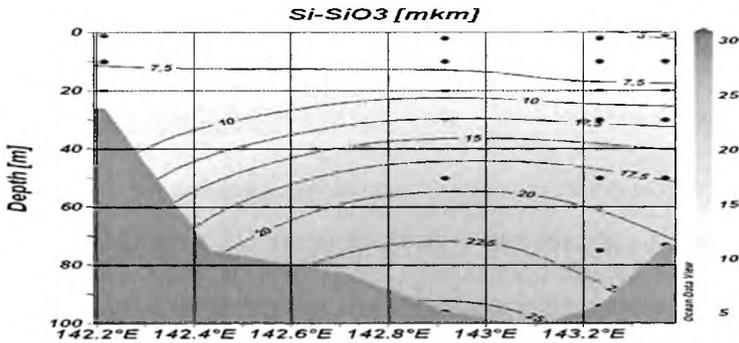


Рис. 38. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 4 в июне

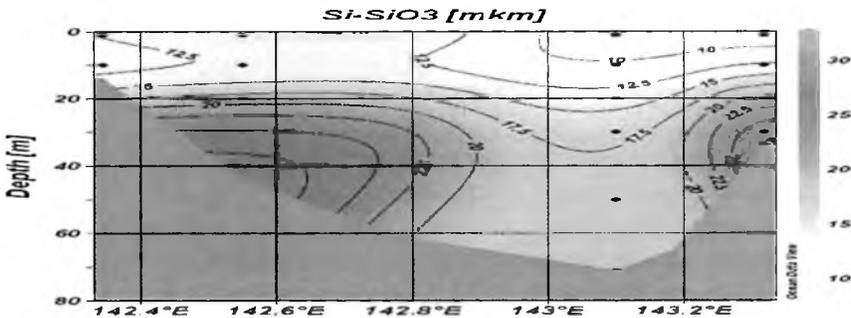


Рис. 39. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 2 в июне

Наблюдаемые в июне гидрофизические и климатические особенности способствовали обогащению поверхностных вод на западных прибрежных станциях 9, 7, 6, 17 соединениями биогенных элементов в связи с усилением речного и дождевого стока. В то же время отмечался традиционный подъем глубинных вод с восточной стороны у м. Анива. В западной части залива в водах, прилежащих к проливу Лаперуза, прослеживалось влияние япономорских вод, обедненных биогенными элементами.

Наиболее продуктивными были станции 9, 14, 21, 23, 24, расположенные в восточных и центральных частях залива. Максимальная величина суммарной продукции ОВ, продуцированного в столбе воды под квадратным метром $103,8 \text{ гС/м}^2$, была на станции 24 (см. табл. 13) (рис. 40).

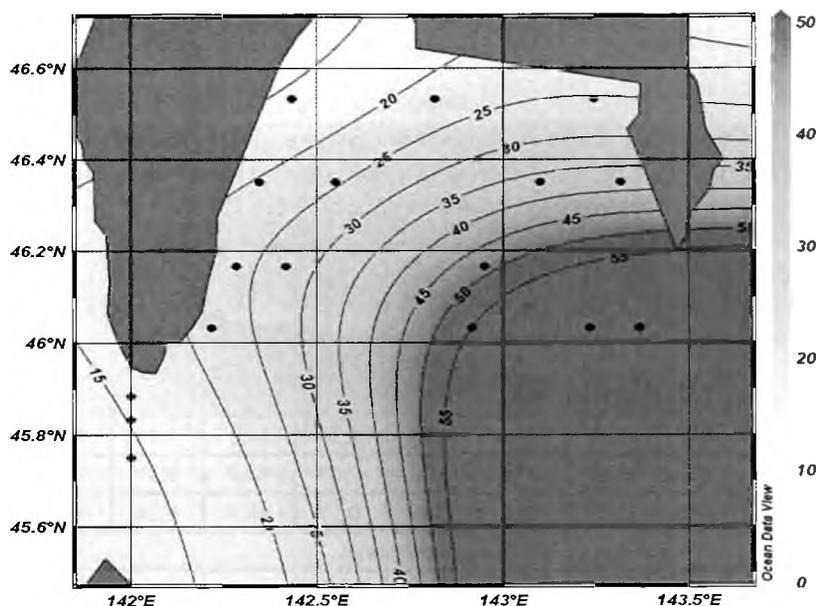


Рис. 40. Распределение величины суммарной продукции ОВ (гС/м^2) в водах зал. Анива в июне 2002 г.

Таким образом, среднее значение величины суммарной продукции ОВ в столбе воды на глубоководных станциях увеличилось в июне и составляло 392 гС/м^2 (см. табл. 13).

Август. Температура воды в августе варьировалась в широком диапазоне: от $-1,38$ до $+15,45^\circ\text{C}$. Холодными оставались глубоководные слои на восточных станциях при максимальной солености $32,98\%$ на станции 23 (90 м) (табл. 16).

«Заглубленный» термоклин, сформировавшийся в августе на горизонтах 30–50 м, препятствовал подъему глубинных вод, насыщенных питательными солями, но прошедшие циклоны пополнили их запас за счет дождевого и терригенного стока, поэтому полной утилизации биогенных элементов в поверхностных слоях, как в августе 2001 г., не происходило (см. табл. 7, табл. 17).

Таблица 16

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в августе 2002 г.

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₂	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-1,38	29,94	65,1	0,00	0,00	0,00	18,2	0,00	0,00	1,20	0,00
Макс.	15,45	32,98	132,7	3,00	0,00	23,7	60,8	2,89	1,74	41,2	1,98
Среднее 2002 г.	9,59	31,71	93,4	0,99	0,00	4,71	34,9	0,71	0,72	10,3	0,74
Среднее 2001 г.	8,20	32,35	99,5	1,46	0,09	6,70	14,5	0,87	0,47	9,92	0,37

Таблица 17

Средние значения гидрологических, гидрохимических параметров (мкМ) и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива относительно термоклина в августе 2002 г.

Номер разреза	Слой, м	Температура, °C	Соленость, ‰	Кислород, %	N-NH ₄	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Si-SiO ₂	Хлорофилл <i>a</i>
Выше термоклина										
1	0-20	13,27	31,09	97,9	0,87	0,64	38,1	0,03	6,63	1,25
2	0-20	13,27	31,38	103,7	0,75	0,35	36,3	0,13	3,79	0,70
3	0-20	13,23	31,38	97,9	0,76	2,63	35,2	0,55	7,40	0,86
4	0-20	12,36	31,39	96,4	0,66	0,71	40,4	0,34	4,30	0,97
Ниже термоклина										
1	30	4,29	32,26	85,6	1,36	9,38	30,9	1,24	19,9	0,53
2	30-96	3,52	32,33	83,7	1,50	11,0	29,8	1,33	21,0	0,59
3	30-97	4,43	32,34	85,5	1,73	9,64	34,7	1,34	17,2	0,37
4	30-98	3,91	32,37	84,3	1,04	11,2	30,5	1,53	17,5	0,36

В глубинных слоях дефицит растворенного в воде кислорода достигал 65,1% насыщения на станции 9 (70 м) и 67,4% насыщения на станции 21 (75 м) (рис. 41, 42). Известно, что уровень содержания кислорода в воде является результирующим не только для физико-химических, но и для биологических процессов. В описываемый период дефицит кислорода был вызван как уменьшением его растворимости по мере увеличения температуры воды, так и дыханием планктонного сообщества. В поверхностных слоях акватории максимальное насыщение воды кислородом составляло 132,7% на станции 7 (10 м).

Максимальная концентрация кремния в придонных горизонтах достигала 41,2 мкМ, например, на станции 9 (70 м). Следует отметить, что в летний период из-за значительного терригенного стока, богатого кремнием, его содержание на поверхности воды западных станций 6, 18 достигало 11,8 мкМ (в августе 2001 г. эта величина была 5 мкМ).

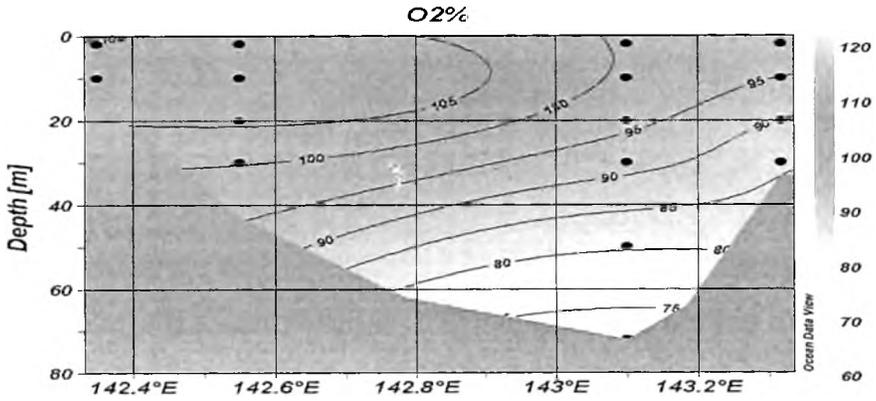


Рис. 41. Распределение кислорода в воде на разрезе 2 в августе

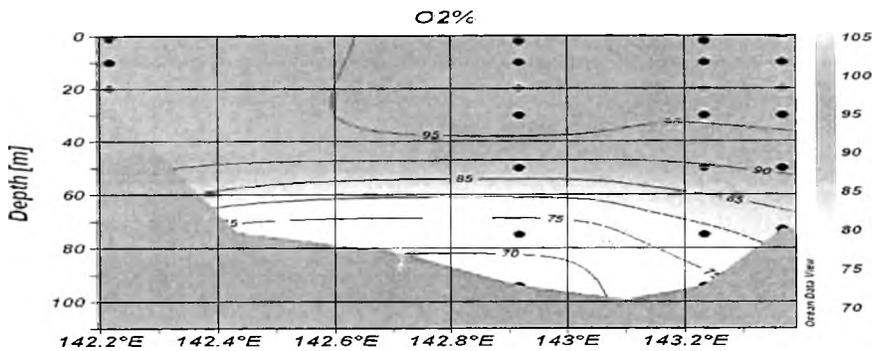


Рис. 42. Распределение кислорода в воде на разрезе 4 в августе

Максимальные концентрации минерального фосфора 2,89 мкМ на станции 21 (96 м) и азота нитратного 23,7 мкМ на станции 9 (70 м) были сосредоточены в придонных горизонтах. Минимальные концентрации были приурочены к поверхностным слоям, что отчетливо прослеживается на рисунках 43–46.

По изолиниям концентраций минерального фосфора и нитратного азота заметно влияние затоков обедненных япономорских вод на западе залива, что согласуется с океанологическими условиями в этом сезоне.

Максимальная концентрация органического азота в летний период составляла 60,8 мкМ на станции 23 (10 м). Повышенные концентрации 52–55 мкМ были обнаружены на глубинах 10–20 м прибрежных станций 3 (20 м) и 5 (0 м) на разрезе 1 (рис. 47, 48).

Максимальная концентрация аммонийного азота достигала 3,0 мкМ на станции 12 (50 м) в прибрежье восточной части залива. На мористых станциях концентрации аммония варьировались в пределах 1,77–2,22 мкМ на разрезе 4 (рис. 49, 50).

В августе 2002 г. средние значения концентраций органического азота (34,9 мкМ) были выше прошлогодних (14,5 мкМ), а максимальная концентрация 60,8 мкМ была больше в два раза (табл. 17). Как было замечено выше, прошедшие циклоны вызвали небывало большой приток вод с суши, имеющих более высокое содержание различных соединений биогенных веществ.

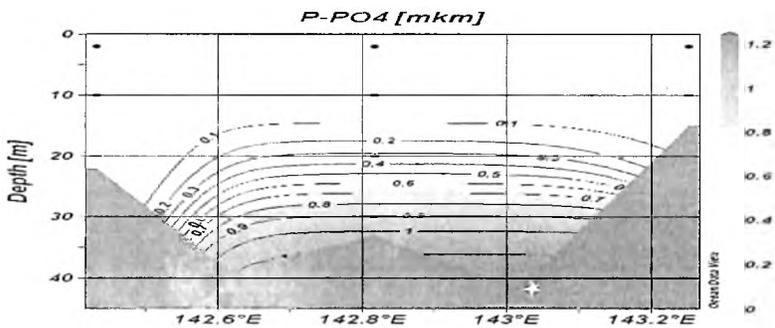


Рис. 43. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 1 в августе

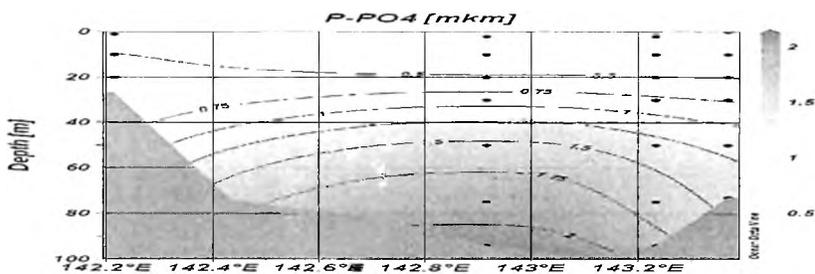


Рис. 44. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 4 в августе

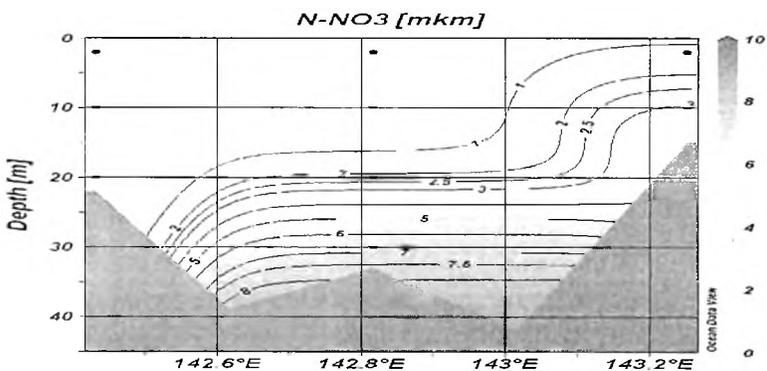


Рис. 45. Распределение концентраций азота нитратного в воде на разрезе 1 в августе

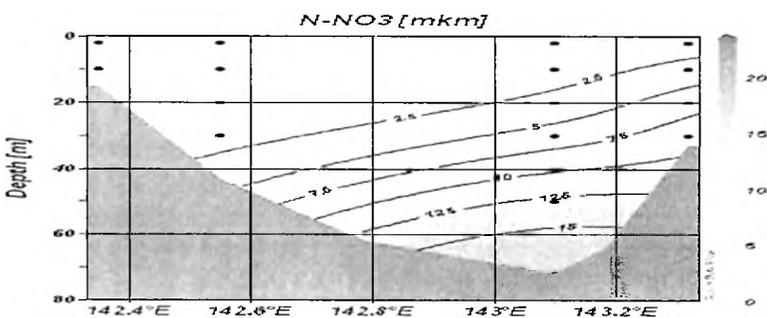


Рис. 46. Распределение концентраций азота нитратного в воде на разрезе 2 в августе

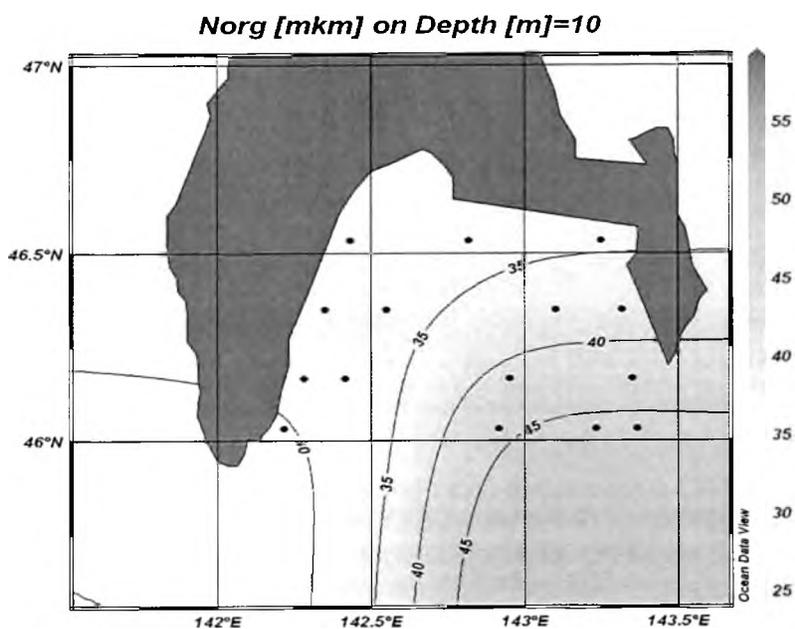


Рис. 47. Распределение концентраций органического азота в воде на глубине 10 м в августе

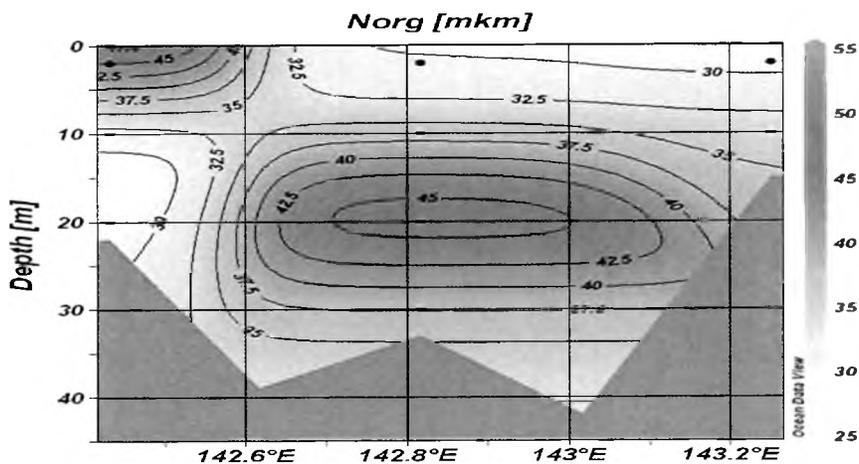


Рис. 48. Распределение концентраций органического азота в воде на разрезе 1 в августе

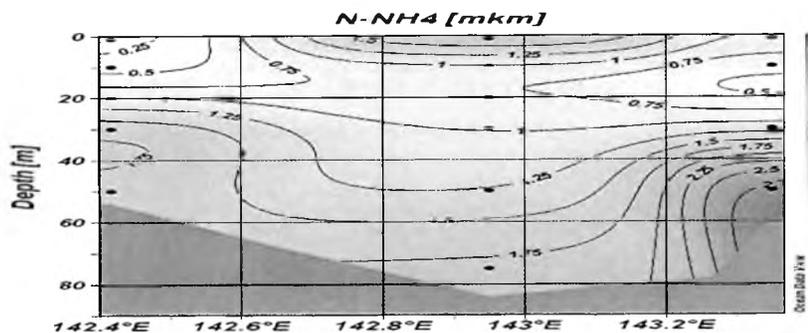


Рис. 49. Распределение концентраций аммонийного азота в воде на разрезе 3 в августе

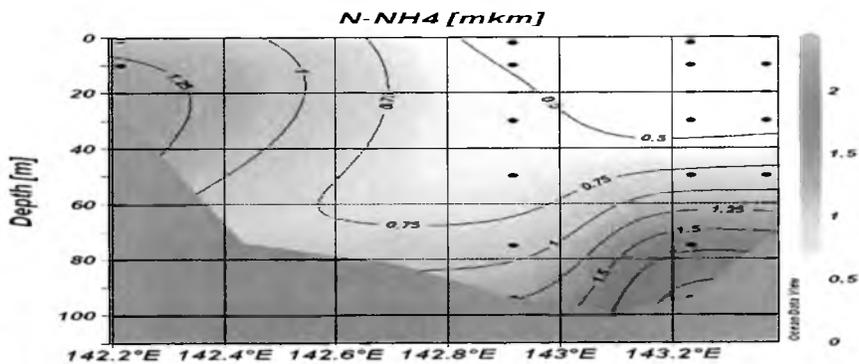


Рис. 50. Распределение концентраций аммонийного азота в воде на разрезе 4 в августе

В августе 2002 г. термоклин был сформирован в толще воды на 30–50 м, в связи с чем образовался более мощный продукционный слой по сравнению с августом 2001 г., когда термоклин был сформирован в слоях 10–20 м, что подтверждается гидрологическими особенностями этих лет.

Наибольшей величина суммарной продукции ОВ в столбе воды была на станции 23 и достигала 155,8 гС/м² (рис. 51) (см. табл. 13).

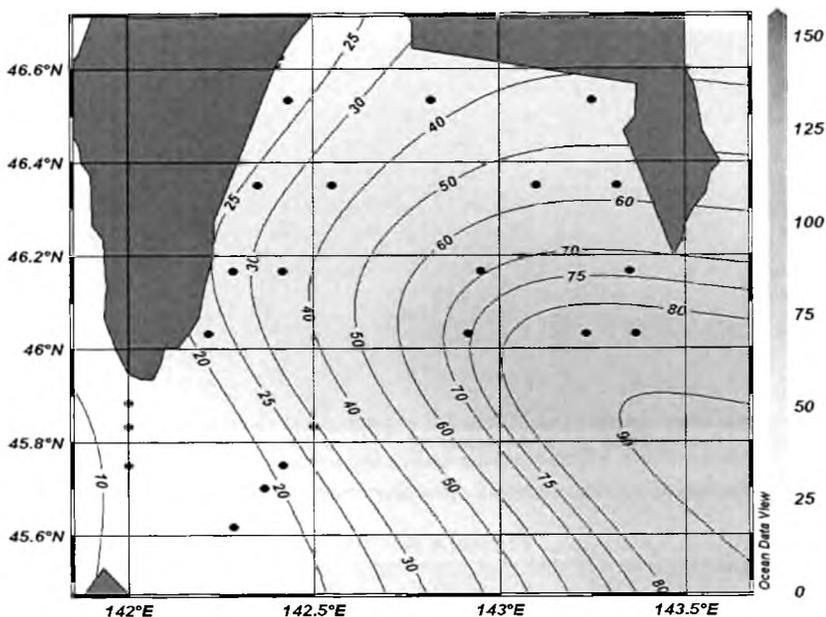


Рис. 51. Распределение суммарной продукции ОВ (гС/м²) в водах зал. Анива в августе 2002 г.

Таким образом, среднее значение продукции ОВ в столбе воды на глубоководных станциях в августе составляло 618 гС/м². Эта максимальная величина для двух лет исследований свидетельствует о том, что высота продукционного слоя, формирующегося в зависимости от залегания термоклина, является решающим фактором в продукционном процессе в акватории водоема наряду с влиянием распределения в поверхностных слоях и интенсивным подтоком глубинных вод. В то же время можно предположить, что такое увеличение могло происходить за счет так называемой «new» продукции, которая практически целиком передается в высшие звенья пищевой цепи (Грузевич и др., 1996).

Октябрь–ноябрь. В конце октября средние концентрации хлорофилла *a* в толще воды повысились по сравнению с августом (см. табл. 11, табл. 18), что свидетельствовало о наступлении второго, осеннего «пика» цветения микроводорослей аналогично 2001 г.

Таблица 18

Статистические характеристики гидрологических, гидрохимических (мкМ) параметров и хлорофилла *a* (мкг/дм³) в водах зал. Анива в октябре 2002 г.

	T, °C	S, ‰	O ₂ , %	N-NH ₄	N-NO ₂	N-NO ₃	Норг.	P-PO ₄	Порг.	Si-SiO ₃	Хлорофилл <i>a</i>
Мин.	-0,68	30,50	61,5	0,00	0,00	0,00	8,00	0,38	0,22	0,10	0,14
Макс.	9,51	32,91	99,5	3,55	2,11	25,0	117,4	2,83	1,05	38,3	2,33
Среднее 2002 г.	7,24	31,62	90,1	0,96	0,10	4,22	36,9	0,86	0,70	8,79	1,12
Среднее 2001 г.	6,25	31,60	94,0	0,68	0	2,54	21,0	0,58	0,59	9,10	1,14

После штормового перемешивания кислородный режим залива ухудшился, процент насыщения воды кислородом снижался и варьировался от 61,5 до 99,5% (рис. 52, 53).

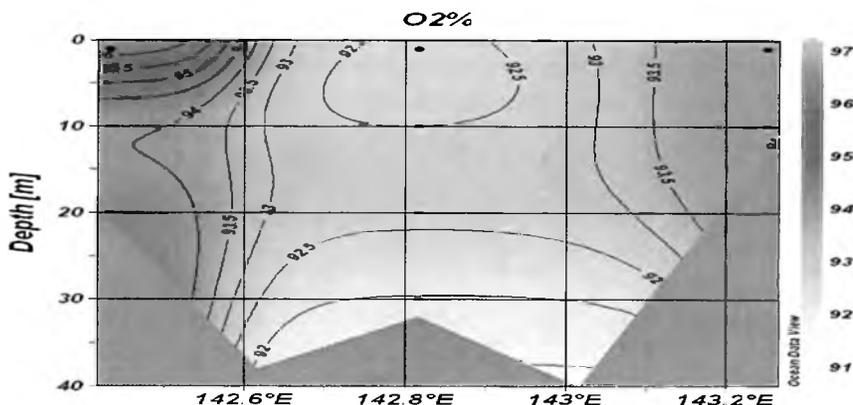


Рис. 52. Распределение кислорода в воде на разрезе 1 в октябре–ноябре

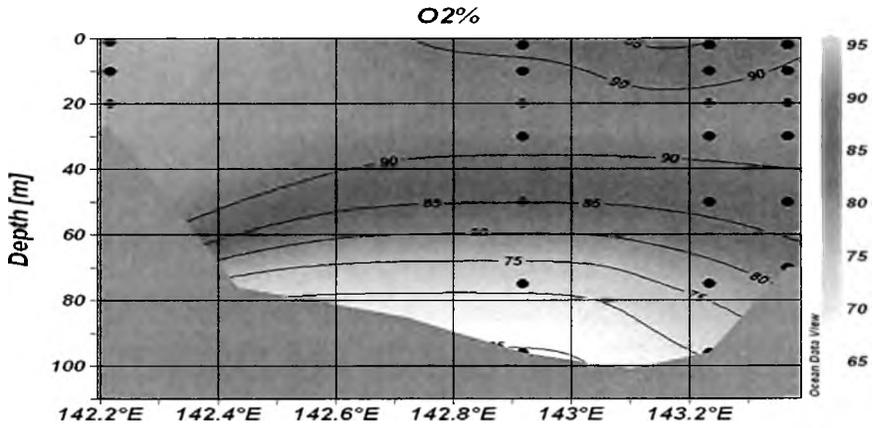


Рис. 53. Распределение кислорода в воде на разрезе 4 в октябре–ноябре

В этот период в акватории залива были обнаружены высокие концентрации органического азота на глубинах 10 м станций 1, 6, 17, 23, 24, достигавшие максимума 117,5 мкМ (рис. 54, 55).

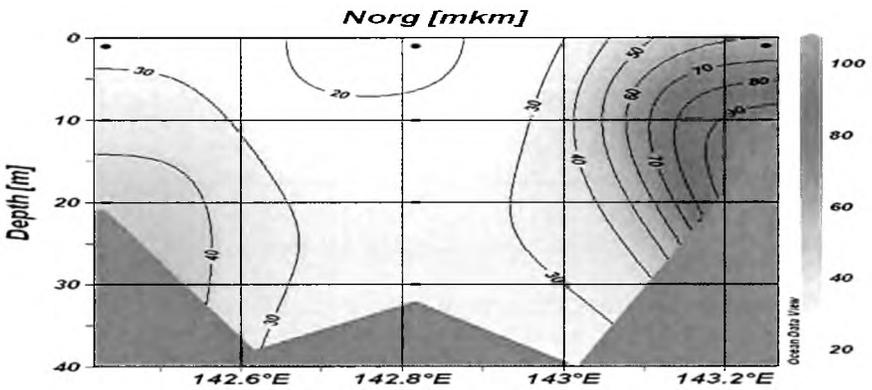


Рис. 54. Распределение концентраций органического азота в воде на разрезе 1 в октябре–ноябре

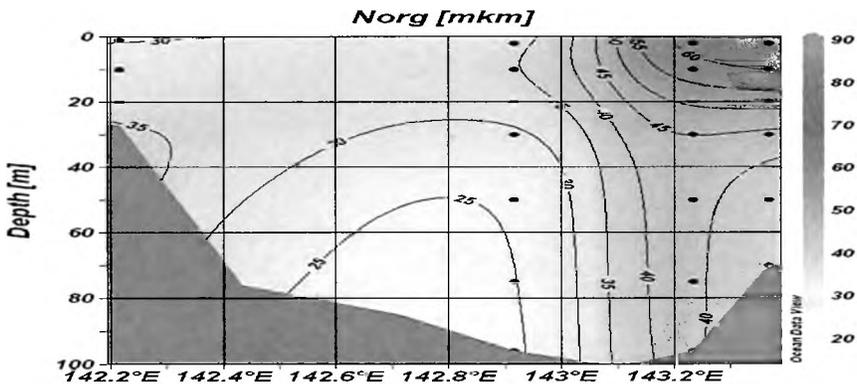


Рис. 55. Распределение концентраций органического азота в воде на разрезе 4 в октябре–ноябре

В связи с активизацией фотосинтетической деятельности в наиболее прогреваемых прибрежных водах содержание кремния в слоях воды было невысоким и снижалось до 0,4 мкМ на станции 5 (20 м) (рис. 56). Максимальные концентрации кремния составляли 37–38 мкМ на глубоководных горизонтах станции 14 (75 м) и станции 21 (96 м) (рис. 57).

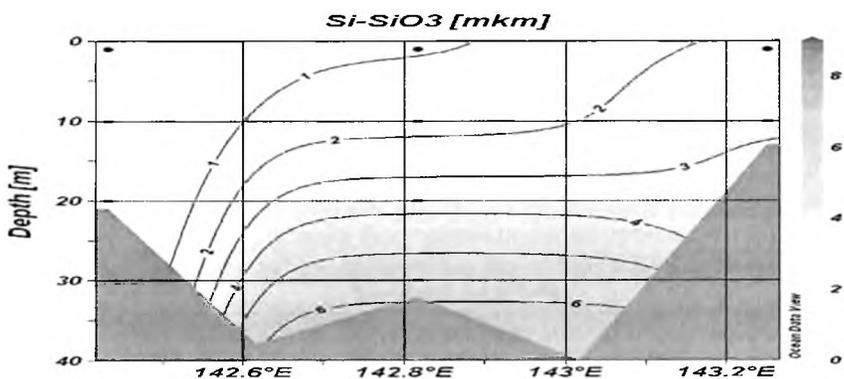


Рис. 56. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 1 в октябре–ноябре

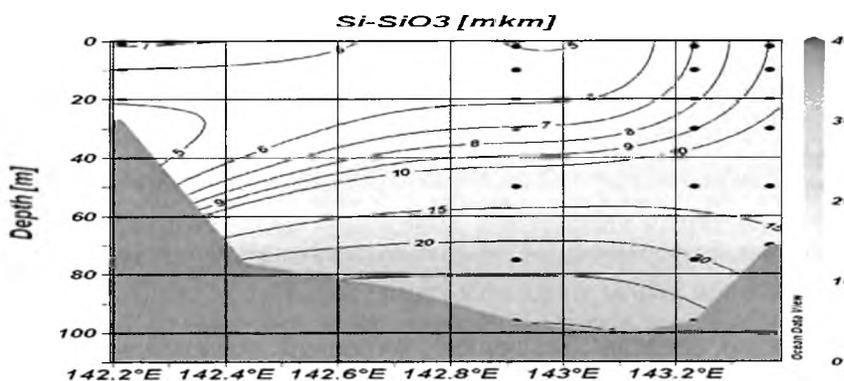


Рис. 57. Распределение концентраций кремния в воде на разрезе 4 в октябре–ноябре

Концентрации минерального фосфора и нитратного азота минимальными были также в слоях с развивающимся фитопланктоном, а их максимумы 2,83 и 25 мкМ соответственно наблюдались в глубоководных горизонтах на станции 9 (70 м) (рис. 58, 59).

Осенью 2002 г. наиболее продуктивными были центральные и восточные глубоководные станции 9, 14, 21 и 23, где величина суммарной продукции ОВ в столбе под квадратным метром варьировалась от 100 до 119,5 гС/м² (максимум на станции 23) (см. табл. 13). Следует отметить, что среднесуточная величина суммарной продукции ОВ в октябре–ноябре была на уровне августа 2001 г. и составляла величину 500 мгС/(м² в сут.) (см. табл. 4, 13), что свидетельствовало о продолжении интенсивных продукционных процессов в поздний осенний период 2002 г.

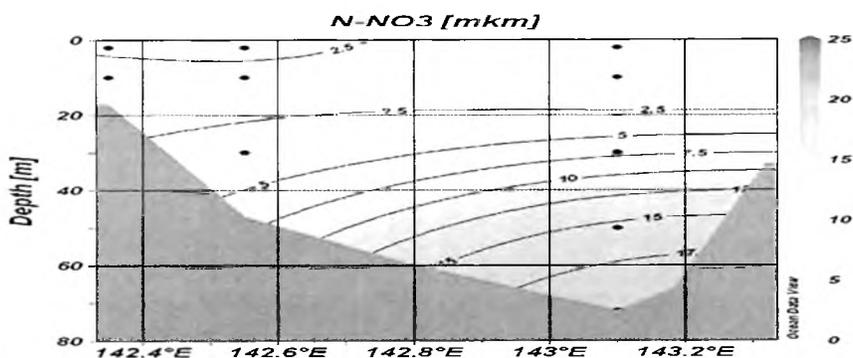


Рис. 58. Распределение концентраций нитратного азота в воде на разрезе 2 в октябрь-ноябре

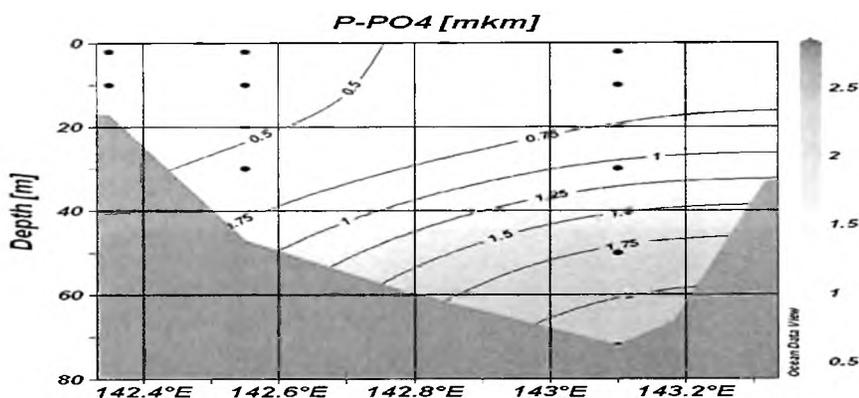


Рис. 59. Распределение концентраций минерального фосфора в воде на разрезе 2 в октябрь-ноябре

Таким образом, в апреле 2002 г. лед сошел раньше, чем в предыдущем году, и «пик» цветения фитопланктона нами был пропущен. В условиях ранней весны зимние запасы соединений биогенных веществ сохранялись в толще воды и не лимитировали развитие фитопланктона, но концентрации хлорофилла *a* при этом были намного ниже, чем в апреле 2001 г.

В июне необычно большое количество тайфунов вызывало обильный терригенный сток, пополнявший биогенными элементами поверхностные слои, и их концентрации были выше, чем в 2001 г. В то же время под влиянием Восточно-Сахалинского течения не снижался традиционный приток питательных солей из глубинных слоев. В результате в июне наблюдалось чередование «линз» максимумов и минимумов в вертикальном распределении концентраций нитратного азота и кремния различного происхождения (речного в поверхностных слоях и морского – в глубинных). Во всей толще воды содержание кислорода было равновесным (более 100%), дефицит насыщения (67,4%) был обнаружен лишь в глубоководных придонных слоях.

В августе 2002 г. в результате продолжительных дождей продолжалось пополнение поверхностных слоев биогенными элементами берегового стока. Термоклин был более «заглублен» по сравнению с августом 2001 г., сформировавшись на 30–50 м, что приводило к образованию мощного продукционного слоя. В связи с этим была отмечена максимальная в межгодовом сравнении

величина суммарной продукции органического вещества, достигавшая в 2002 г. 618 мгС/(м² в сут.). Таким образом, в летний период 2002 г. воды зал. Анива можно отнести к **эвтрофным**.

В **октябре–ноябре** 2002 г. в заливе был отмечен второй «пик» цветения микроводорослей, но более слабый, чем в 2001 г. Осенние шторма и продолжающиеся дожди приводили к интенсивному перемешиванию и опреснению вод. Отмечены повышенные концентрации органического азота (117,4 мкМ) и дефицит насыщения воды кислородом в придонных слоях (61,5%). Следует отметить высокую степень продукционных процессов в поздний осенний период 2002 г. – 500 мгС/(м² в сут.), когда средняя величина суммарной продукции ОВ была на уровне августа 2001 г. (540 мгС/(м² в сут.). Известно, что центральные и восточные части залива находятся под влиянием водных масс Восточно-Сахалинского течения, богатых биогенными элементами, это и объясняет высокий уровень продукции органического вещества в осенний период 2002 г.

ВЫВОДЫ

Водные массы зал. Анива имеют весьма сложный состав из-за перемешивания и переслоения трех основных структур: северных опресненных вод, поступающих в юго-западную часть залива более соленых трансформированных япономорских, а также транспортируемых Восточно-Сахалинским течением охотоморских вод, характеристики которых существенно изменяются в различные сезоны года. В прибрежных водах определяющим фактором является терригенный сток.

В 2001–2002 гг. вертикальное распределение биогенных веществ и хлорофилла *a* в толще воды изменялось в зависимости от расположения сезонного термоклина. В слоях выше термоклина, в результате потребления биогенных веществ фитопланктоном, их концентрации снижались до минимального предела обнаружения, в глубинных слоях акватории залива происходило пополнение запасов соединениями биогенных элементов в результате затока вод Восточно-Сахалинского течения. В поверхностных слоях содержание исследуемых ингредиентов характеризовалось повышенными концентрациями в весенний период и уменьшением к летнему сезону в связи с активизацией продукционных процессов.

В 2001 г. было отмечено два «пика» цветения микроводорослей. В апреле при наличии остатков ледяного покрова в акватории экстремально высокое содержание хлорофилла *a* (20 мкг/дм³) было отмечено в слое 0–10 м в восточной части залива. Это состояние экосистемы обусловлено цветением холодолюбивых видов фитопланктона, связанных своим развитием с таянием льда и развивающихся за счет потребления питательных веществ, доступных в верхнем перемешанном слое. Второй «пик» цветения был отмечен в осенний период и происходил во всей толще воды при невысоких концентрациях хлорофилла *a* (максимум 3,74 мкг/дм³).

Характерной особенностью летнего периода 2001 г. являлось то, что относительно прогретый верхний 10-метровый слой был отделен от нижележащих холодных слоев хорошо выраженным слоем температурного скачка, препятствующего обмену водных масс по вертикали. Фитопланктон активно развивался непосредственно под термоклином, в результате чего на глубине 10 м были сформированы слои с максимальными концентрациями растворенного кислорода (до 132,7%).

Создание продукции органического вещества характеризовалось в 2001 г. усилением от весны к лету и затуханием к осени. Наиболее высокая величина суммарной продукции органического вещества была в августе и составляла 500 мгС/(м² в сут.), снижаясь к ноябрю до 312 мгС/(м² в сут.).

Весной 2002 г. в акватории залива лед сошел раньше обычного, и в период исследований вегетационный «пик» цветения микроводорослей не был отмечен. Запасы соединений биогенных веществ сохранялись на уровне январских и не лимитировали развитие фитопланктона.

В августе 2002 г. в акватории залива термоклин был сформирован на более низких горизонтах (30–50 м), чем в 2001 г. В результате в мощном продукционном слое на глубоководных станциях средняя величина суммарной продукции была больше, чем в августе 2001 г. и достигала 618 мгС/(м² в сут.).

В конце октября 2002 г. процесс образования продукции был по-прежнему интенсивным, и величина суммарной продукции органического вещества достигала 540 мгС/(м² в сут.), что сопоставимо с августом 2001 г. То есть наблюдался эффект «растяжения» периода развития продукции органического вещества до более позднего сезона. Наиболее вероятной причиной этого явления может быть запаздывание весенней вспышки цветения фитопланктона весной 2002 г.

Независимо от резких различий в климатическом, гидрологическом и гидрохимическом режиме водной толщи в 2001–2002 гг. средняя величина продукции органического вещества отличалась незначительно: 366 мгС/(м² в сут.) в 2001 г. и 386 мгС/(м² в сут.) в 2002 г. В целом, по характеру сезонных колебаний содержания биогенных элементов и продуктивности воды залива Анива можно охарактеризовать как мезотрофные, в летние периоды (август) – как эвтрофные.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Алекин, О. А.** Основы гидрохимии / О. А. Алекин. – Л. : Гидрометеиздат, 1970. – 443 с.
2. Обеспеченность фитопланктона биогенными элементами в северной части Охотского моря / **Н. В. Аржанова, И. А. Налетова, В. В. Сапожников, А. В. Полякова** // *Океанология*. – 2002. – Т. 42, № 2. – С. 198–209.
3. Ведерников, В. И. Первичная продукция и хлорофилл в Баренцевом море в сентябре–октябре 1997 г. / **В. И. Ведерников, В. И. Гагарин** // *Океанология*. – 1998. – Т. 38, № 5. – С. 710–718.
4. **ГОСТ 17.1.04.02-90.** Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. – М. : Гос. ком. СССР по охране природы, 1990. – 15 с.
5. Грузевич, А. К. Гидрохимические процессы в системе сопряженных мезомасштабных вихрей на шельфе Сахалина / **А. К. Грузевич, Н. В. Аржанова, В. В. Сапожников** // *Океанология*. – 1996. – Т. 36, № 5. – С. 719–726.
6. **Гусарова, А. Н.** Исторический аспект развития методов определения биогенных элементов в Мировом океане / А. Н. Гусарова // *Тр. Арктического регионального центра*. – Владивосток, 2000. – Т. II, ч. 1. – С. 185–191.
7. **Ежегодник** качества морских вод Японского и Охотского морей по гидрохимическим показателям за 1985 год. – Ю-Сах., 1985. – 187 с.
8. Кобленц-Мишке, О. И. Первичная продукция / **О. И. Кобленц-Мишке, В. И. Ведерников** // *Биология океана*. – М. : Изд-во «Наука», 1977. – Т. 2 Биол. продуктивность океана, гл. IV Продукция мор. сообществ, §1. – С. 183–209. – (Сер.: *Океанология*).
9. **Комплексные** исследования экосистемы Охотского моря. – М. : Изд-во ВНИРО, 1997. – 274 с. – (Сер.: *Экология морей России*).
10. **Леонов, А. В.** Сезонные изменения концентраций биогенных веществ и биопродуктивность вод северной части Каспийского моря / **А. В. Леонов, О. В. Стыгар** // *Вод. ресурсы*. – 1999. – Т. 26, № 6. – С. 743–756.

11. **Методы** гидрохимических исследований основных биогенных элементов. – М. : ВНИРО, 1988. – 120 с.
12. **Океанографические** основы формирования биопродуктивных зон открытых районов Тихого океана и дальневосточных морей. Сезонная изменчивость океанографических условий пролива Лаперуза : Отчет о НИР / СахНИРО; Отв. исполн. В. М. Пищальник. – Ю-Сах., 2002. – 168 с. – Арх. № 9205.
13. **Пищальник, В. М.** Гидрохимия и загрязнение морских вод шельфа о. Сахалин, прогностические оценки и рекомендации по предотвращению загрязнения : Дис. ... канд. геогр. наук / В. М. Пищальник; Гос. океанограф. ин-т. – М., 1986. – 176 с.
14. Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин / **В. М. Пищальник, А. О. Бобков.** – Ю-Сах. : Изд-во СахГУ, 2000. – Ч. II. – 108 с.
15. Пищальник, В. М. Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин за период 1948–1987 гг. / **В. М. Пищальник, С. М. Климов.** – Ю-Сах. : ИМГиГ ДВО АН СССР, 1991. – 166 с.
16. Пропп, М. В. Усовершенствованная восстановительная колонка для определения нитратов в морских и пресных водах / **М. В. Пропп, Л. Н. Пропп** // Океанология. – 1979. – Т. XIX, вып. 6. – С. 1129–1132.
17. Пропп, М. В. Гидрохимические основы процесса первичного продуцирования в прибрежном районе Японского моря / **М. В. Пропп, Л. Н. Пропп** // Биология моря. – 1981. – № 1. – С. 29–37.
18. **РД 52.10.243-92.** Руководство по химическому анализу морских вод. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. – 264 с.
19. **Рекомендации** по гидрохимическим методам оценки первичной продукции в океане / Сост. В. В. Сапожников. – М. : ВНИРО, 1984. – 32 с.
20. **Сапожников, В. В.** Некоторые проблемы океанологических исследований шельфа / В. В. Сапожников // XI Всерос. конф. по промысловой океанологии (Калининград, 14–18 сент. 1999 г.) : Тез. докл. – М. : ВНИРО, 1999. – С. 41–42.
21. Основные закономерности пространственного распределения органических и неорганических соединений биогенных элементов в Охотском море / **В. В. Сапожников, А. К. Грузевич, Н. В. Аржанова и др.** // Океанология. – 1999. – Т. 39, № 2. – С. 221–227.
22. Сравнительное исследование первичной продукции в Норвежском море разными методами / **В. В. Сапожников, В. Б. Горюнова, Б. А. Левенко и др.** // Океанология. – 2000. – Т. 40, № 2. – С. 234–240.
23. Сапожников, В. В. Оценка современного состояния экосистемы Каспийского моря / **В. В. Сапожников, М. П. Метревели** // Океанология. – 2000. – Т. 40, № 6. – С. 845–849.
24. Временная изменчивость гидрохимических свойств Японского моря / **П. Я. Тищенко, Л. Д. Талли, А. П. Недашковский и др.** // Океанология. – 2002. – Т. 42, № 6. – С. 838–847.
25. **Шунтов, В. П.** Биология дальневосточных морей России / В. П. Шунтов. – Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. – Т. 1. – 580 с.
26. Morphy, J. Modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters / **J. Morphy and J. P. Riley** // Anal. Chim. Acta. – 1962. – Vol. 27, No. 1. – P. 31–36.
27. Propp, L. Distribution of nutrient elements and chlorophyll *a* in vegetative period in Aniva Bay, the Okhotsk Sea / **L. Propp, L. Gavrina** // PICES : Eleventh Annual Meeting, Program Abstracts (October 18–26, 2002, Qingdao, People's Republic of China). – 2002. – P. 196–197.
28. Propp, L. N. Nutrients and chlorophyll *a* distribution in Aniva Bay, Sea of Okhotsk during 2001–2002 / **L. N. Propp, L. Yu. Gavrina** // PICES Scientific Report. – 2004. – No. 26. – P. 185–187.
29. **Solorzano, L.** Determination of ammonia in natural waters by phenolhypochlorite method / L. Solorzano // Limnol. and Oceanogr. – 1969. – Vol. 14, No. 4. – P. 799–801.
30. Strickland, J. D. M. A practical handbook of seawater analysis / **J. D. M. Strickland, T. R. Parsons** // Bull. Fish. Res. Board Can. – 1972. – Vol. 167. – 311 p.
31. **Valderrama, J. C.** The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural water / J. C. Valderrama // Mar. Chem. – 1981. – No. 10. – P. 109–122.

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 // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2005. – Т. 7. – С. 111–155.

Выполнен анализ гидрохимических данных, полученных при проведении комплексных экспедиций, проведенных в различные сезоны 2001–2002 гг. в заливе Анива. Изучен характер сезонной изменчивости концентраций соединений биогенных элементов и хлорофилла *a* как продукционных показателей, и определено современное состояния акватории залива. Впервые получены данные по сезонной изменчивости таких форм азота, как аммонийный и нитратный, а также органических форм азота и фосфора.

В статье представлены наиболее значимые и интересные вариации концентраций исследованных ингредиентов вод зал. Анива как в пространственном, так и во временном аспекте на

фоне океанографических условий. Произведен расчет продукции органического вещества через запасы минерального фосфора на нижней границе фотической зоны. Определено, что величина суммарной продукции органического вещества в водах залива Анива в 2001–2002 гг. варьировалась в интервале 336–386 мгС/(м² в сут.). Таким образом, по характеру сезонных колебаний содержания соединений биогенных элементов и величин продуктивности воды залива Анива охарактеризованы как мезотрофные, за исключением летних сезонов, когда средняя величина суммарной продукции органического вещества превышает 500 мгС/(м² в сут.).

Табл. – 18, ил. – 59, библиогр. – 31.

Propp, L. N. Seasonal variations of compound nutrients and production characteristics in the Aniva Bay waters by the results of expeditional researches in 2001–2002 / **L. N. Propp, L. Yu. Gavrina** // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2005. – Vol. 7. – P. 111–155.

Hydrochemical data obtained during the complex expeditions in different seasons of 2001–2002 in Aniva Bay were analyzed. A character of seasonal variability of compound nutrients and chlorophyll *a* as production indices was studied, and the up-to-date conditions of the bay area were determined. The data on seasonal variability of such nitrogen forms as ammonium and nitrate were obtained for the first time, as well as for organic forms of nitrogen and phosphorus.

The most important and interesting variations of ingredient concentrations studied in the Aniva Bay waters are shown both in a spatial and temporary aspects against the background of the oceanographic conditions. The organic matter production was calculated through the stocks of mineral phosphorus on a low margin of the photic zone. A summarized production of the organic matter in Aniva Bay waters was determined to vary between 336 and 386 mgC/(m² daily) in 2001–2002. Thus, the Aniva Bay waters were defined as mesotrophic based on the character of seasonal fluctuations of compound biogenic elements concentrations and productivity, except for summer seasons when the mean value of the total organic matter exceeds 500 mgC/(m² daily).

Tabl. – 18, fig. – 59, ref. – 31.