

УДК 551.464(265.53.54)

**СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ ГИДРОЛОГО-
ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
И ХЛОРОФИЛЛА *a* В ПРОЛИВЕ ЛАПЕРУЗА (СОЯ)
И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНАХ ОХОТСКОГО
И ЯПОНСКОГО МОРЕЙ В 1996–1997 ГГ.**

**Л. Н. Пропп (inmarbio@mail.prymorye.ru)¹,
Л. Ю. Гаврина²**

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

Пропп, Л. Н. Сезонные вариации гидролого-гидрохимических параметров и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза (Соя) и прилегающих районах Охотского и Японского морей в 1996–1997 гг. [Текст] / Л. Н. Пропп, Л. Ю. Гаврина // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды «СахНИРО». – Южно-Сахалинск : «СахНИРО», 2019. – Т. 15. – С. 243–279.

Приведены результаты определения гидролого-гидрохимических параметров и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза и прилегающих районах Охотского и Японского морей, полученные в совместных российско-японских исследованиях по программе «Пролив Лаперуза» в разные сезоны 1996–1997 гг. С использованием программы «Ocean Data View» построены наиболее интересные вертикальные и горизонтальные распределения концентрации биогенных веществ, растворенного кислорода и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза. Карты пространственного распределения гидролого-гидрохимических параметров отражают их взаимную изменчивость и важную роль апвеллинга в формировании зон повышенных содержаний хлорофилла *a*, который является одним из показателей биопродуктивности океанических вод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пролив Лаперуза (Соя), гидрохимические исследования, Охотское море, Японское море, стандартный разрез, хлорофилл *a*.

Табл. – 9, ил. – 11, библиогр. – 15.

Propp, L. N. Seasonal variations of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a* in the La Perouse (Soya) Strait and adjoining areas of Okhotsk and Japan seas in 1996–1997 [Text] / 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 “SakhNIRO”. – Yuzhno-Sakhalinsk : “SakhNIRO”, 2019. – Vol. 15. – P. 243–279.

The results of determination of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a* in the La Perouse (Soya) Strait and adjoining areas of Okhotsk and Japan seas obtained during the joint Russian-Japanese investigations on the program “La Perouse Strait” in different seasons of 1996–1997 are given. The most interesting vertical and horizontal distribution patterns of concentrations of biogenic substances, dissolved oxygen, and chlorophyll *a* in the La Perouse Strait are built using the program “Ocean Data View”. The maps of spatial distribution of hydrologic-hydrochemical parameters reflect their reciprocal variability and important role of upwelling in forming zones with higher concentrations of chlorophyll *a*, which is one of characteristics of the ocean water productivity.

KEYWORDS: La Perouse (Soya) Strait, hydrochemical researches, Sea of Okhotsk, Sea of Japan, standard section, chlorophyll *a*.

Tabl. – 9, fig. – 11, ref. – 15.

ВВЕДЕНИЕ

В 1995–1997 гг. Сахалинским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО) и Hokkaido Central Fisheries Experimental Station (HCFES) были проведены совместные российско-японские исследования, целью которых явилось изучение кормовой базы и условий обитания водных биологических ресурсов в районе пролива Лаперуза (Соя) и прилежащих водах Японского и Охотского морей в рамках проекта “La Perouse Project” (LP). Исследования охватывали единый с точки зрения биологических и океанографических процессов район, разделенный на две экономические зоны (**О российско-японском..., 1995**).

Пролив Лаперуза был выбран в качестве образца природной лаборатории, где в умеренных широтах, в частности в дальневосточных морях – Японском и Охотском, по сезонной изменчивости различных соединений биогенных элементов и хлорофилла *a* возможно проследить гидролого-гидрохимические основы для создания первичной продукции. В статье приведено сравнение полученных данных и оценен уровень содержания хлорофилла *a* как показателя продуктивности океанических вод, поскольку фитопланктон является первичным звеном трофических цепей водных экосистем.

Для выполнения поставленной цели следовало решить следующие задачи:

– оценить уровни содержания гидрологических (температура, соленость), гидрохимических (растворенный кислород, соединения биогенных элементов: минеральный фосфор, нитритный, аммонийный и нитратный азот, кремний) параметров и хлорофилла *a*;

– исследовать пространственное распределение и внутригодовую динамику гидролого-гидрохимических и продукционных параметров водной среды, величины которых можно использовать в качестве меры потенциальной активности фитопланктона.

Цель данной статьи – в сжатой форме предоставить наиболее значимые вариации концентраций гидрохимических параметров и хлорофилла *a* для дальнейшего изучения течения Соя (пролив Лаперуза) и косвенно отразить влияние прилегающих к нему акваторий Татарского пролива, Охотского и Японского морей.

Наблюдения за биогенными веществами в шельфовых водах Сахалина начались с 1975 г., но в связи с методическими трудностями их определения в судовых условиях в ранние годы исследования соединений аммонийного и нитратного азота отсутствовали (**Пищальник, Бобков, 2000**). Поэтому полезным результатом исследования явилось и то, что немногочисленные работы, описывающие среднесезонные данные гидрохимических условий в этом районе, как на момент исследования, так и в настоящее время, пополнены новыми данными, особенно значениями концентраций аммонийного и нитратного азота.

Существуют различные способы определения первичной продукции. Одним из них является баланс фосфатов, нитратов и кремния (C:N:P) (**Аржанова**

и др., 2002). Поэтому полученные гидрохимические данные могут послужить в дальнейшем для расчета синтезированного органического углерода (первичной продукции). Наиболее прогрессивным методом оценки биопродуктивности океанических вод является и применение дистанционных измерений. Примером может послужить описание пространственного распределения, сезонной и межгодовой динамики концентрации хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на основе спутниковых данных, полученных станцией TeraScan в 2001–2004 гг. (Цхай и др., 2006).

Таким образом, полученные результаты гидролого-гидрохимического мониторинга в проливе Лаперуза можно использовать в качестве фонового в дальнейших исследованиях, так как они характеризуют условия морской среды до строительства одного из крупнейших в мире заводов по сжижению природного газа и инфраструктуры в прибрежной зоне зал. Анива, то есть до зарегулирования этого района в связи с активным судоходством (нефте- и газоналивные суда).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В российских территориальных водах (РФ) экспедиционные работы осуществляли с борта НИС «Дмитрий Песков»: в Татарском проливе – на разрезах T1 и T2; в зал. Анива – на разрезах S2, S3, S4; в проливе Лаперуза – на разрезе S1. В японских территориальных водах (Япония) исследования проводили с борта НИС «Нокуйо-Магу» на разрезах J, JW, S1, S3 и S4 (рис. 1, 2). Работы российскими и японскими учеными были начаты одновременно.

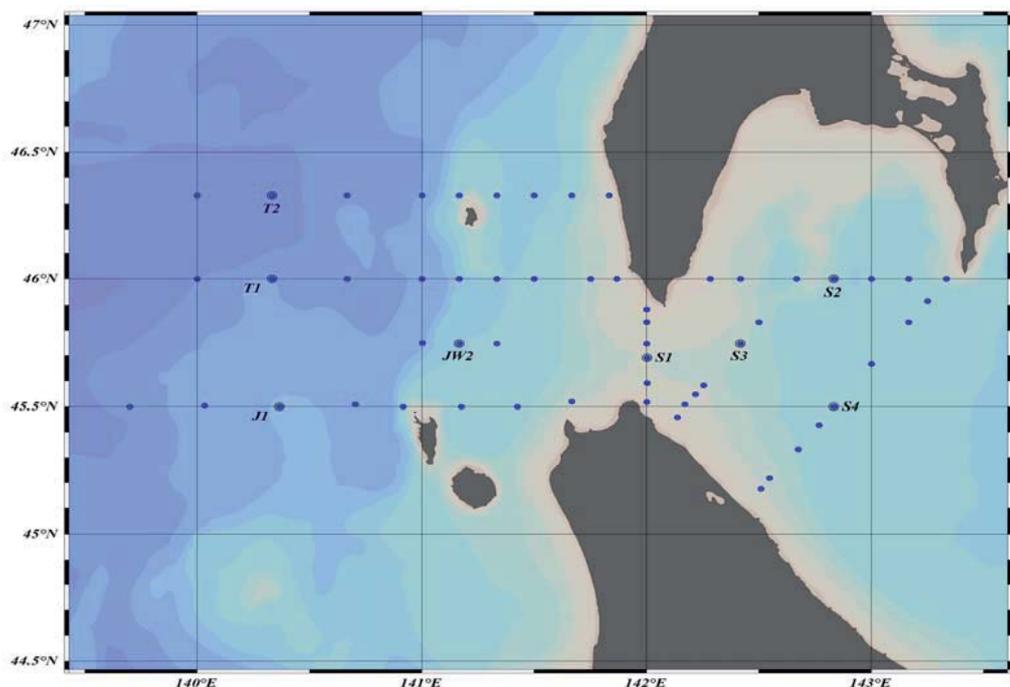


Рис. 1. Схема разрезов в проливе Лаперуза и прилегающих районах Охотского и Японского морей

Fig. 1. Schematic map of sections in the La Perouse Strait and adjoining areas of Okhotsk and Japan seas

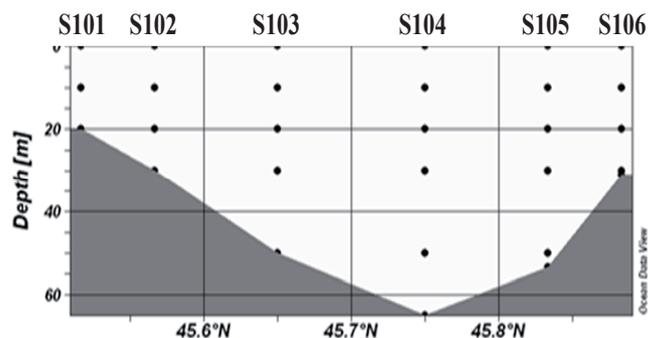


Рис. 2. Расположение станций на разрезе S1 в проливе Лаперуза: японские станции S101, S102, S103; российские станции S104, S105, S106

Fig. 2. Location of stations at the section S1 in the La Perouse Strait: Japanese stations S101, S102, S103; Russian stations S104, S105, S106

Определение температуры (T °C) и солёности (S , ‰) осуществляли с помощью зонда ICTD#1356(FSI) с батометрической секцией ROSSETTE, снабженной кассетой из 12 пластиковых батометров Нискина объемом 1,8 л с дистанционным управлением закрытия батометров на заданной глубине. Пробы воды на гидрохимические анализы брали на стандартных горизонтах 0, 10, 20, 30, 50 и 75 м (**Океанологические условия...**, 1999).

После отбора проб воды из батометров в калиброванные кислородные склянки и фиксации проб для определения растворенного кислорода воду из двух батометров с каждого горизонта сливали в 2,5-л пластиковые канистры и фильтровали через стекловолокнистые фильтры Whatman GF/F. Фильтры с собранной взвесью хранили в эксикаторе в холодильнике над силикагелем до момента определения хлорофилла a (Хл. a) в лаборатории экспериментальной гидробиологии Института биологии моря ДВНЦ АН СССР. Фильтрат замораживали при -18 °C для определения нитратов в химической лаборатории СахНИРО. Аммонийный азот, минеральный фосфор и кремний определяли непосредственно в судовой лаборатории. Оптические плотности растворов измеряли на фотоколориметре КФК-2.

Для определения концентраций растворенного кислорода (O_2), минерального фосфора ($P-PO_4$), аммонийного азота ($N-NH_4$) и кремния ($Si-SiO_3$) использовали аттестованные методики (**РД 52.10.243-92, 1993**). При определении концентраций нитритного азота ($N-NO_2$) использовали метод Бендшнайдера и Робинсона (**Bendshneider, Robinson, 1952**), которые предложили заменить классическую пару реагентов в методе Грисса–Илосвая на сульфаниламид и менее канцерогенный $N-(\alpha\text{-нафтил})$ этилендиамин дигидрохлорид.

При определении нитратного азота ($N-NO_3$) его предварительно восстанавливают до нитритного с помощью омедненного мелкокристаллического кадмия. Авторы статьи использовали измененную конструкцию предложенных ранее кадмиевых редукторов (**Пропп, Пропп, 1979**). Содержание нитратов в пробе рассчитывается как разность между суммарной концентрацией нитритов после восстановления и содержанием нитритов в самой пробе (**Методы гидрохимических...**, 1988).

Хлорофилл a определяли методом спектрофотометрирования 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 (ГОСТ 17.1.4.02-90, 1990).

В **таблице 1** представлен объем работы, выполненной в ходе совместных российско-японских исследований в 1996–1997 гг. на разрезе S1.

Таблица 1

**Периоды выполнения съемок, параметры и количество анализов
в проливе Лаперуза (Соя) в 1996–1997 гг.**

Table 1

**Survey periods, parameters and number of performed analyses
in the La Perouse (Soya) Strait in 1996–1997**

Год	Период съемки	Параметры	Количество анализов	
			РФ	Япония
1996	Март	Температура, соленость, растворенный кислород, биогенные вещества, хлорофилл <i>a</i>	84	72
	Июнь		126	67
	Август		96	72
	Декабрь		21	58
1997	Июнь		126	69
	Июль		45	72
	Декабрь		94	79
Итого:			592	489
			Всего: 1 081 анализ	

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Март 1996 г.

Максимально соленые воды (34,02‰) отмечены на глубине 30 м на станциях S102, S103 в японской зоне. Минимальная соленость 32,36‰ была в поверхностных водах близ м. Крильон на станциях S105, S106 (**рис. 3а**). Как на солености, так и на температуре воды здесь, вероятно, сказывалось влияние речного стока. Температурный режим в ранний весенний период характеризовался минимальными значениями в водах, прилежащих к м. Крильон (–1,41 °С на поверхности станции S106), и максимальными значениями (2,90 °С) на станции S102 у м. Соя (**табл. 2, рис. 3 б**).

По данным японских исследователей, в марте на разрезе S1 максимальные концентрации хлорофилла *a* варьировались в интервале 0,25–0,78 мкг/дм³ с наиболее интенсивным «цветением» микроводорослей на станции S102 в слое 0–30 м. При этом концентрации кремния были достаточно высокими и не лимитировали продукционные процессы. Наибольшее содержание кремния во всей толще воды в интервале 11,5–12,9 мкМ было на станции S103 (0–30 м), где «цветение» микроводорослей выражено слабее и концентрации хлорофилла *a* были в два раза ниже (0,25–0,49 мкг/дм³). В российской зоне содержание кремния в воде достигало 33,7 мкМ на станции S104 (20 м) (**рис. 3в**).

Невысокие концентрации соединений минерального фосфора от 0,25 до 0,37 мкМ были обнаружены во всей толще воды в центральной части разреза (станция S104). Максимальная концентрация 1,40 мкМ зафиксирована в российских водах на станции S105 (20 м). В японских водах концентрации соединений фосфора в воде были ниже – максимум 0,8 мкМ (**рис. 3г**).

Таблица 2
Некоторые статистические показатели гидролого-гидрохимических параметров
и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на разрезе S1, март 1996 г.

Table 2
Some statistic indices of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a*
in the La Perouse Strait at the section S1 in March 1996

Район	Статистика	Т °С	S, ‰	O ₂ , мл/л	O ₂ , %	Биогенные элементы, мкМ				Хл., <i>a</i> , мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	Максимум	2,39	33,86	*	*	2,17	*	1,40	33,7	*
	Минимум	-1,41	32,36	*	*	0,00	*	0,25	10,8	*
	Среднее	0,53	33,14	*	*	0,38	*	0,53	19,9	*
	Стандартное отклонение	1,33	0,52	*	*	0,71	*	0,32	7,6	*
Япония	Максимум	2,9	34,02	7,38	98,1	*	8,90	0,80	12,9	0,78
	Минимум	2,6	33,91	7,07	94,0	*	6,70	0,60	10,2	0,25
	Среднее	2,8	33,98	7,25	96,09	*	7,91	0,73	11,4	0,51
	Стандартное отклонение	0,1	0,03	0,13	1,60	*	0,84	0,07	1,0	0,21

* Здесь и далее – анализ не проводили.

* Here and further – analysis was not done.

Июнь 1996 г.

В отличие от распределения солености воды в марте (см. **рис. 3а**), в июне водные массы с меньшей соленостью (минимум 33,56‰) были обнаружены в поверхностных слоях в японской зоне. На центральных российских станциях S103, S104 наблюдался выраженный подъем вод с высокой соленостью (34,07‰) на глубине 20 м (**табл. 3, рис. 4а**).

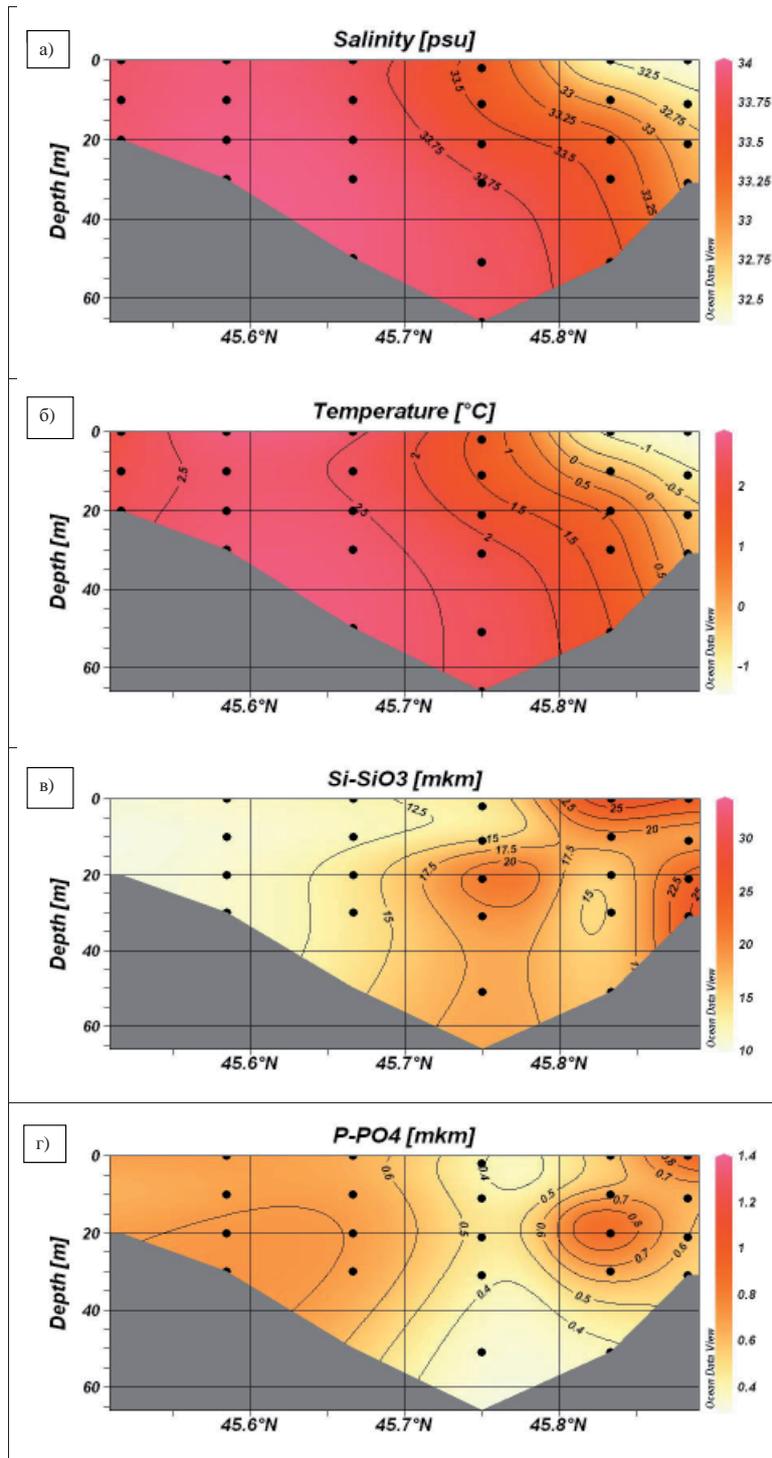


Рис. 3. Вертикальное распределение солености (а, psu), температуры (б, °C); концентраций кремния (в, мкМ), минерального фосфора (г, мкМ) на разрезе S1, март 1996 г.
Fig. 3. Vertical distribution: a) salinity; б) temperature; в) silicon; г) phosphorus at the section S1, March 1996

Таблица 3
Некоторые статистические показатели гидролого-гидрохимических параметров
и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на разрезе S1 в июне 1996 г.

Table 3
Some statistic indices of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a*
in the La Perouse Strait at the section S1 in June 1996

Район	Статистика	Т °С	S, ‰	O ₂ , мг/л	O ₂ , %	Биогенные элементы, мкМ				Хл., <i>a</i> , мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	Максимум	7,11	34,07	7,18	101,7	4,83	10,20	2,59	14,9	0,24
	Минимум	2,91	33,72	5,69	79,3	0,17	1,00	0,00	3,6	0,01
	Среднее	4,20	33,99	6,82	93,80	3,02	5,92	1,37	11,00	0,04
	Стандартное отклонение	1,06	0,095	0,35	4,92	1,21	2,89	0,72	3,64	0,06
Япония	Максимум	10,39	34,99	7,02	103,1	*	3,00	0,50	6,1	0,49
	Минимум	5,74	33,56	6,51	99,3	*	0,00	0,10	0,8	0,08
	Среднее	7,79	34,05	6,76	101,12	*	1,30	0,27	2,91	0,30
	Стандартное отклонение	1,80	0,21	0,22	1,18		1,16	0,17	2,14	0,17

В июне в водах японской зоны происходило затухание процесса цветения фитопланктона. Концентрации хлорофилла *a* незначительно снизились до 0,45–0,30 мкг/дм³ по сравнению с мартовскими (см. **табл. 2, 3**). Характерно, что максимальная концентрация хлорофилла *a* 0,49 мкг/дм³ была обнаружена на глубине 30 м на станции S102 (**рис. 4 б**) при температуре воды 5,74 °С (**рис. 4в**).

Воды с высокой соленостью были обогащены соединениями биогенных веществ. Например, максимальная концентрация кремния в придонных слоях достигала 14,9 мкМ на станции S104 (20 м) (**рис. 4г**), тогда как в марте

распределение концентраций кремния носило неравномерный характер, обусловленный, вероятно, разной интенсивностью его потребления при развитии микроводорослей. В холодных водах на российских станциях концентрации азота нитратного варьировались в столбе воды в интервале 1,00–10,20 мкМ с максимумом у дна, в то время как на станциях в японской зоне эти концентрации во всей толще были намного ниже (3,0 мкМ) (см. табл. 3; рис. 4д).

Соединения минерального фосфора в поверхностных японских водах к этому периоду были потреблены, и, судя по более высоким концентрациям хлорофилла *a* в придонных слоях, фитопланктон продолжал развиваться у дна, где еще сохранялся запас питательных веществ и была благоприятная температура воды. В российских водах в июне фитопланктон активнее развивался в поверхностных слоях, где питательных солей было еще достаточно, – например, максимальная концентрация минерального фосфора в июне составляла 2,59 мкМ. Тем не менее, концентрация хлорофилла *a* в этот период была низкой – 0,24 мкг/дм³ на станции S106 (0 м) (рис. 4е).

Высокие концентрации биогенных элементов свидетельствовали об активной динамике водных масс в российской зоне и проявлении апвеллинга. Как уже отмечалось ранее, апвеллинг присутствует в районе пролива весь вегетационный период и представляет интерес с точки зрения биологической океанографии, так как продолжительный подъем вод определяет повышенную продуктивность вод в проливе Лаперуза (**Океанологические условия...**, 1997).

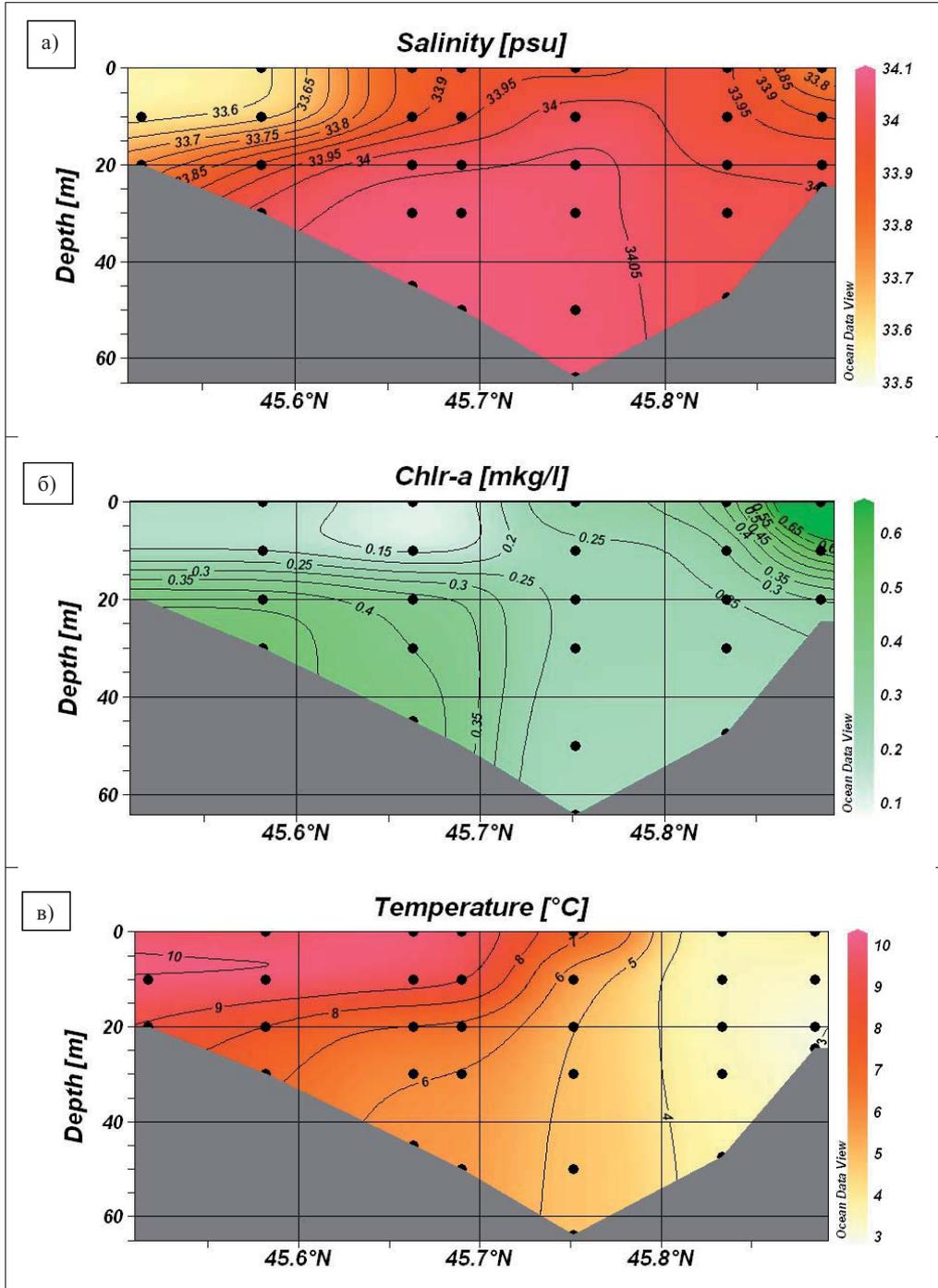
В российской зоне на разрезе S1 следует отметить дефицит насыщения толщи воды кислородом (90,1–97,6%). Минимум составлял 79,3% на глубине 20 м, где отмечалось наибольшее содержание аммонийного азота (4,83 мкМ). Скорее всего, хороший прогрев вод при относительно малых глубинах в этом районе, по сравнению с открытыми частями Охотского моря, способствовал ускорению процессов деструкции органического вещества, что сопровождается высвобождением аммиака и поглощением кислорода.

В подтверждение к вышесказанному отметим, что в последующих экспедициях в зал. Анива (2001–2002 гг.) на станциях, расположенных вблизи м. Крильон, также было отмечено повышенное содержание аммонийного азота (**Пропп, Гаврина, 2005**).

Август 1996 г.

Максимальная соленость (34,12–34,21‰) отмечена в центре пролива на глубинах 20–50 м станций S103 и S104. Минимальная соленость 31,64‰ отмечалась в поверхностных слоях у м. Крильон (станция S106), где сказывалось влияние восточных (охотоморских) вод (табл. 4, рис 5а). Наиболее прогретыми (до 19,7 °С) были поверхностные воды на станции S103 (10 м) (рис. 5 б).

В августе максимальные концентрации кремния были на станциях в российских водах и варьировались в интервале 1,8–13,8 мкМ с максимумом у дна. На горизонтах 20–30 м на станциях S105, S106 наблюдались «линзы» с меньшими концентрациями кремния (0,80–0,85 мкМ). В водах японской зоны максимальное содержание кремния в воде было 6,5 мкМ на станции S103 (40 м) (рис. 5в).



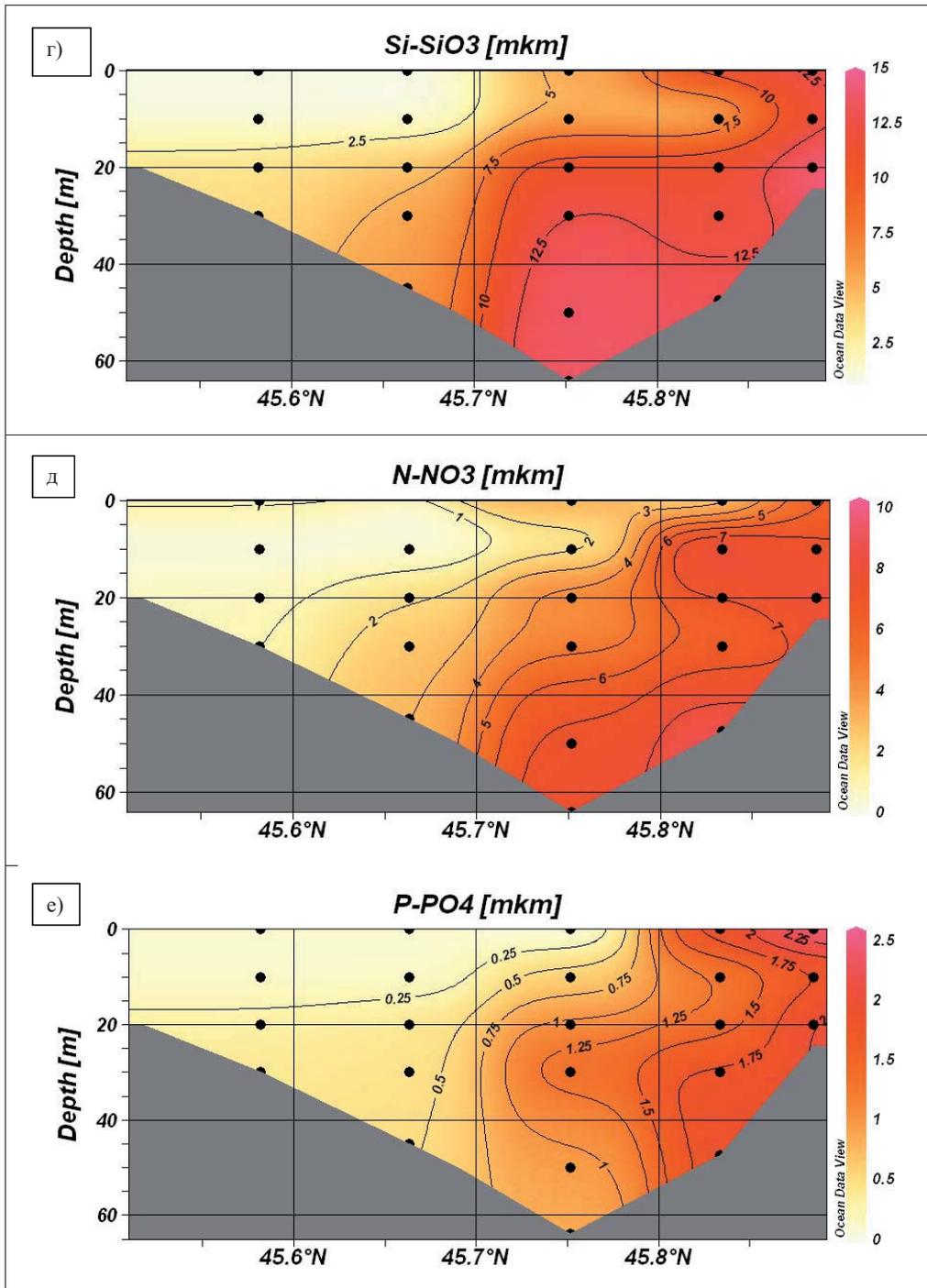


Рис. 4. Вертикальное распределение солёности (а, psu), температуры (б, °C); концентраций хлорофилла а (в, мкг/л), кремния (г, мкМ), азота нитратного (д, мкМ), минерального фосфора (е, мкМ) на разрезе S1, июнь 1996 г.

Fig. 4. Vertical distribution: а) salinity; б) temperature; в) chlorophyll а; г) silicon; д) nitrate nitrogen; е) mineral phosphorus at the section S1, June 1996

Таблица 4
Некоторые статистические показатели гидролого-гидрохимических параметров
и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на разрезе S1, август 1996 г.

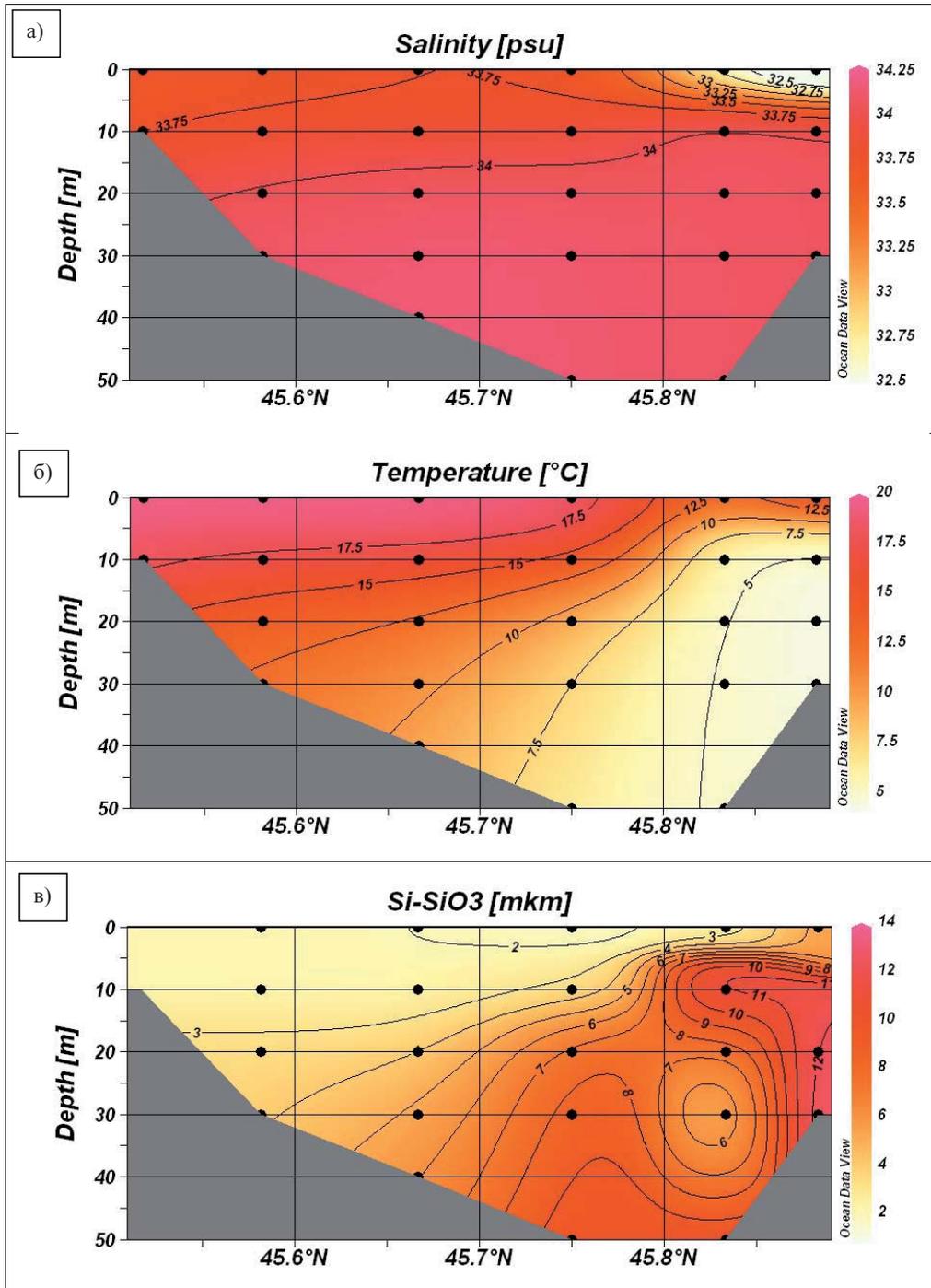
Table 4
Some statistic indices of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a*
in the La Perouse Strait at the section S1 in August 1996

Район	Статистика	Т °С	S, ‰	O ₂ , мл/л	O ₂ , %	Биогенные элементы, мкМ				Хл., <i>a</i> , мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	Максимум	18,57	34,12	*	*	11,8	12,2	1,83	13,8	*
	Минимум	4,17	31,64	*	*	0,00	0,00	0,00	0,9	*
	Среднее	8,03	33,77	*	*	2,65	4,97	0,81	7,7	*
	Стандартное отклонение	5,38	0,72	*	*	3,12	3,67	0,55	4,51	*
Япония	Максимум	19,70	34,21	6,72	111,4	*	3,60	0,40	6,5	0,50
	Минимум	8,61	33,71	5,46	98,3	*	0,00	0,00	2,0	0,06
	Среднее	14,95	33,96	6,05	105,0	*	0,57	0,11	3,24	0,19
	Стандартное отклонение	4,28	0,22	0,54	3,96	*	1,24	0,15	1,61	0,17

Концентрации других соединений биогенных элементов были выше в водах российской зоны. В «линзах» с минимальными концентрациями кремния были отмечены максимальные концентрации азота нитратного (12,22 мкМ) и минерального фосфора (1,83 мкМ) (см. **рис. 5 б, 5 в**).

В западной и южной частях пролива Лаперуза деятельный слой формируется под воздействием течений Соя и Западно-Сахалинского, проходящего вдоль юго-западного шельфа Сахалина. Гидрологические условия восточной и северной части пролива определяются влиянием охотоморских вод, находясь под влиянием Восточно-Сахалинского потока (**Особенности океанографиче-**

ского..., 1997).



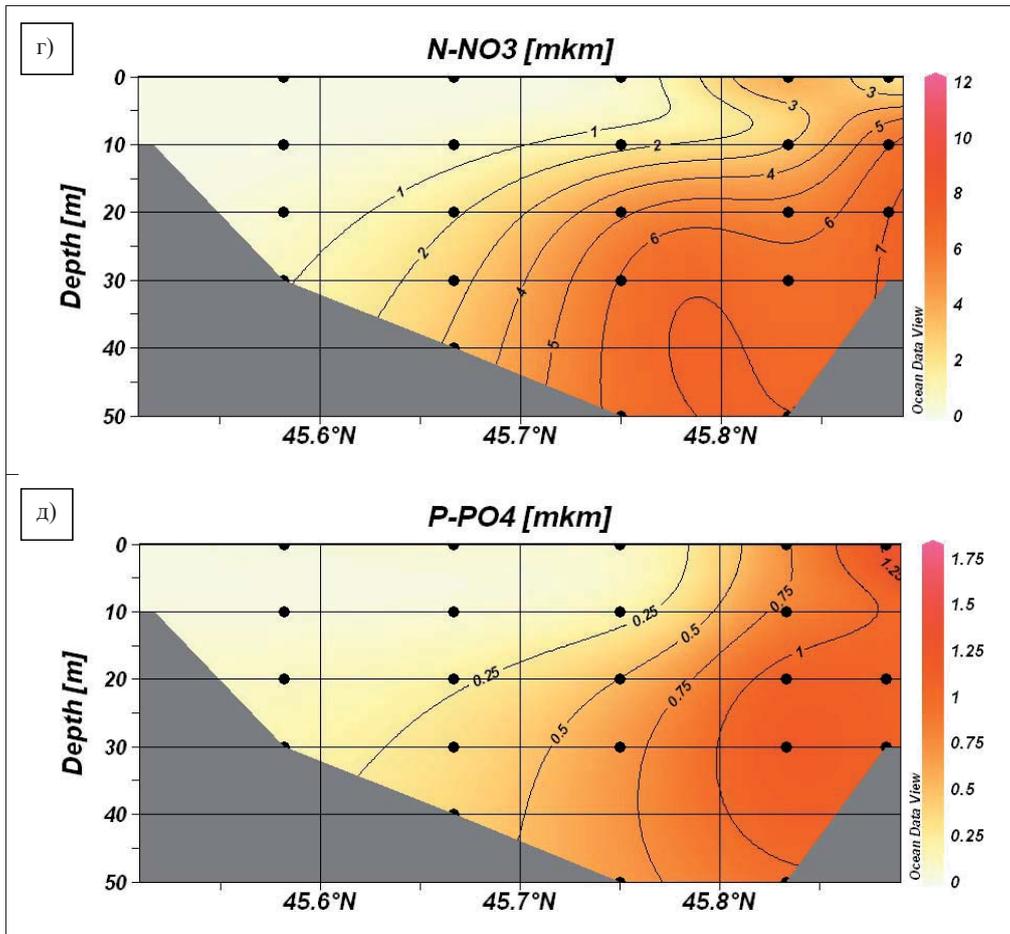
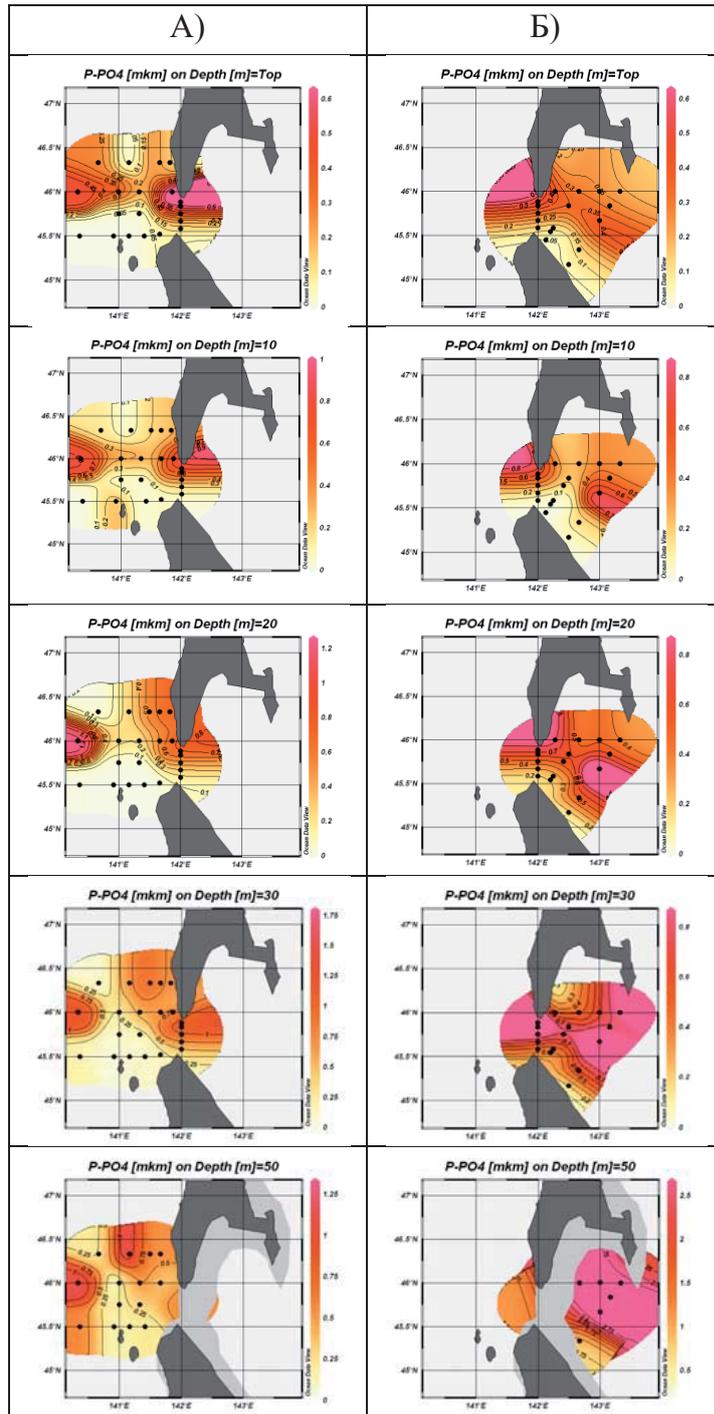


Рис. 5. Вертикальное распределение солёности (а, psu), температуры (б, °C); концентраций кремния (в, мкМ), азота нитратного (г, мкМ), минерального фосфора (д, мкМ) на разрезе S1, август 1996 г.

Fig. 5. Vertical distribution: a) salinity; б) temperature; в) silicon; г) nitrate nitrogen; д) mineral phosphorus at the section S1, August 1996

В августе 1996 г. концентрации соединений биогенных элементов, на примере распределения концентраций минерального фосфора и азота нитратного на глубине 30 м, косвенно демонстрируют четко выраженный апвеллинг, способствующий подъему глубинных вод, обогащенных питательными солями, в фотические слои, в районе юго-западного шельфа Сахалина (**рис. 6, столбцы А, Б**) и нитратного азота (**рис. 6, столбцы В, Г**) и более размытого с восточной стороны пролива (станции S303, S304).

Из **рисунка 6** видно, что япономорская зона более однородна, чем охотоморская, и менее обогащена соединениями биогенных элементов. Так, в придонных слоях, расположенных западнее разреза S1 на станциях T107, T109 (500–700 м), концентрации минерального фосфора в августе 1996 г. составляли 1,58 мкМ, нитратного азота – 15,0 мкМ, кремния – 46 мкМ (**Gavrina et al., 2005**).



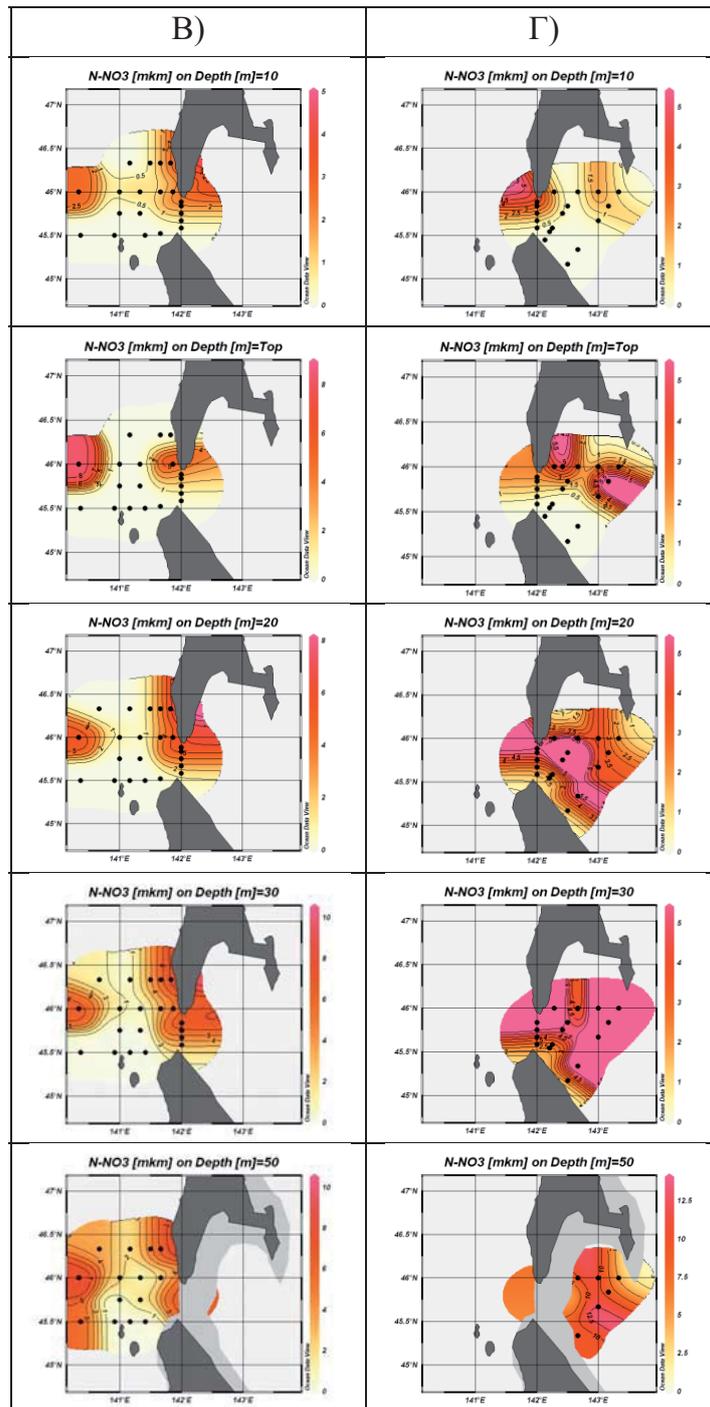


Рис. 6. Пространственное распределение концентраций биогенных веществ на разрезе S1, август 1996 г.: минерального фосфора (мкМ) западнее (А) и восточнее (Б) разреза S1; нитратного азота (мкМ) западнее (В) и восточнее (Г) разреза S1 на глубинах 0, 10, 20, 30 и 50 м

Fig. 6. Spatial distribution of concentrations of biogenic substances at the section S1, August 1996: A) mineral phosphorus west of the section S1 and Б) east of the section S1; B) nitrate nitrogen west of the section S1 and Г) east of the section S1 at depths of 0, 10, 20, 30 and 50 m

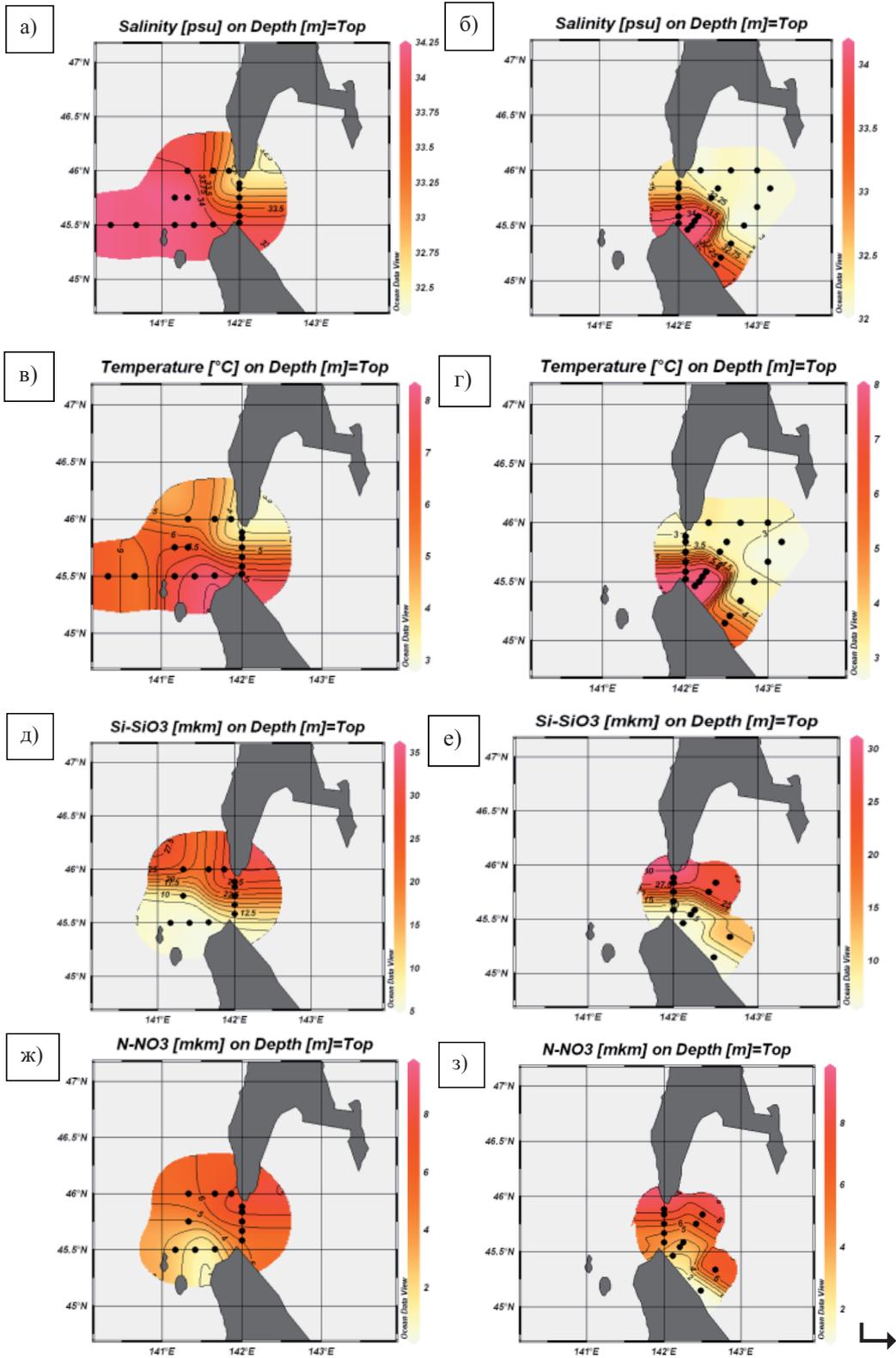
Декабрь 1996 г.

В декабре в российской зоне на разрезе S1 исследованиями были охвачены только поверхностные горизонты (табл. 5). Карты распределений концентраций ингредиентов в поверхностных водах в зимний период иллюстрируют влияние различных по своему составу водных масс с западной и восточной стороны относительно разреза S1 в проливе Лаперуза (см. табл. 5; рис. 7).

Более высокие концентрации биогенных соединений в водах российской зоны в исследуемом районе могут послужить поводом для дальнейшего обсуждения особенностей обмена минеральными формами веществ в изучаемых акваториях близ пролива Лаперуза.

Таблица 5
Результаты гидролого-гидрохимических анализов на разрезе S1, декабрь 1996 г.
Table 5
Results of hydrologic-hydrochemical analyses at the section S1 in December 1996

Район	Номер станции	Т °С	S, ‰	O ₂ , мг/л	O ₂ , ‰	Биогенные элементы, мкМ				Хл., α, мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	S104	2,85	32,38	*	*	2,20	6,93	0,86	27,5	*
	S105	2,86	32,52	*	*	1,84	7,50	0,97	31,0	*
	S106	2,98	32,33	*	*	1,21	9,80	0,91	30,0	*
Япония	S103	7,2	34,19	6,47	95,6	*	2,6	0,2	5,9	0,25
	S102	8,0	34,07	6,47	97,3	*	6,47	0,2	5,7	0,33



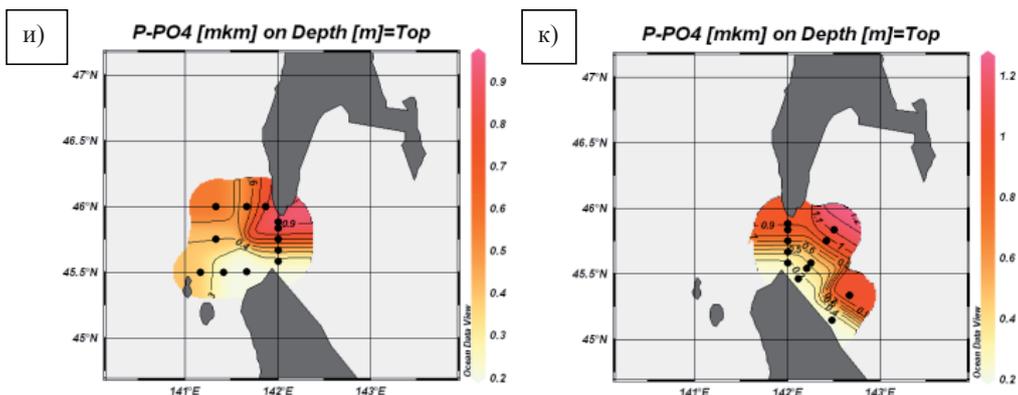


Рис. 7. Пространственное распределение солености (а, б, psu), температуры (в, г, °C); концентраций кремния (д, е, мкМ), нитратного азота (ж, з, мкМ), минерального фосфора (и, к, мкМ) на поверхности акватории пролива Лаперуза западнее (слева) и восточнее (справа) разреза S1, декабрь 1996 г.

Fig. 7. Spatial distribution: а, б) salinity; в, г) temperature; д, е) silicon; ж, з) nitrate nitrogen; и, к) mineral phosphorus at the surface area of La Perouse Strait west (left) and east (right) of the section S1, December 1996

Июнь 1997 г.

В июне на разрезе S1 происходил подъем вод с высокой соленостью и низким содержанием биогенных элементов. Максимальная соленость (34,13‰) была на станции S105 в российской зоне, где выделяется «линза» с максимальными концентрациями биогенных элементов. Минимальная соленость (32,82‰) и повышенное содержание биогенных элементов в воде на станции S106 близ м. Крильон могут быть результатом влияния терригенного стока (табл. 6, рис. 8а). В поверхностных слоях пролива Лаперуза температура 7,34 °C была отмечена на станции S104, максимальная температура 7,50 °C была на японской станции S102 (см. табл. 6; рис. 8 б).

В ранний весенний период в водах российской зоны на разрезе S1 происходило более активное, чем в японской зоне, развитие микроводорослей. Максимальная концентрация 0,95 мкг/дм³ была обнаружена в поверхностном слое на станции S105 (рис. 8в). У восточного же побережья о. Хоккайдо на разрезе S4 было обнаружено очень активное развитие фитопланктона, концентрация хлорофилла *a* достигала здесь величины 2,05 мкг/дм³ на станции S403 (10 м) (рис. 8г-1 и 8г-2).

Сходная картина наблюдалась нами в курильских проливах, где высокая турбулентность и сильные течения в поверхностных слоях не способствуют вегетации водорослей. Их клетки выносятся за пределы проливов в зону затухания течений. В результате воды в зоне проливов отличаются низкими значениями фитопигмента при высоких концентрациях биогенных элементов (Пропп и др., 1989).

В июне 1997 г. в исследуемой акватории концентрации биогенных элементов были высокими в глубоководной части восточной акватории относительно разреза S1, в охотоморских водах. Например, концентрация кремния на станции S405 (глубина 100 м) составляла 32,7 мкМ (рис. 8д-1), нитратного азота – 21,7 мкМ на станции S403 (глубина 100 м) (рис. 8д-2).

На разрезе S1 в поверхностном слое кремний был утилизирован до минимальных концентраций 2,34–2,94 мкМ, нитраты и фосфаты – до аналитического нуля. В то же время в российской зоне на разрезе S1 заметно выделяется «линза» с повышенными концентрациями биогенных элементов на горизонте 10 м. Концентрации кремния в этой «линзе» варьировались в интервале 12,9–14,7 мкМ (**рис. 8е**). На станциях S105, S106 (10 м) нитратный азот, минеральный фосфор достигали в «линзе» содержания 16,90 и 2,13 мкМ соответственно (**рис. 8ж, 8з**).

Данные по распределению биогенных элементов показывают, что к июню устанавливается стратификация водных масс с резким градиентом температуры и плотности, проходящая на глубине 10 м. На разрезе S1 структура вод сформировалась под влиянием двух обедненных биогенными элементами потоков: поверхностного и придонного. В поверхностных слоях биогенные вещества были утилизированы в процессе потребления фитопланктоном с характерным проявлением развитого слоя скачка гидрологических параметров – температуры и солености, но и в придонном слое найдены низкие концентрации питательных солей. Так, с восточной стороны относительно разреза S1 в охотоморских водах, на станциях разрезов S2, S3 (50–75 м) концентрации, например, нитратного азота были ниже предела обнаружения (**рис. 8и, 8к**).

Следует отметить, что из придонных слоев разреза S4 (*см. рис. 8д-1 и 8д-2*), обогащенных биогенными веществами, в июне 1997 г. не происходило их проникновения в вышележащие водные слои на запад, в направлении разрезов S2, S3 (*см. рис. 8и, 8к*) и далее до разреза S1 в пролив Лаперуза.

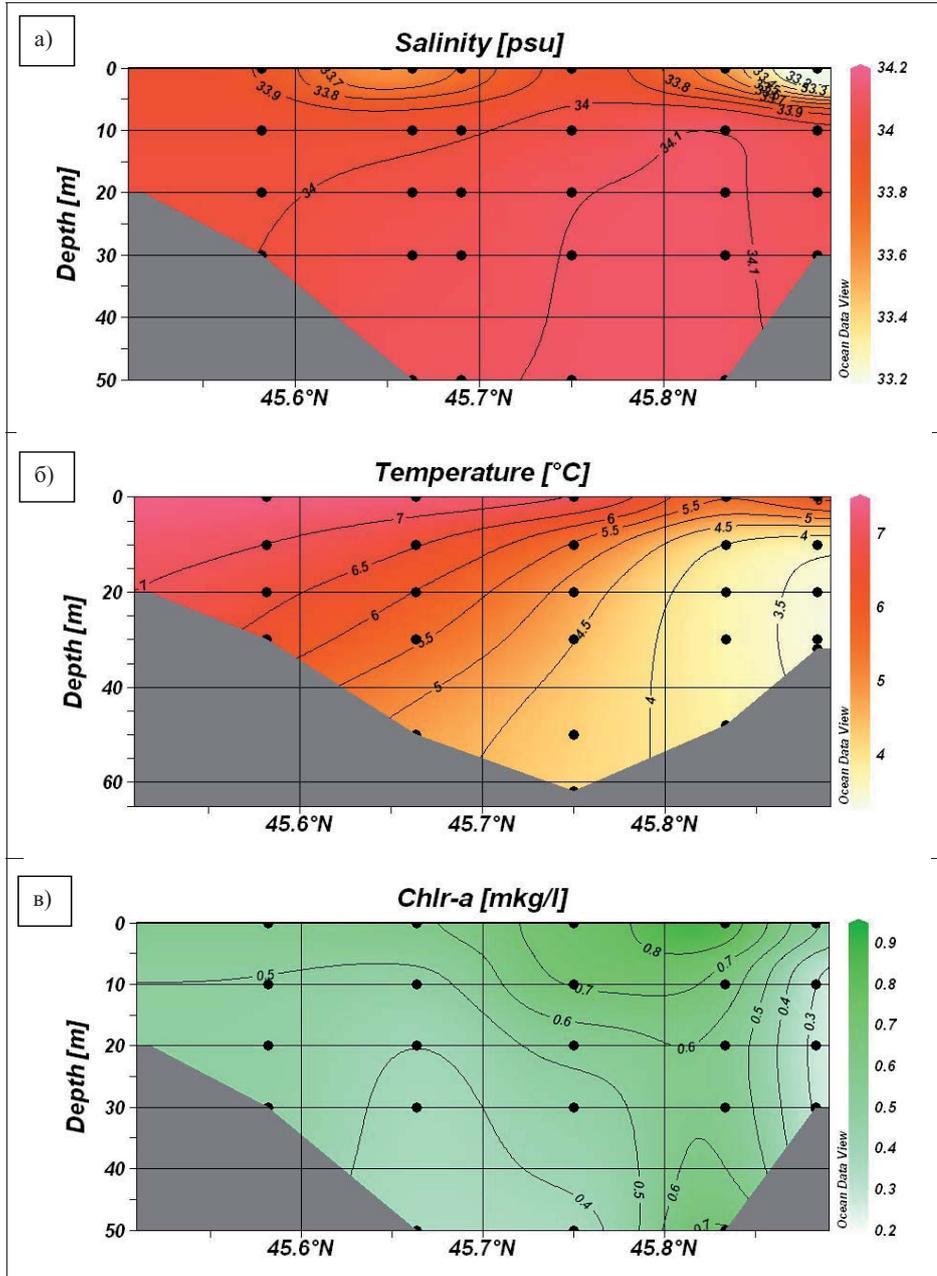
В восточной части акватории на станциях S207, S303, S405, S407 были отмечены повышенные концентрации аммонийного азота – например, 3,50 мкМ на станции S407 (50 м) и 7,11 мкМ на станции S405 (10 м) при дефиците растворенного кислорода 83,83 и 89,52% соответственно.

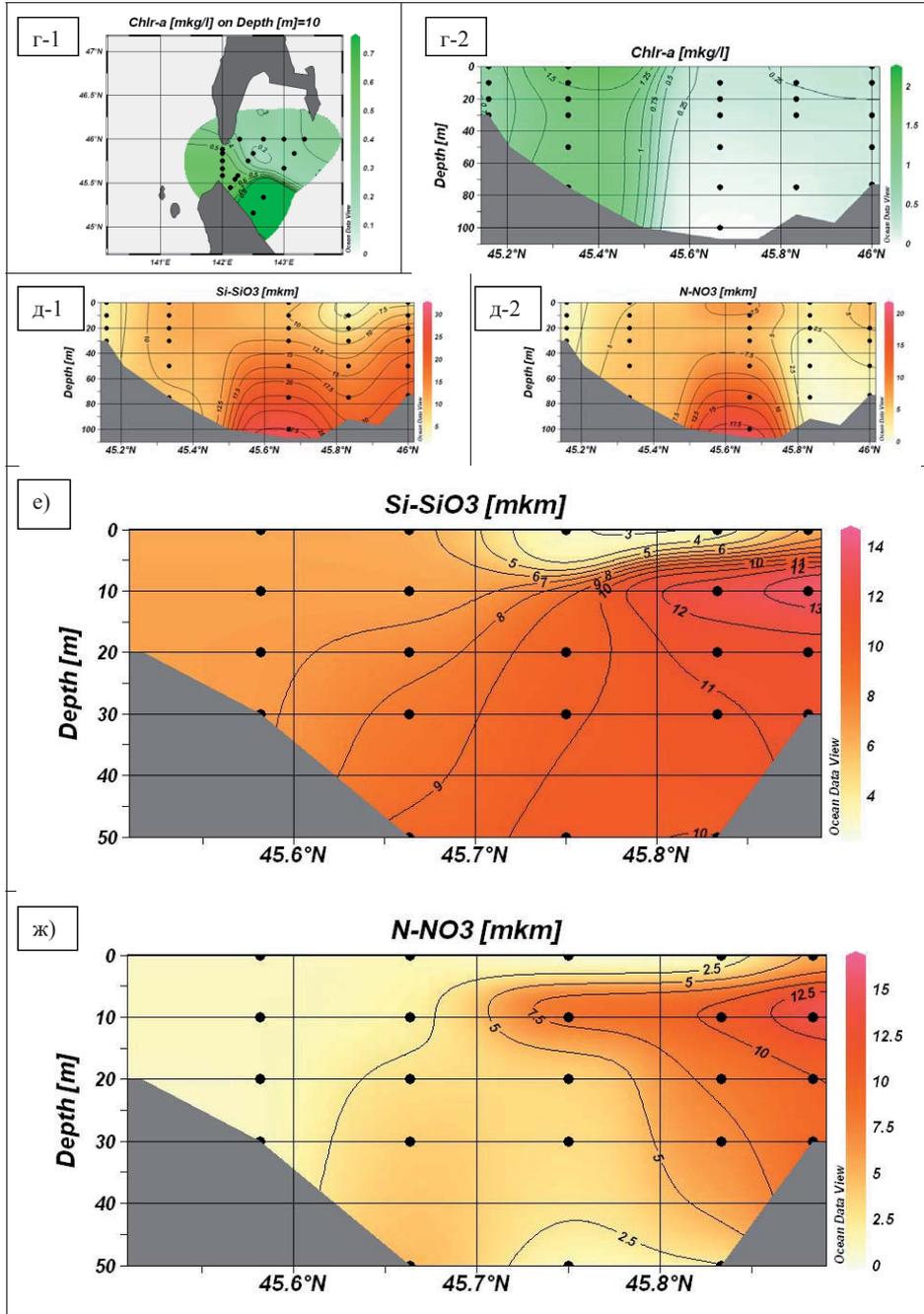
Подобное распределение аммонийного азота отчетливо демонстрирует активную бактериальную деструкцию органического вещества, сопровождаемую значительным потреблением кислорода. Немалую загрязняющую роль может играть также терригенный сток. Однако на барьере вода–атмосфера насыщение воды растворенным кислородом в поверхностных слоях разреза S1 было высоким – 100,88–123,35%, как за счет аэрации, так и продуцирования фитопланктоном (**рис. 8л**). Таким образом, полное отсутствие нитритных форм азота и малые концентрации соединений нитратного азота в поверхностном горизонте можно объяснить его потреблением фитопланктоном. Рассмотрение вертикального разреза столба воды и обнаружение повышенных концентраций аммония свидетельствуют о проходящих в этих слоях процессах метаболизма и деструкции органического вещества в условиях дефицита кислорода в придонных слоях вплоть до 67,16% (например, станция S104, глубина 30 м) (*см. рис. 8л*).

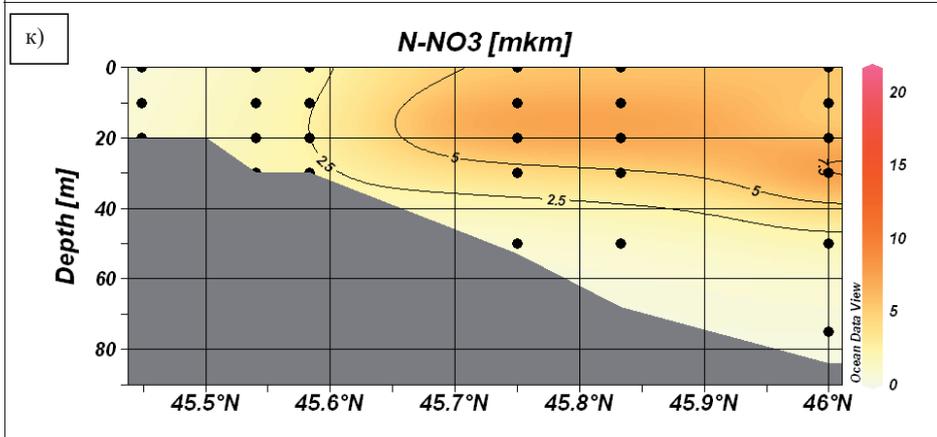
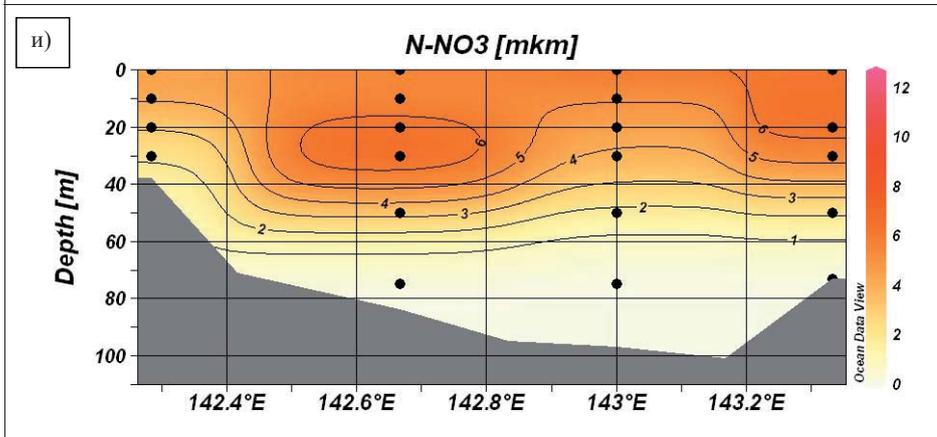
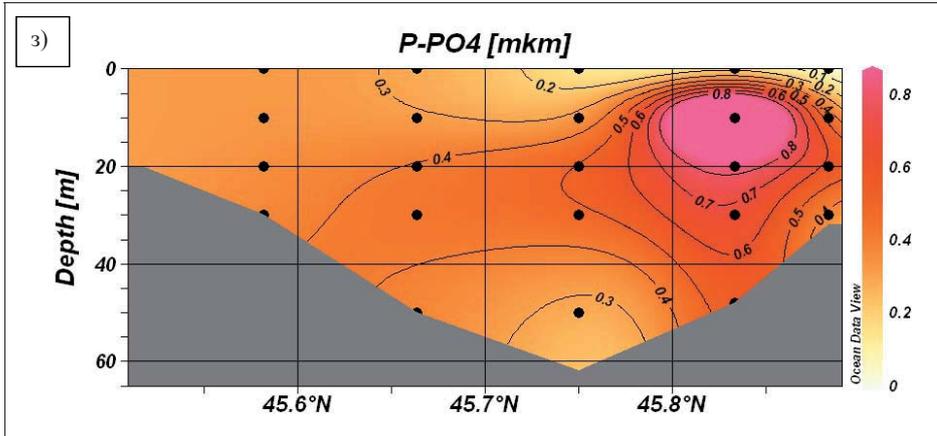
Таблица 6
Некоторые статистические показатели гидролого-гидрохимических параметров
и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на разрезе S1, июнь 1997 г.

Table 6
Some statistic indices of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a*
in the La Perouse Strait at the section S1 in June 1997

Район	Статистика	Т °С	S, ‰	O ₂ , мл/л	O ₂ , %	Биогенные элементы, мкгМ				Хл., <i>a</i> , мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	Максимум	7,34	34,13	8,45	123,4	3,38	16,9	2,13	14,7	0,95
	Минимум	3,30	32,82	4,90	67,2	0,00	0,00	0,00	2,3	0,20
	Среднее	4,38	33,97	6,77	93,8	1,30	6,06	0,45	9,5	0,54
	Стандартное отклонение	1,25	0,35	1,05	16,58	1,29	5,28	0,60	3,59	0,25
Япония	Максимум	7,50	34,12	7,18	101,8	*	5,20	0,50	9,4	0,59
	Минимум	4,94	33,24	6,84	99,2	*	0,50	0,30	6,4	0,35
	Среднее	6,38	33,95	6,98	100,61	*	2,73	0,40	7,57	0,44
	Стандартное отклонение	1,02	0,24	0,14	1,00	*	2,00	0,09	1,45	0,09







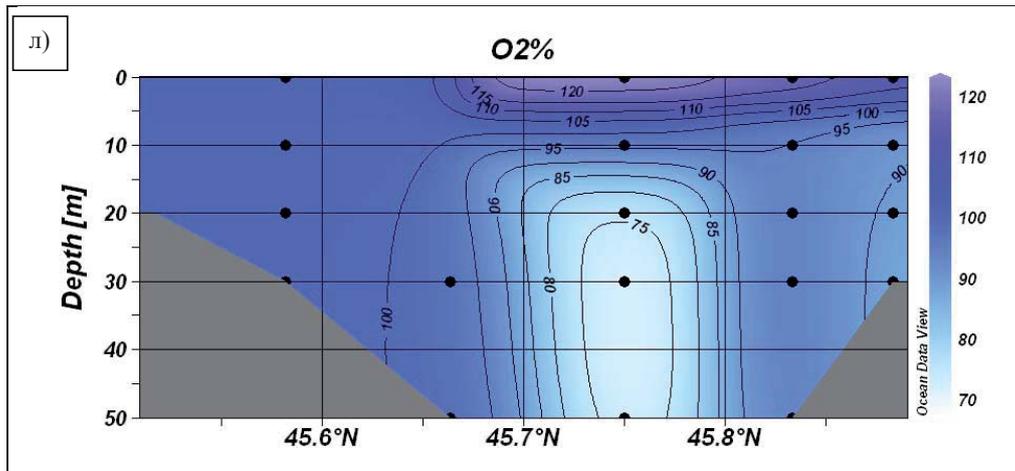


Рис. 8. Вертикальное распределение солёности (а, psu), температуры (б, °С); концентраций хлорофилла *a* (в, мкг/л) на разрезе S1, хлорофилла *a* (г-1, мкг/л) на разрезе S4 (10 м), хлорофилла *a* (г-2, мкг/л) на разрезе S4, кремния (д-1, мкМ) на разрезе S4, азота нитратного (д-2, мкМ) на разрезе S4, кремния (е, мкМ) на разрезе S1, азота нитратного (ж, мкМ) на разрезе S1, минерального фосфора (з, мкМ) на разрезе S1, азота нитратного (и, мкМ) на разрезе S2, азота нитратного (к, мкМ) на разрезе S3, растворенного кислорода (л, %) на разрезе S1, июнь 1997 г.

Fig. 8. Vertical distribution: а) salinity; б) temperature; в) chlorophyll *a* at the section S1; г-1) chlorophyll *a* at the section S4 (10 m); г-2) chlorophyll *a* at the section S4; д-1) silicon at the section S4; д-2) nitrate nitrogen at the section S4; е) silicon at the section S1; ж) nitrate nitrogen at the section S1; з) mineral phosphorus at the section S1; и) nitrate nitrogen at the section S2; к) nitrate nitrogen at the section S3; л) dissolved oxygen at the section S1, June 1997

Июль 1997 г.

В июле 1997 г. в акватории пролива Лаперуза на разрезе S1 в российской зоне была выполнена только одна станция – S104 (табл. 7).

В июле 1997 г. в результате смены океанологических параметров в проливе Лаперуза качество воды заметно изменилось. На глубине 10 м в толще воды разреза S1 наблюдался температурный скачок, ниже которого распределялись холодные охотоморские воды с максимальной солёностью 34,12‰ на станции S103 (50 м) (рис. 9а). В летний период поверхностные слои япономорских вод прогревались до температуры 17,50 °С на станции S102 (табл. 8, рис. 9б).

На глубине 10 м отмечены слои с меньшей солёностью (32,99‰) и высоким содержанием кремния 10,3–11,1 мкМ в центре пролива в виде «линзы», проникающей в более глубокие слои воды в японской зоне (рис. 9в). Заток обогащенных питательными солями охотоморских вод также создавал «линзу» их повышенных концентраций, расположенных ниже слоя скачка на глубине 10–20 м, но выше придонных слоев. В связи с продолжающимся развитием продукционных процессов среднее содержание биогенных веществ к июлю снизилось за счет их утилизации: нитратов (рис. 9г), фосфатов (рис. 9д). Концентрации хлорофилла *a* во всей толще воды варьировались в небольших пределах – 0,15–0,57 мкг/дм³.

Таблица 7
Результаты химических анализов проб воды на станции S104 в июле 1997 г.
 Table 7
Results of chemical analyses of water samples at the station S104 in July 1997

Номер станции	Горизонт, м	Т °С	S, ‰	O ₂ , мг/л	O ₂ , ‰	Биогенные элементы, мкМ				Хл., а, мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ S104	0	16,68	33,73	5,78	105,0	0,00	0,00	0,27	1,3	0,00
	10	11,70	32,99	6,62	108,0	0,47	3,27	0,58	10,3	*
	20	6,74	34,08	6,55	96,2	0,26	4,06	1,15	3,4	0,28
	30	6,71	34,09	6,58	96,6	0,37	3,63	0,73	3,2	0,30
	50	6,69	34,08	6,62	97,2	2,38	0,00	0,56	4,0	0,49

Поскольку в проливе Лаперуза на формирование биологической продуктивности акватории существенное влияние оказывает апвеллинг, непосредственно на разрезе S1 сложно определить генезис вод, формирующих водную массу этой акватории. Ясно, что в этом процессе участвуют как япономорские, так и охотоморские воды, но их конкретный вклад в различные периоды времени сложно оценить (**Особенности океанографического..., 1997**). Если обратиться к картам распределения концентраций биогенных веществ в восточной части пролива, где действуют охотоморские воды, в июле 1997 г. можно отметить влияние и япономорских вод, с которыми из придонных горизонтов поступают питательные элементы: нитраты (**рис. 9е-1**), фосфаты (**рис. 9е-2**) и кремний (**рис. 9е-3**), например, на горизонте 30 м.

Таблица 8
Некоторые статистические показатели гидролого-гидрохимических параметров
и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на разрезе S1, июль 1997 г.

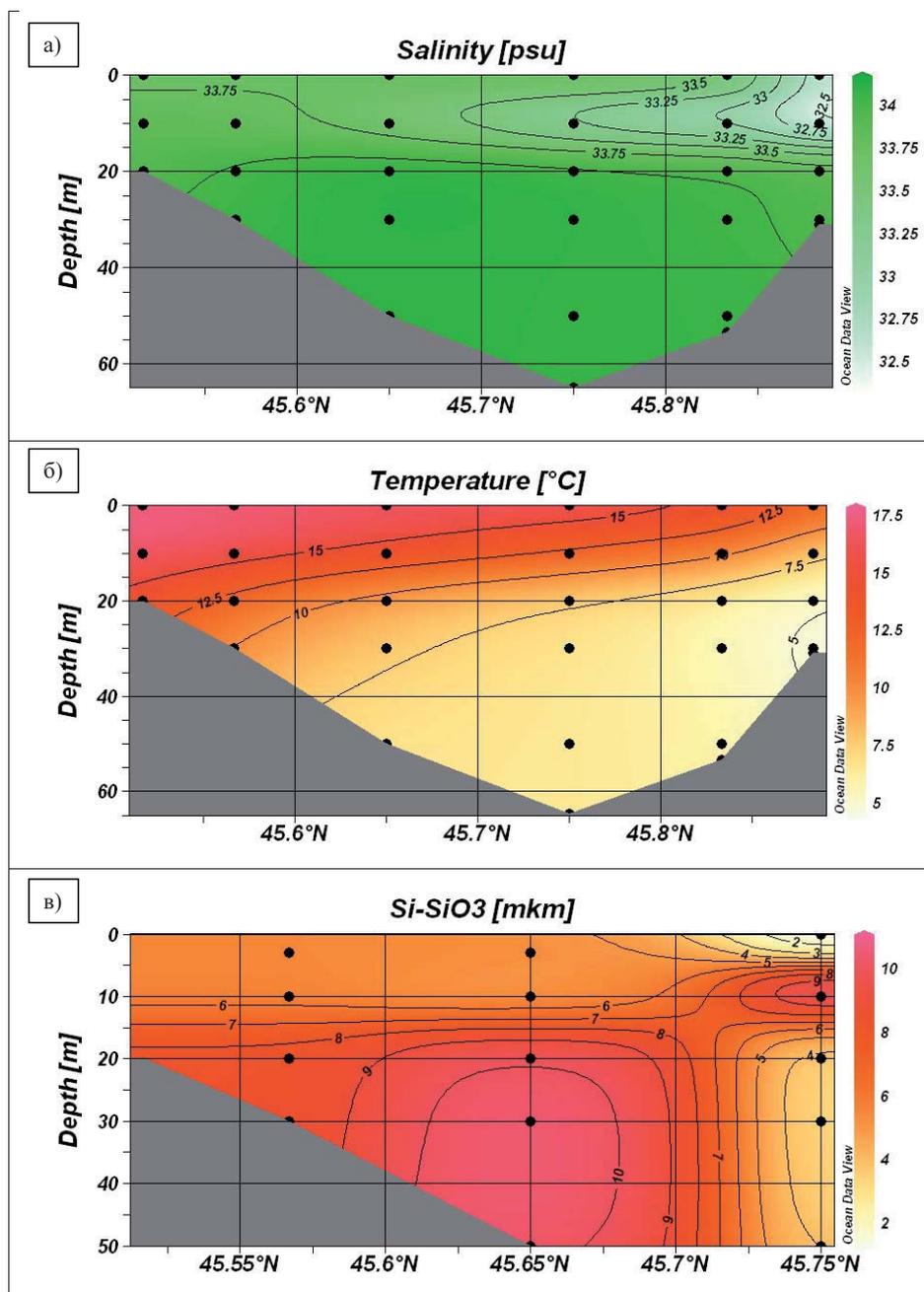
Table 8
Some statistic indices of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a*
in the La Perouse Strait at the section S1 in July 1997

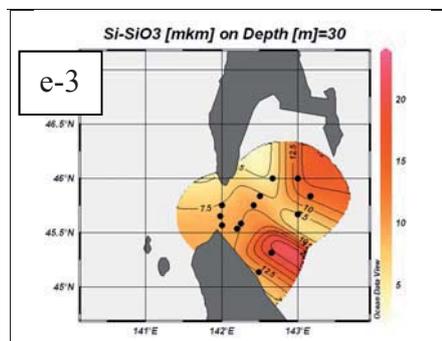
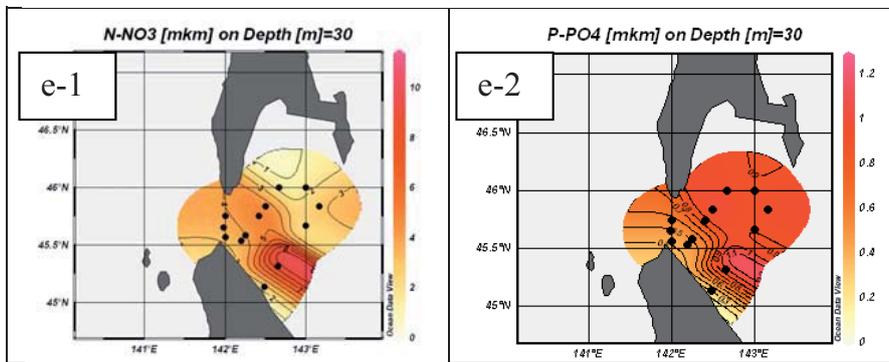
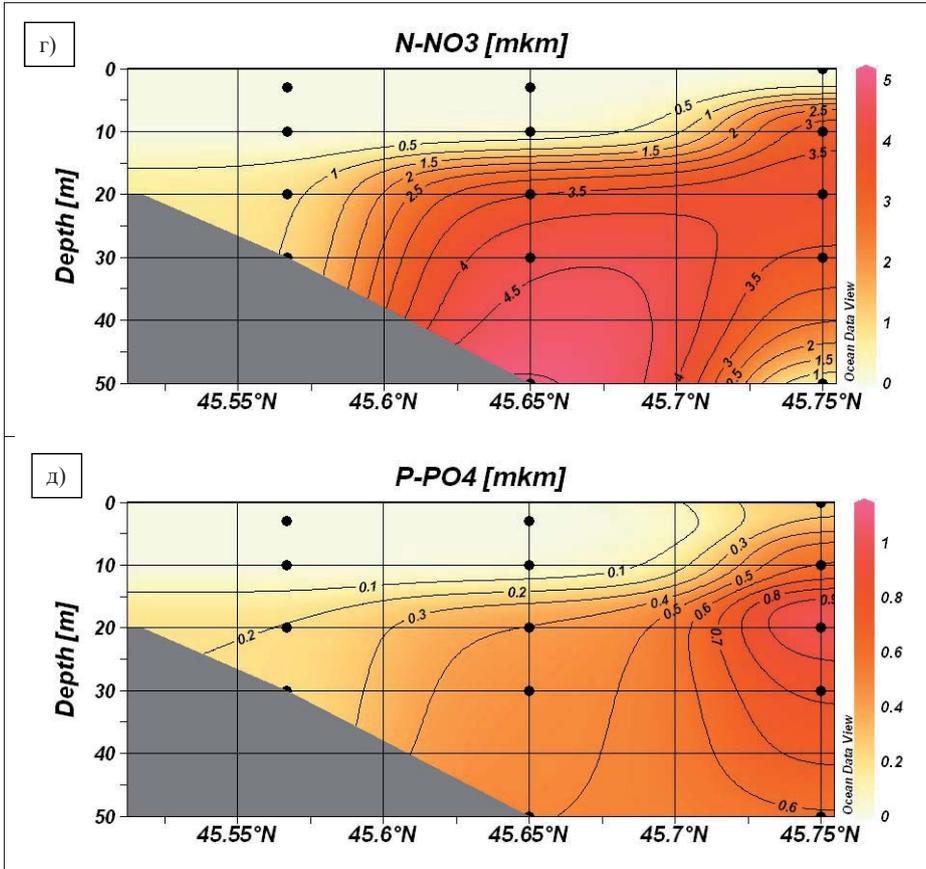
Район	Статистика	Т °С	S, ‰	O ₂ , мг/л	O ₂ , %	Биогенные элементы, мкМ				Хл., <i>a</i> , мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	Максимум	16,68	34,09	6,62	108,0	2,38	4,06	1,15	10,4	0,49
	Минимум	4,55	32,99	5,78	96,2	0,00	0,00	0,27	1,3	0,00
	Среднее	9,70	33,79	6,43	100,6	0,70	2,19	0,66	4,4	0,27
	Стандартное отклонение	4,46	0,47	0,37	5,52	0,96	2,02	0,32	3,43	0,20
Япония	Максимум	17,50	34,12	6,91	110,5	*	5,20	0,50	11,1	0,57
	Минимум	6,41	33,03	5,66	97,6	*	0,00	0,00	4,9	0,21
	Среднее	12,06	33,85	6,33	103,4	*	1,68	0,20	7,7	0,35
	Стандартное отклонение	4,56	0,34	0,49	4,05	*	2,23	0,22	2,42	0,15

Следует отметить, что эти затоки из юго-восточной акватории не проникают в пролив Лаперуза, и уже в центре разреза S1 в российской зоне, например, на станции S104 (50 м), концентрации биогенных элементов более низкие (см. табл. 7, 8). На рисунке 9е-3 наглядно представлен пример с распределением изолиний концентраций кремния, отвечающих за различный вклад охотоморских и япономорских потоков.

Отсутствие выраженного конвективного перемешивания в июле приводило к дефициту кислорода (до 96,23%) в российской зоне, например, на станции S104 (20 м) и в японской зоне (до 97,69%) на станции S103 (10 м) (рис. 9ж).

Благоприятный интервал температур (6,69–11,12 °С) на глубинах 20–30 м и более спокойная, чем на поверхности, гидродинамическая обстановка, позволяли фитопланктону развиваться в слоях ниже скачка плотности, где максимальная концентрация хлорофилла *a* достигала 0,53–0,57 мкг/дм³ в японской зоне (см. табл. 7, 8; рис. 9з).





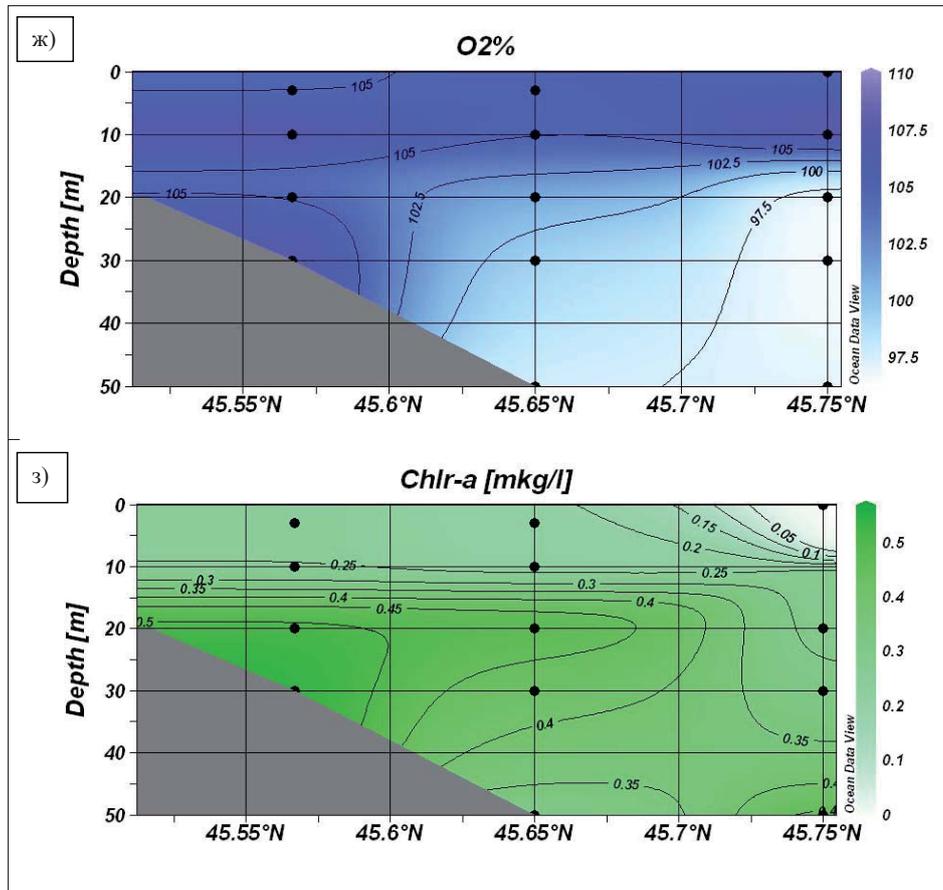


Рис. 9. Вертикальное распределение солености (а, psu), температуры (б, °C); концентраций кремния (в, мкМ), азота нитратного (г, мкМ), минерального фосфора (д, мкМ), кислорода (ж, %), хлорофилла а (з, мкг/л) на разрезе S1. Пространственное распределение концентраций азота нитратного (е-1, мкМ) на глубине 30 м, минерального фосфора (е-2, мкМ) на глубине 30 м, кремния (е, мкМ) на глубине 30 м в восточной части относительно разреза S1, июль 1997 г.

Fig. 9. Distribution: а) salinity; б) temperature; в) silicon; г) nitrate nitrogen; д) mineral phosphorus at the section S1; е-1) nitrate nitrogen at the depth of 30 m; е-2) mineral phosphorus at the depth of 30 m; е) silicon at the depth of 30 m in the eastern part against the section S1; ж) oxygen at the section S1; з) chlorophyll a at the section S1, July 1997

Декабрь 1997 г.

В поверхностных водах в декабре значения солености находились в пределах 31,89‰ на станции S106 и 34,19‰ на станции S102. Как и следовало ожидать, придонные горизонты сохраняли накопленное за летний сезон тепло с максимальными значениями температуры 6,42 °C в российской зоне на станции S104 (50 м) и 8,33 °C на станции S102 (30 м) в японской (табл. 9). В декабре концентрации кремния максимальными были (12,95–14,04 мкМ) в слоях 20–50 м на станциях S105, S106 в российской зоне. В японской зоне они снижались до 5,50–11,1 мкМ с максимумом на станции S102 (10 м) (рис. 10а). Концентрации минерального фосфора в толще воды российской зоны варьировались в интервале 1,11–1,78 мкМ с максимумом на станции S105 (рис. 10 б).

Таблица 9
Некоторые статистические показатели гидролого-гидрохимических параметров
и хлорофилла *a* в проливе Лаперуза на разрезе S1, декабрь 1997 г.

Table 9
Some statistic indices of hydrologic-hydrochemical parameters and chlorophyll *a*
in the La Perouse Strait at the section S1 in December 1997

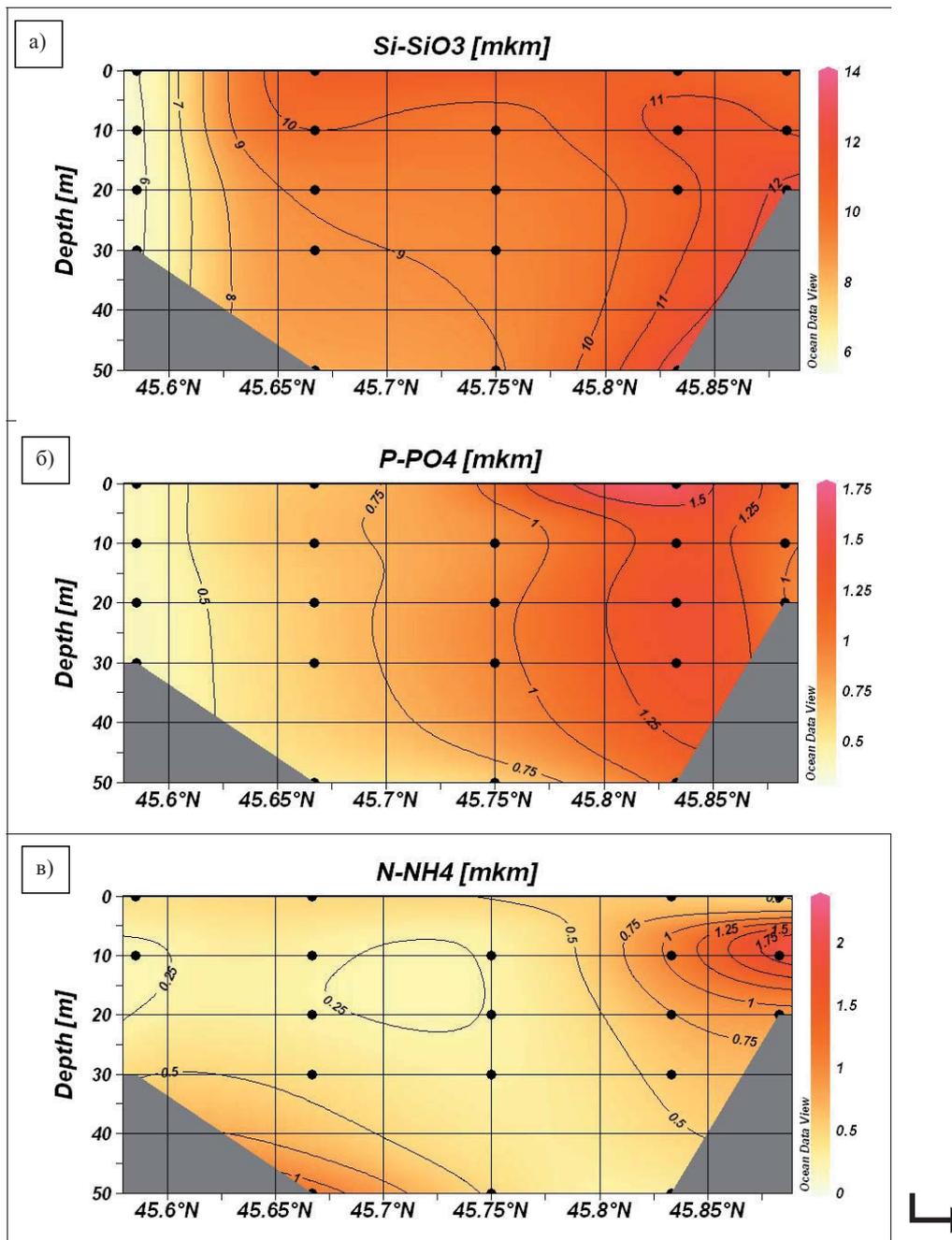
Район	Статистика	Т °С	S, ‰	O ₂ , мл/л	O ₂ , %	Биогенные элементы, мкМ				Хл. <i>a</i> , мкг/дм ³
						N-NH ₄	N-NO ₃	P-PO ₄	Si-SiO ₃	
РФ	Максимум	6,42	34,07	6,73	90,8	2,37	*	1,78	14,0	0,53
	Минимум	3,84	31,89	4,22	60,7	0,00	*	0,30	7,82	0,20
	Среднее	4,76	32,76	5,15	71,2	0,60	*	1,13	10,5	0,33
	Стандартное отклонение	1,05	0,82	0,78	10,43	0,68	*	0,46	1,91	0,13
Япония	Максимум	8,33	34,19	6,91	97,3	2,00	6,60	0,70	11,1	0,61
	Минимум	4,90	33,55	6,39	95,5	0,20	2,80	0,40	5,50	0,30
	Среднее	6,96	33,96	6,58	96,5	0,59	4,42	0,51	7,90	0,41
	Стандартное отклонение	1,36	0,26	0,21	0,58	0,63	1,62	0,13	2,36	0,10

В зимний период продолжался интенсивный распад органического вещества, продуцированного фитопланктоном в предшествующие сезоны, что сопровождается высвобождением в среду минеральных форм биогенных веществ. В декабре 1997 г. повышенные концентрации аммонийного азота были отмечены как в российской зоне, так и в японской: 2,37 и 2,0 мкМ соответственно (рис. 10в).

Процессы деструкции приводят к существенному снижению концентрации кислорода во всей толще исследуемой акватории. В зимний период дефицит растворенного кислорода в водной толще был в интервале 60,7–97,3% насыщения на глубинах 10 м станций S106 и S102 (рис. 10г). Здесь следует

отметить, что изолинии концентраций фосфора и кремния указывают на расслоение вод по вертикали.

Распределение концентраций хлорофилла *a* в воде на разрезе S1 было равномерным в интервале 0,20–0,61 мкг/дм³ с максимумом на станции S103 (10 м) (рис. 10д). Характер взаимовлияния вод в поверхностных слоях, прилежащих к разрезу S1 с запада и с востока, представлен на (рис. 11).



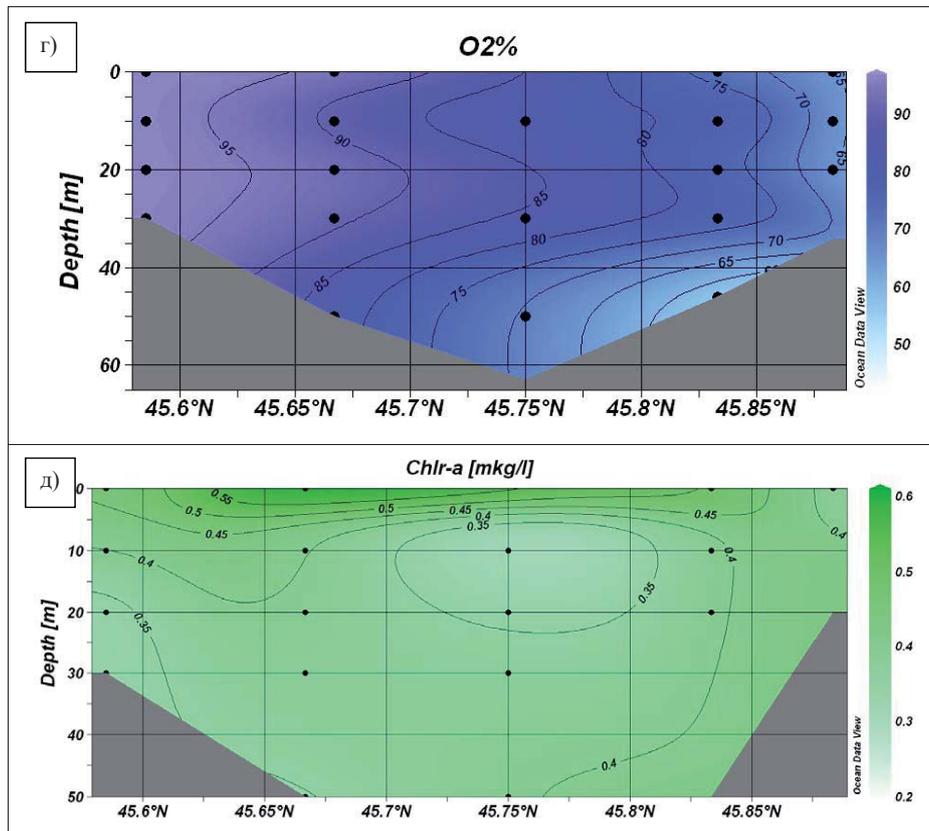
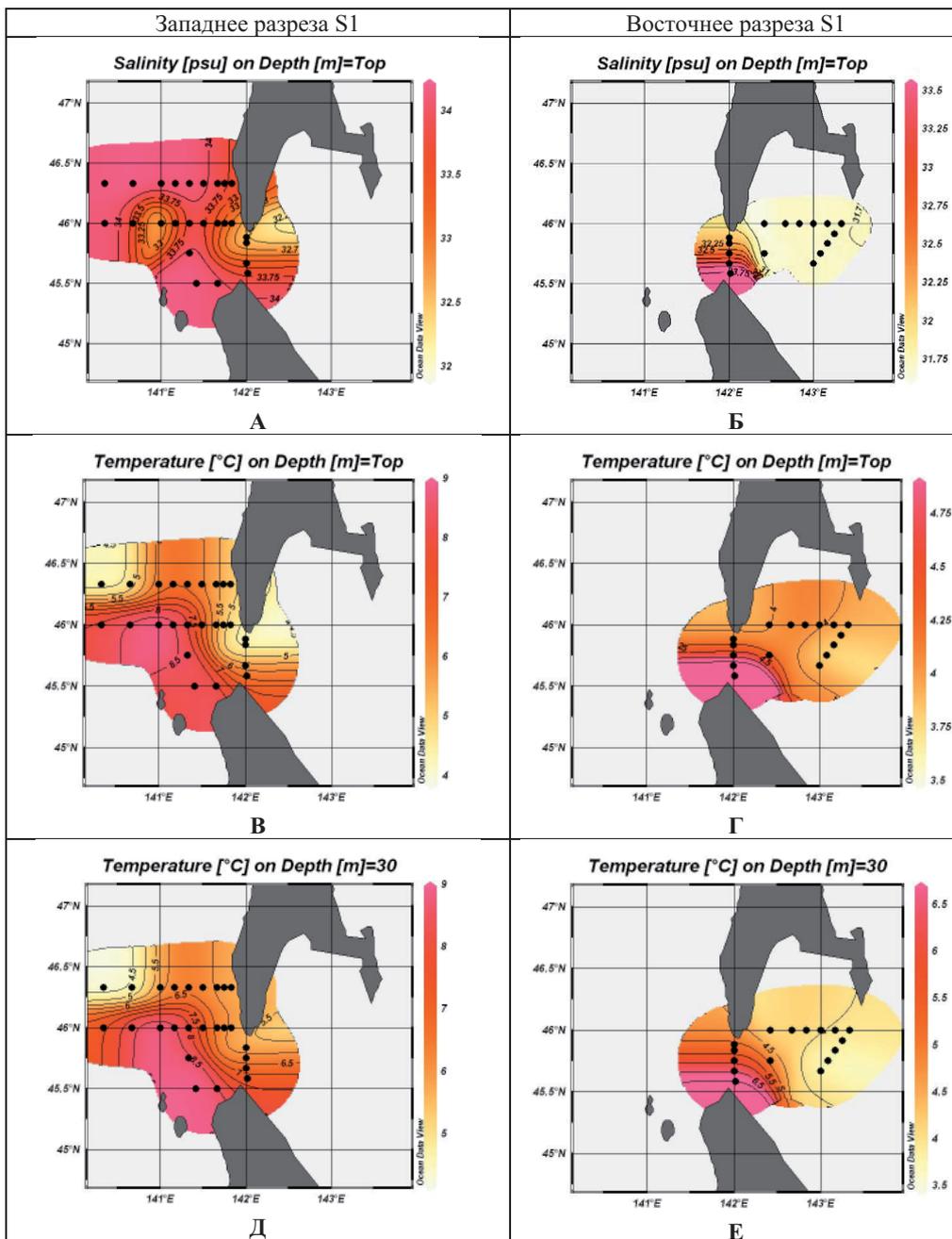


Рис. 10. Вертикальное распределение концентраций кремния (а, мкМ), минерального фосфора (б, мкМ), азота аммонийного (в, мкМ), растворенного кислорода (г, %), хлорофилла а (д, мкг/л) на разрезе S1, декабрь 1997 г.

Fig. 10. Vertical distribution: а) silicon; б) mineral phosphorus; в) nitrate nitrogen; г) dissolved oxygen; д) chlorophyll a at the section S1, December 1997



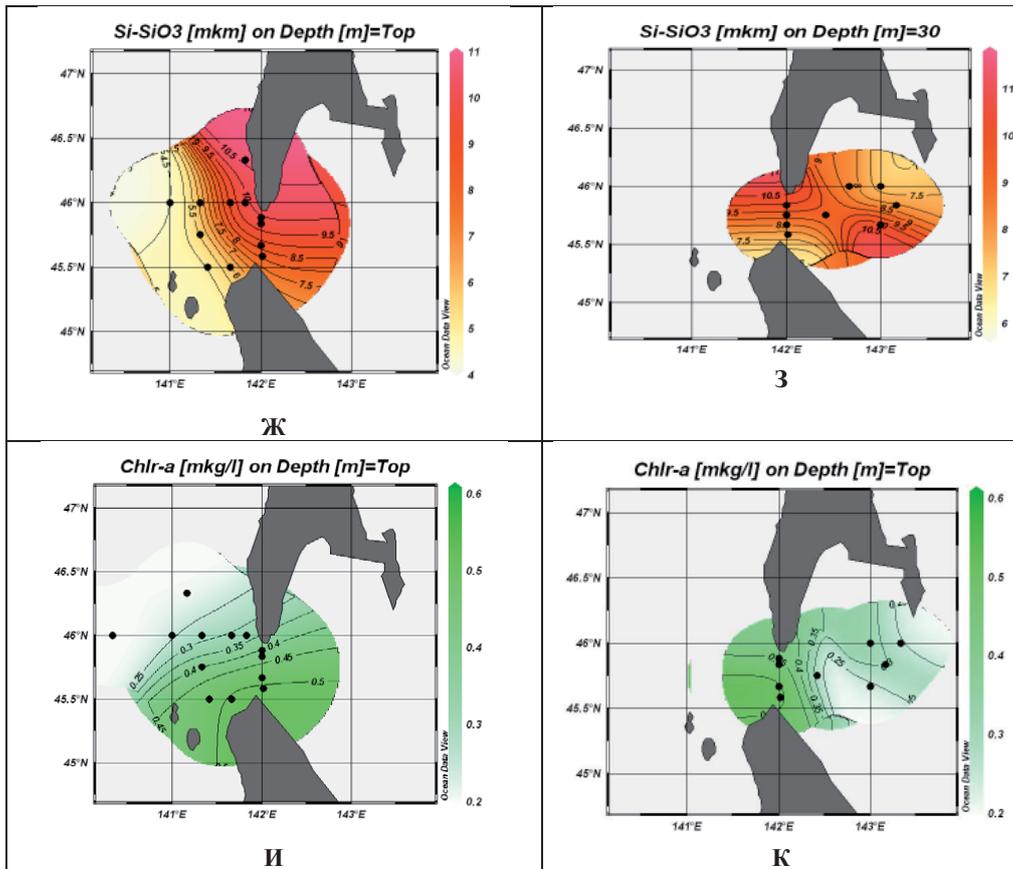


Рис. 11. Пространственное распределение солёности (А, Б, psu), температуры воды на поверхности моря (В, Г, °С) и на глубине 30 м (Д, Е, °С); концентраций кремния (Ж, З, мкМ) и хлорофилла а (И, К, мкг/л) на поверхности воды западнее (рисунки слева) и восточнее (рисунки справа) разреза S1, декабрь 1997 г.

Fig. 11. Spatial distribution: salinity (A, B); surface temperature (B, Г); temperature at the depth of 30 m (Д, Е); silicon (Ж, З) and chlorophyll a (И, К) at the water surface west (left images) and east (right images) of the section S1, December 1997

ВЫВОДЫ

Представлены результаты гидролого-гидрохимических анализов проб воды, отобранных в ходе семи комплексных морских экспедиций на НИС «Дмитрий Песков», проводившихся в марте, июне, августе и декабре 1996 г. и июне, июле и декабре 1997 г. в проливе Лаперуза и прилегающих акваториях, в зоне взаимодействия япономорских и охотоморских вод. Показано, что эти воды существенно различаются по своим гидрохимическим и продукционным характеристикам, и эти различия сохраняются, как в различные сезоны года, так и в продолжение двух лет, когда проводились исследования. Основные выводы состоят в следующем.

1. Взаимозависимость гидрологических, гидрохимических и продукционных процессов в проливе Лаперуза на разрезе S1 и прилегающих к нему западнее и восточнее водах была типичной для состояния морской среды. В

весенний период в фотических слоях начинались образование хлорофилла *a*, развитие фитопланктона, к лету содержание питательных элементов снижалось в процессе их потребления при вегетации микроводорослей. В следующие сезоны происходила деструкция продуцированного фитопланктоном органического вещества и высвобождение в среду минеральных форм биогенных веществ.

2. На все вышеперечисленные процессы существенное влияние оказывали как охотоморские (Западно-Сахалинское и Восточно-Сахалинское течения), так и япономорские (течение Соя) воды. В северной части пролива в российских водах содержание биогенных элементов было выше, чем в японской зоне, что характерно для охотоморских вод, а также в значительной мере обусловлено влиянием апвеллинга и сильными приливными течениями.

3. Влияние на продуктивность акватории пролива оказывает температурный режим. Создание «термоклина» в июле 1997 г. на глубинах 10–20 м тормозило проникновение охотоморских вод в поверхностные слои, где питательные элементы уже были утилизированы и лимитировали развитие фитопланктона. Концентрации хлорофилла *a* были невысокими, он развивался ниже скачка плотности в интервале средних температур 6,33–11,12 °С, куда из глубинных слоев проникали богатые биогенными веществами охотоморские воды.

4. В прибрежье на качественный состав водной толщи оказывает влияние терригенный сток, а также нельзя исключать и антропогенное воздействие на акваторию.

Таким образом, в результате исследований условий обитания водных биологических ресурсов в районе пролива Лаперуза (Соя) и прилежащих водах Японского и Охотского морей получены данные средних значений и пределов варьирования, а также пространственная и внутригодовая динамика гидролого-гидрохимических параметров в российских и японских территориальных водах. В статье в сжатой форме представлены наиболее значимые вариации концентраций гидролого-гидрохимических параметров и хлорофилла *a* для дальнейшего изучения течения Соя (пролив Лаперуза) и косвенно отражено влияние прилегающих к нему акваторий Татарского пролива, Охотского и Японского морей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность членам экипажа НИС «Дмитрий Песков» за помощь при оборудовании судовой химической лаборатории на борту и обеспечение благоприятных условий для сбора проб морской воды; коллегам В. Н. Частикову, Д. Р. Радченко, Д. В. Диденко, принимавшим участие в экспедициях и отборе проб воды на гидрохимические исследования, за техническое обеспечение работ в этот период; отдельно В. Н. Частикову, инженеру лаборатории биологической океанографии, за помощь в освоении компьютерной программы “Ocean Data View”.

ЛИТЕРАТУРА

- Обеспеченность фитопланктона биогенными элементами в северной части Охотского моря [Текст] / **Н. В. Аржанова, И. А. Налетова, В. В. Сапожников, А. В. Полякова** // *Океанология*. – 2002. – Т. 42, № 2. – С. 198–209.
- ГОСТ 17.1.4.02-90**. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a* [Текст]. – М. : Гос. ком. СССР по охране природы, 1990. – 15 с.
- Методы** гидрохимических исследований основных биогенных элементов [Текст]. – М. : ВНИРО, 1988. – 120 с.
- О российско-японском** исследовании кормовой базы пелагических рыб и абиотических условий в проливе Лаперуза и прилегающих водах в августе 1995 г. [Текст] : Отчет о НИР / СахНИРО; Отв. исполн. Г. А. Кантаков, А. Д. Саматов. – Ю-Сах., 1995. – 4 с. – (Науч. арх. СахНИРО, инв. № 6964).
- Океанологические** условия формирования биопродуктивных зон открытых районов Тихого океана и дальневосточных морей. Особенности океанографического режима вод в Сахалино-Курильском регионе в 1996 г. [Текст] : Отчет о НИР (промежуточный) / СахНИРО; Отв. исполн. Г. А. Кантаков. – Ю-Сах., 1997. – 32 с. – (Науч. арх. СахНИРО, инв. № 7484).
- Океанологические** условия формирования биопродуктивных зон открытых районов Тихого океана и дальневосточных морей. Внутригодовая изменчивость океанографического режима и зоопланктонного сообщества в проливе Лаперуза (Соя) за период 1995–1997 гг. [Текст] : Отчет о НИР / СахНИРО; Отв. исполн. Г. А. Кантаков, И. Ю. Брагина. – Ю-Сах., 1999. – 68 с. – (Науч. арх. СахНИРО. Инв. № 8042).
- Особенности** океанографического режима вод в Сахалино-Курильском регионе в 1995 г. [Текст] : Отчет о НИР (промежуточный) / СахНИРО; Г. А. Кантаков. – Ю-Сах., 1997. – 43 с. – (Науч. арх. СахНИРО. Инв. № 7150).
- Пищальник, В. М. Океанографический атлас шельфовой зоны острова Сахалин [Текст] / **В. М. Пищальник, А. О. Бобков**. – Ю-Сах. : Изд-во СахГУ, 2000. – Ч. II. – 108 с.
- Пропп, Л. Н. Сезонные вариации биогенных элементов и продукционных характеристик в водах зал. Анива по результатам экспедиционных исследований 2001–2002 гг. [Текст] / **Л. Н. Пропп, Л. Ю. Гаврина** // *Тр. СахНИРО*. – 2005. – Т. 7. – С. 111–155.
- 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.
- Пропп, М. В. Гидрохимические условия и суточная динамика кислорода, хлорофилла *a* и биогенных элементов в бухте Кратерной [Текст] / **М. В. Пропп, Л. Н. Пропп, В. Г. Тарасов** // *Биология моря*. – 1989. – № 3. – С. 36–44.
- РД 52.10.243-92**. Руководство по химическому анализу морских вод [Текст]. – СПб. : Гидрометеиздат, 1993. – 264 с.
- Цхай, Ж. Р. Сезонные вариации концентраций хлорофилла *a* за 2001–2004 гг. в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям [Текст] / **Ж. Р. Цхай, Г. В. Шевченко, Л. Ю. Гаврина** // *Исслед. Земли из космоса*. – 2006. – № 3. – С. 15–30.
- Bendshneider, K. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water [Text] / **K. Bendshneider, R. Robinson** // *J. Marine Res.* – 1952. – Vol. 11, No. 1. – P. 87.
- Gavrina, L. Yu. Factors of the environment and production characteristics in Aniva Bay, Sea of Okhotsk and bordering straits (Laperuz, Tatarsky) in 1996–2002 [Text] / **L. Yu. Gavrina, L. N. Propp, V. N. Chastikov** // *PICES 14-th annual meeting : Program and abstracts (September 29 – October 9, 2005, Vladivostok, Russia)*. – Vladivostok, 2005. – P. 143.