

УДК 543.842

## ТЕРМОХАЛИННЫЕ УСЛОВИЯ И СОДЕРЖАНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОДЫ У ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАМЧАТКИ В МАЕ–ИЮЛЕ 2005 ГОДА

В. В. Коломейцев, А. Э. Шагинян, В. Д. Свириденко, Е. С. Воронова



Впервые проведена оценка термохалинных условий и содержания растворенных форм биогенных элементов в поверхностном слое воды у юго-западного побережья Камчатки в вегетационный период 2005 г. Рассмотрены изменения гидрологических и гидрохимических параметров в течение этого периода. Рассчитаны и проанализированы соотношения N/P, Si/N и Si/P. Основываясь на молярном стехиометрическом соотношении Редфилда для природных популяций фитопланктона, установлено, что лимитирующим развитием микроводорослей биогенным элементом в течение вегетационного периода является азот.

*V. V. Kolomeytsev, A. E. Shaginyan, V. D. Sviridenko, E. S. Voronova.* Temperature and salinity conditions and concentration of biogenic elements in the subsurface water layer on the southwest coast of Kamchatka in May–July 2005 // Research of water biological resources of Kamchatka and of the northwest part of Pacific Ocean: Selected Papers KamchatNIRO. Vol. 10. 2008. P. 13–19.

Temperature and salinity conditions and concentration of dissolved biogenic elements in the subsurface water layer on the southwest coast of Kamchatka during the period of vegetation in 2005 are estimated. Dynamics of hydrological and hydrochemical parameters during this period are analyzed. The proportions N/P, Si/N and Si/P are calculated and analyzed. It is found basing on the molar stehiometric proportion by Redfield for natural populations of phytoplankton that the biogenic element limiting microalgae development during the period of vegetation is nitrogen.

Охотоморское побережье у Юго-Западной Камчатки, включающее в себя приустьевые районы рек Озерная и Большая, имеет важное рыбохозяйственное значение. Здесь проходит ранний морской период жизни скатившейся молоди тихоокеанских лососей (Ерохин, 2002). Помимо этого в данном районе нагуливается молодь морских промысловых рыб. В формировании кормовой базы всех гидробионтов решающая роль принадлежит фитопланктону, на долю которого приходится до 90% синтезируемого органического вещества (Аржанова и др., 2002). Необходимым условием жизнедеятельности фитопланктона является наличие в воде биогенных элементов — азота, фосфора, кремния, а также некоторого сочетания гидрологических условий, так как их изменения оказывают непосредственное воздействие на скорость фотосинтеза (Гершанович и др., 1982).

В 2005 году впервые были проведены детальные исследования в прибрежных водах у Юго-Западной Камчатки. В комплексе исследований в том числе производились гидрохимические наблюдения и отбор проб на определение гидрохимических параметров в поверхностном слое воды.

Цель исследования — оценка термохалинных условий и содержания биогенных элементов в поверхностном слое воды у юго-западного побережья Камчатки. Для этого предполагалось рассмотреть гидрологические условия в мае–июле, определить концентрацию минеральных форм основных

биогенных элементов и соотношения между ними, выявить элемент, лимитирующий развитие фитопланктона.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили данные комплексных исследований на НИС «МРТК-316» на юго-западном участке камчатского побережья Охотского моря в мае, июне и июле 2005 г. Для сбора гидрологических данных использовали CTD-профилограф SBE 19 plus фирмы Sea-Bird Electronics, Inc. (США). После переноса на персональный компьютер данные обрабатывали с помощью программного обеспечения SBE Data Processing-Win32 по рекомендованной фирмой-производителем методике. Гидрохимические пробы отбирали пластиковым ведром в поверхностном слое ( $\approx 0,3$  м). Всего было выполнено 148 гидрологических станций и отобрано 59 гидрохимических проб. В лабораторных условиях по общепринятым методикам определяли концентрацию минеральных форм фосфора, азота, кремния (Алекин и др., 1973) и растворенного органического углерода ( $C_{орг}$ ) (Руководство..., 2003). Выявление элемента, лимитирующего развитие фитопланктона, производили на основе анализа молярных соотношений минеральных форм Si/P, Si/N и N/P в воде, которые сравнивали со стехиометрическим соотношением для природных популяций фитопланктона C:Si:N:P=106:23:16:1 (Redfield et al., 1963), исходя

из которого следует, что  $Si/P = 23$ ,  $Si/N = 1,4$  и  $N/P = 16$ .

Для последующего анализа данных исследованная акватория была разделена на участки, привязанные к отдельным речным системам с эстуариями — р. Большая и севернее ( $52^{\circ}25'$ ), реки Опала — Гольгина ( $51^{\circ}51' - 52^{\circ}15'$ ), и реки Озерная, Явина, Кошегочек ( $51^{\circ}25' - 51^{\circ}51'$ ).

Все расчеты и построения были выполнены с помощью установленных на персональный компьютер прикладных программ: MS Excel (Microsoft Corporation) и Ocean Data View (Version 3.0 — 2005).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что в конце мая средняя температура поверхности моря составляла  $4,2^{\circ}\text{C}$ . Наибольшие значения ( $4,5 - 5,0^{\circ}\text{C}$ ) отмечались у берега в северной и южной частях акватории, а наименьшие ( $2,9 - 3,5^{\circ}\text{C}$ ) — в ее мористой части (рис. 1). Спустя месяц среднее для всей акватории значение температуры увеличилось на  $3,5^{\circ}\text{C}$  и соответствовало  $7,7^{\circ}\text{C}$  (рис. 4б). Характер распределения в целом остался прежним, но в то же время появилось больше «пятен» с повышенными или пониженными значениями температуры, что особенно прослеживалось в южной части исследуемой акватории. Данная структура поля температуры поверхности, по всей видимости, характерна для мелководья прибрежной зоны Охотского моря у Западной Камчатки и обусловлена взаимодействием процессов стока речных вод, приливного пере-

мешивания и поступления вод шельфовой ветви ЗКТ. В июле продолжался прогрев поверхностного слоя вод, и в конце месяца средняя температура поверхности составляла уже  $11,4^{\circ}\text{C}$ .

Пространственное распределение солёности поверхностных вод в течение мая–июля характеризовалось наличием зоны повышенных градиентов солёности, соответствующей границе раздела между прибрежными распресненными материковым стоком водами и водами ЗКТ (рис. 2). В некоторых случаях хорошо прослеживались «блюдца» с распресненной водой (до 26–29 епс). Такие «блюдца» образуются в результате «заброса» речных вод в районе устьев рек при увеличении объемов стока и прохождении антициклонического вихря ЗКТ (Сапожников, 1997). Значения солёности прибрежных вод в поверхностном слое изменялись в период исследований в пределах 23–29 епс, в зависимости от приближения к берегу. В мористой части акватории и на юге солёность варьировала от 31,0 до 32,7 епс.

Распределение растворенного органического углерода представлено на рис. 3. Максимальные значения концентрации  $C_{\text{орг}}$  в мае в поверхностном слое (около  $4,1 \text{ мг/л}$ ) наблюдались на севере исследуемой акватории, а минимальные (менее  $3,4 \text{ мг/л}$ ) — в ее центральной части. В целом, прослеживается постепенное повышение концентрации  $C_{\text{орг}}$  в направлении с юга на север. По результатам наблюдений в июне установлено увеличение концентрации  $C_{\text{орг}}$  в среднем на  $1 \text{ мг/л}$  (до  $4,5 - 4,6 \text{ мг/л}$ ).

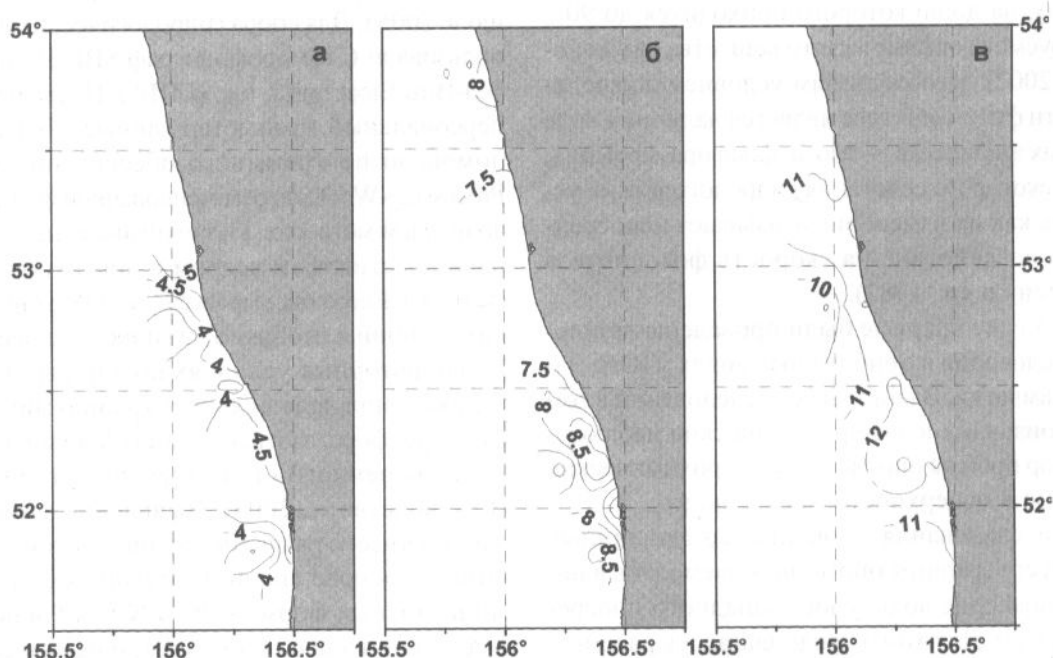


Рис. 1. Распределение температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

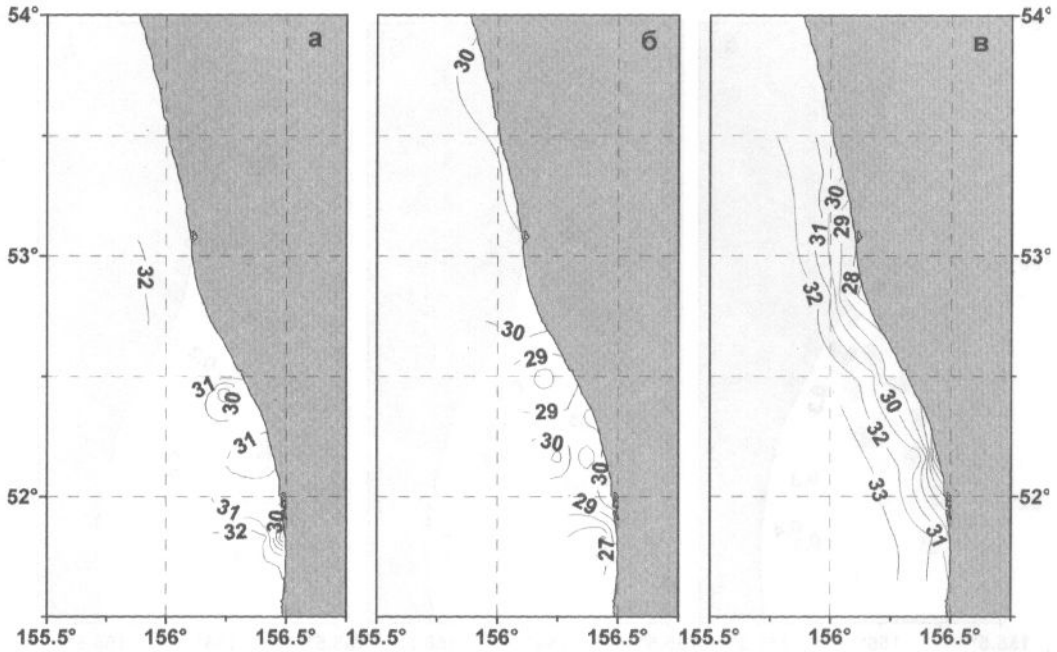


Рис. 2. Распределение солёности (пс) у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

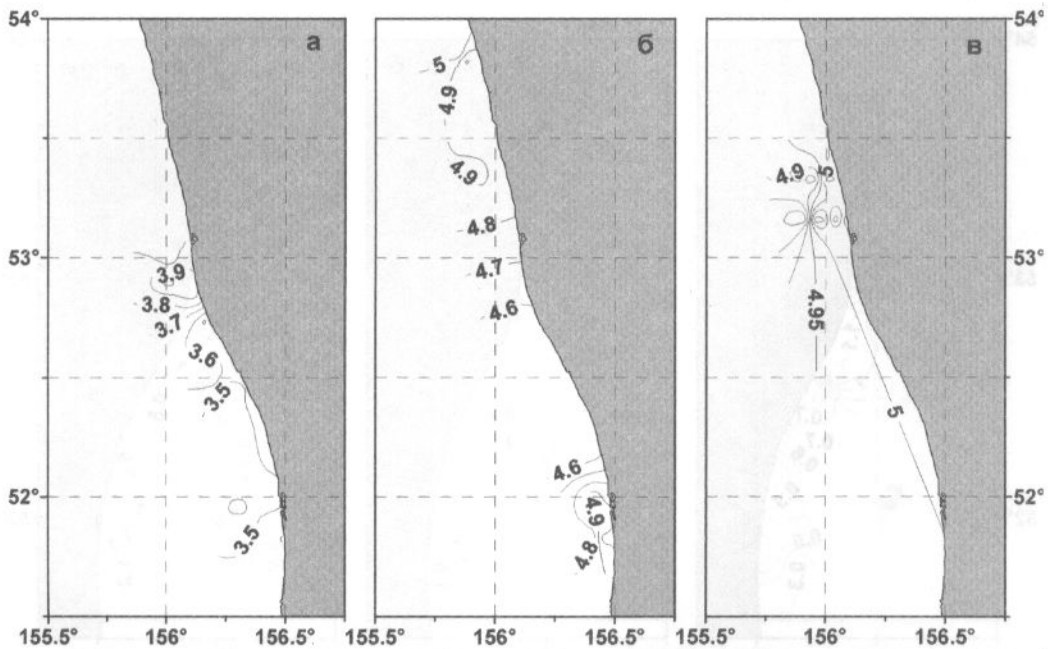


Рис. 3. Распределение растворенного органического углерода (мг/л) у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

Максимальное содержание  $C_{\text{орг}}$  (5,1 мг/л) было отмечено на южном участке — эстуарии рек Озерная, Явина, Кошегочек.

В июле отбор проб на определение растворенного углерода производился лишь в северной части исследуемого района. Содержание  $C_{\text{орг}}$  изменялось в пределах 4,8–5,1 мг/л, уменьшаясь в мористом направлении.

Содержание растворенного минерального азота у Юго-Западной Камчатки в мае–июле соответствовало 0,1–0,9  $\mu\text{MN}$  (рис. 4). В мае наи-

большая концентрация отмечалась у берега на юге акватории (до 0,5  $\mu\text{MN}$ ), в то время как на большей части она составляла 0,1–0,3  $\mu\text{MN}$ . В июне максимальное содержание минерального азота (до 0,9  $\mu\text{MN}$ ) было отмечено у берега на севере акватории. Также небольшое увеличение (до 0,4  $\mu\text{MN}$ ) прослеживалось на юге, однако, как и в мае, на большей части акватории содержание азота находилось в пределах 0,1–0,3  $\mu\text{MN}$ . В июле наименьшие значения концентрации азота (0,1–0,2  $\mu\text{MN}$ ) были приурочены к прибреж-

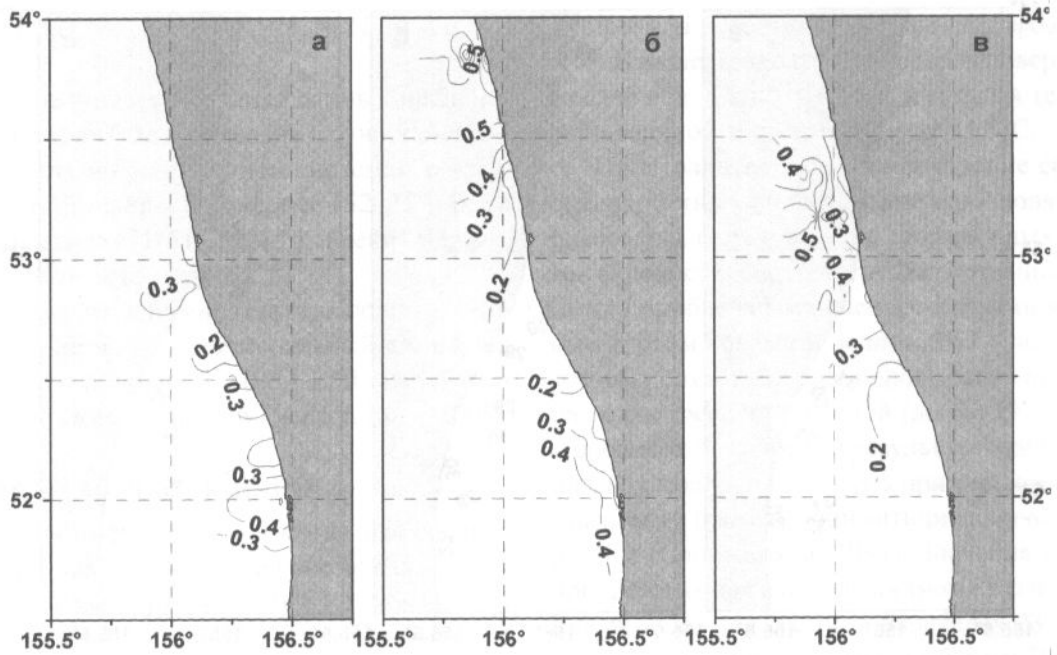


Рис. 4. Распределение растворенного минерального азота ( $\mu\text{MN}$ ) у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

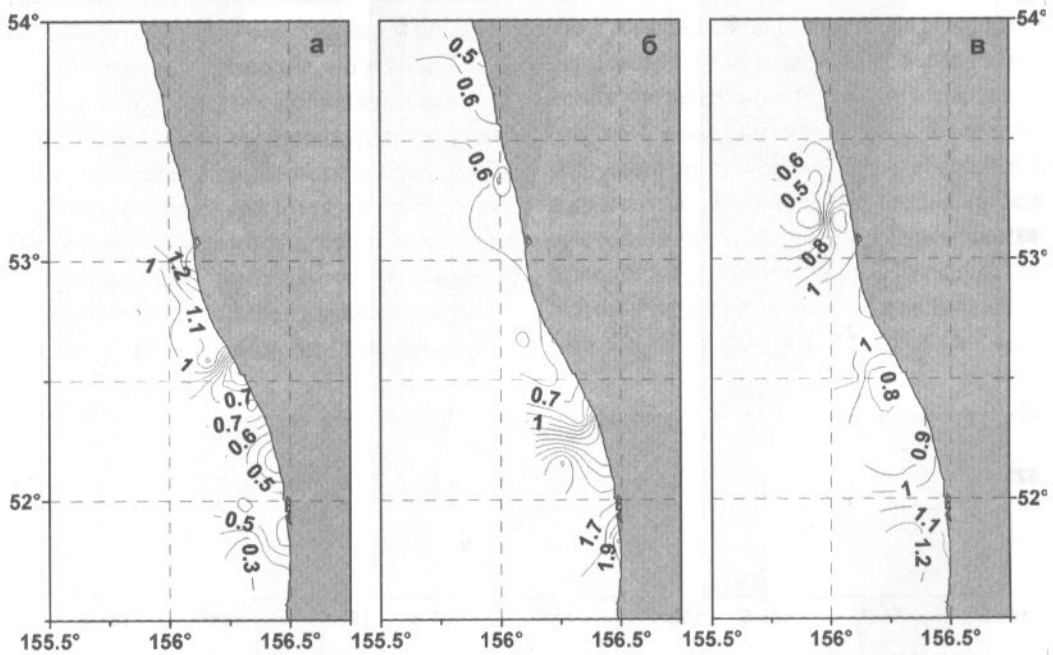


Рис. 5. Распределение фосфатов у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

ной части рассматриваемой акватории. В мористом направлении они увеличивались до  $0,3\text{--}0,8 \mu\text{MN}$ .

В распределении фосфатов в мае прослеживалась тенденция постепенного увеличения их концентрации в северном направлении от  $0,2$  до  $1,2 \mu\text{MP}$  (рис. 5). В июне наблюдали обратную картину — увеличение содержания фосфатов в южном направлении от  $0,5$  до  $2,0 \mu\text{MP}$ . В июле максимальная концентрация фосфатов отмечалась у берега в центральной части (до  $1,2 \mu\text{MP}$ ) и на юге акватории (до  $1,3 \mu\text{MP}$ ). Севернее  $53^\circ$  с.ш. она уменьша-

лась до  $0,2\text{--}0,6 \mu\text{MP}$ , а в районе стока реки Большая — до  $0,8 \mu\text{MP}$ .

Содержание кремния в мае–июле 2005 г. закономерно повышалось в районах устьев рек (рис. 6). В мае максимальная концентрация достигала  $130\text{--}150 \mu\text{MSi}$ . В северном направлении содержание Si уменьшалось до  $80\text{--}90 \mu\text{MSi}$ . В июне наибольшее содержание кремния было отмечено на южном участке, где впадают реки Озерная, Явина, Кошегочек. В целом на данном участке, по сравнению с маем, оно незначительно выросло, в то время как на север-



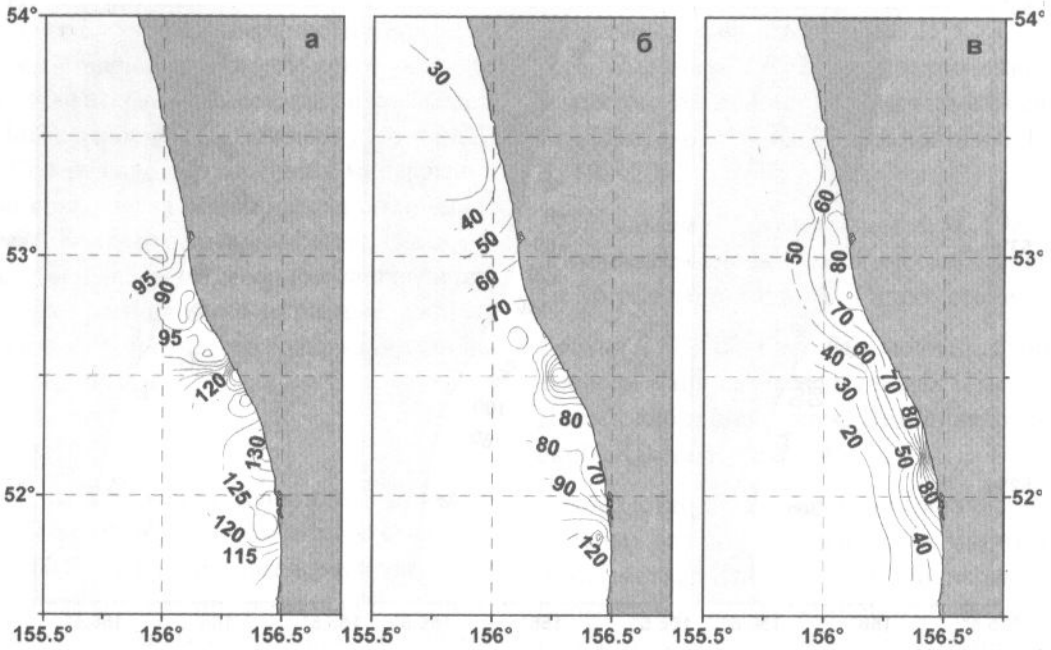


Рис. 6. Распределение кремния у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

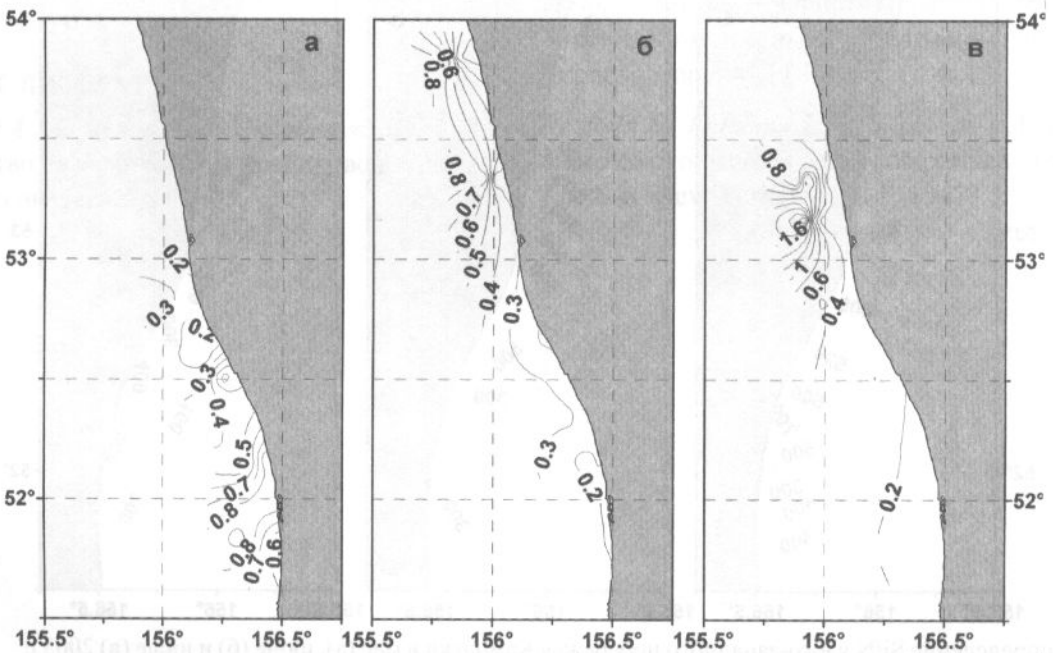


Рис. 7. Распределение N/P у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

ных участках — понизилось. В июле концентрация кремния уменьшалась от 70–90  $\mu\text{MSi}$  у берега до 30–50  $\mu\text{MSi}$  в мористой части рассматриваемой акватории.

На рис. 7–9 приведено распределение в поверхностном слое соотношений минеральных форм азота, фосфора и кремния: N/P, Si/N и Si/P. На основании стехиометрического соотношения очевидно, что на всей акватории в избытке, как по отношению к азоту, так и к фосфору, был кремний ( $\text{Si/N} > 1,4$  и  $\text{Si/P} > 23$ ), а в относительном дефиците — азот ( $\text{N/P} < 16$  и  $\text{Si/N} > 23$ ). Таким образом,

азот — лимитирующий развитие фитопланктона биогенный элемент, что соответствует результатам более ранних исследований в Охотском море (Аржанова и др., 2002).

В таблице отображены гидрологические и гидрохимические данные, осредненные по участкам, приуроченным к отдельным речным системам с эстуариями: р. Большая и севернее ( $52^{\circ}25'$ ), реки Опала – Гольгина ( $51^{\circ}51' - 52^{\circ}15'$ ), и реки Озерная, Явина, Кошегочек ( $51^{\circ}25' - 51^{\circ}51'$ ) для мая, июня и июля 2005 г.

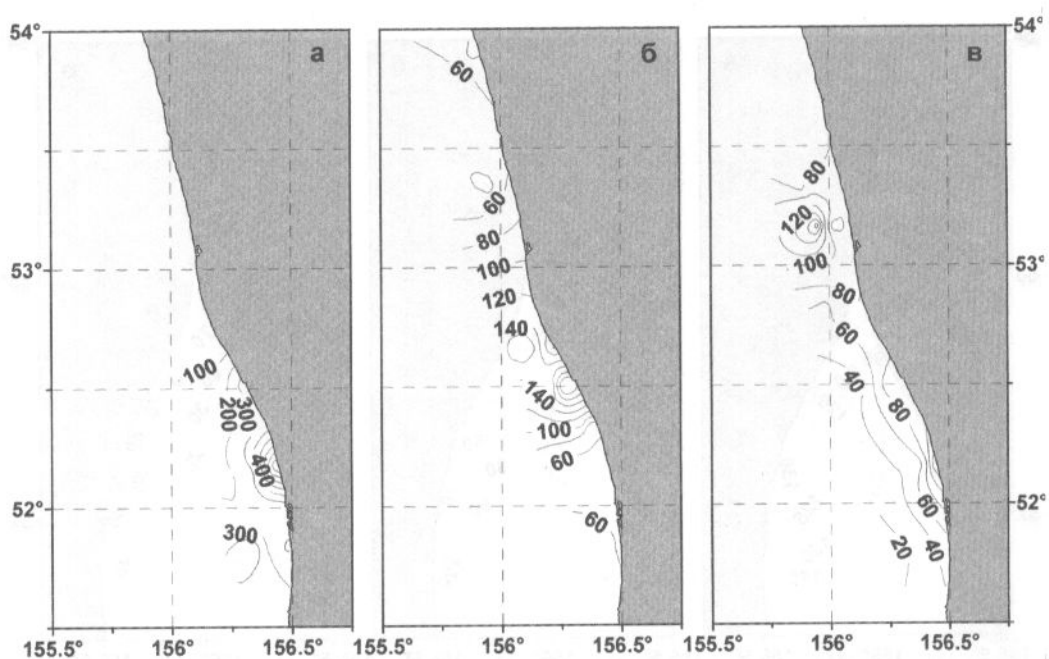


Рис. 8. Распределение Si/P у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

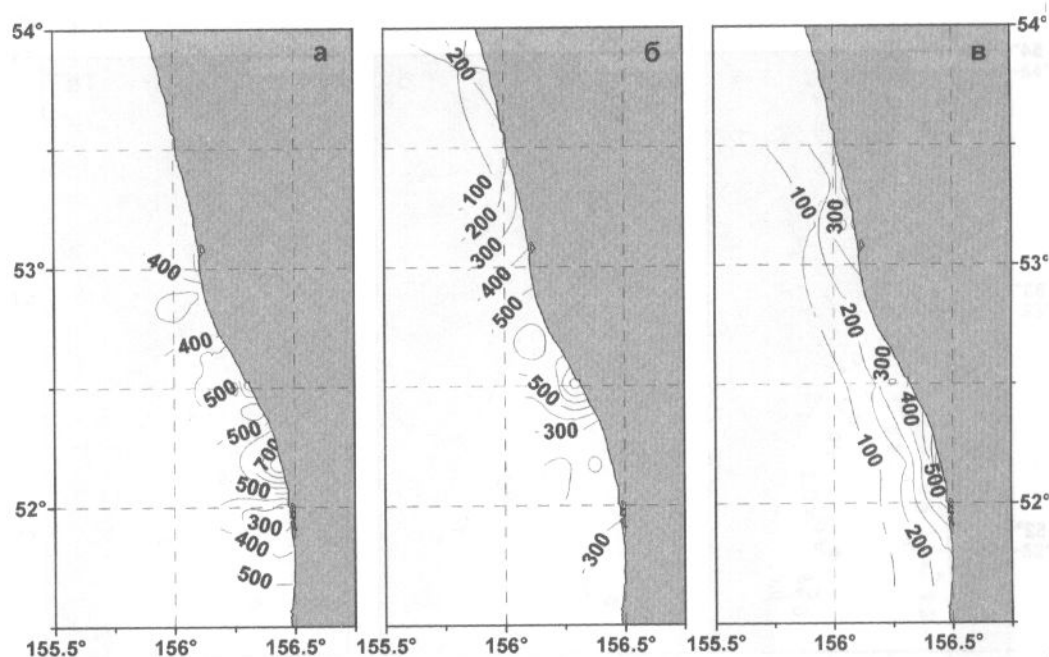


Рис. 9. Распределение Si/N у юго-западного побережья Камчатки в мае (а), июне (б) и июле (в) 2005 г.

Таблица. Гидролого-гидрохимическая характеристика поверхностного слоя Охотского моря у юго-западного побережья Камчатки в мае–июле 2005 г.

Район, реки	Месяц	Температура, °С	Соленость, епс	Концентрация биогенных элементов			N/P	Si/P	Si/N	C <sub>орг</sub> , мг/л
				Азот, μMn	Фосфор, μMP	Кремний, μMSi				
Озерная, Явина, Кошегочек	май	4,0	30,9	0,3	0,5	120	0,7	297	432	3,5
	июнь	8,6	26,8	0,4	1,9	128	0,1	69	355	4,9
	июль	10,6	31,6	0,3	1,2	44	0,3	39	217	—
Опала, Хетик, Гольгина	май	4,7	30,9	0,3	0,5	130	0,7	399	555	3,5
	июнь	7,7	30,1	0,3	1,6	75	0,2	48	240	4,7
	июль	12,4	29,2	0,2	0,9	49	0,2	57	351	—
Большая и севернее	май	4,1	31,3	0,3	0,9	100	0,3	131	421	3,7
	июнь	7,7	29,7	0,3	0,7	65	0,3	101	367	4,7
	июль	11,3	29,8	0,3	0,8	63	0,5	87	249	5,0

Наибольший прогрев поверхности моря с мая по июль был отмечен на приустьевых участках рек Опала – Гольгина и Большая, где он превышал, по сравнению с относительно южным участком, на 0,5–1,0°C. Содержание растворенного минерального азота на всех участках побережья составляло около 3 мМN. Концентрация фосфатов, за исключением мая, уменьшалась в северном направлении. Распределение кремния в мае–июне имело тот же характер, в июле, напротив, его содержание уменьшалось с севера на юг.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований получили гидрологическую характеристику поверхностного слоя прибрежных вод Юго-Западной Камчатки в мае–июле 2005 г. Оценивая содержание растворенных минеральных форм основных биогенных элементов, установили, что в течение вегетационного периода лимитирующим развитие микроводорослей является азот.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. 1973. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 286 с.

Аржанова Н.В., Налетова И.А., Сапожников В.В., Полякова А.В. 2002. Обеспеченность фитопланктона биогенными элементами в северной части Охотского моря // *Океанология*. Т. 42. № 2. С. 198–209.

Гершанович Д.Е., Муромцев А.М. 1982. Океанологические основы биологической продуктивности Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 320 с.

Ерохин В.Г. 2002. Биология молоди тихоокеанских лососей в прикамчатских водах Охотского моря. Дис. ... канд. биол. наук. Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 145 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана (Под ред. В.В. Сапожникова). 2002. М.: ВНИРО, 202 с.

Сапожников В.В. 1997. Экологическое состояние прибрежной зоны Черного моря // *Экология морей России. Комплексные исследования Экосистемы Черного моря*. М.: ВНИРО. С. 4–17.

Redfield S., Ketchum B.H., Richards F.A. 1963. The influence of organisms on the composition of seawater // *The Sea*. New York. Vol. 2. P. 15–77.