
ИХТИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

УДК 551.467.3 (265.54)

Л.М. Азмухаметова, С.А. Кошкин

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛИКАТОВ В ВОДАХ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

На основании анализа всей доступной информации о распределении силикатов в водах зал. Петра Великого за период, начиная с 1925 г. и по настоящее время, проведена оценка пространственно-временных особенностей распределения кремния. Характерной чертой внутригодовых изменений биогенных веществ в толще вод зал. Петра Великого является чередование максимальных и минимальных значений во всех районах. Только в мористой глубоководной части залива в поверхностном слое вод четко выражена годовая гармоника в ходе сезонных изменений силикатов. Их максимальное содержание наблюдается в осенне-зимний период, минимальное – летом.

Ключевые слова: силикаты, кремний, биогенные элементы, зал. Петра Великого, Японское море.

L.M. Azmukhametova, S.A. Koshkin

SPACE-TIME PECULIARITIES OF SILICATES DISTRIBUTION IN THE PETER THE GREAT BAY WATERS

Based on the analysis of all available information according to distribution of silicates in the waters of Peter the Great Bay for the period from 1925 to present spatio-temporal features of silicon allocation were evaluated. The characteristic of annual changes of nutrients into the water column of the Bay are alternate maximum and minimum values in all areas. Only in seaward (deep-sea zone) of Peter the Great Bay in a surface layer annual harmony during seasonal changes of silicates is clearly expressed. Their maximum content is observed in autumn-winter period, and minimum – in summer.

Key words: silicates, silicon, nutrients, Peter the Great Bay, Sea of Japan.

Введение

Зал. Петра Великого (ЗПВ), расположенный в северо-западной части Японского моря, является самой богатой по видовому и таксономическому разнообразию морской акваторией Российской Федерации. Здесь находится единственный в России морской заповедник, который занимает примерно 10 % площади залива. Залив входит в число 21 акватории Западной Пацифики, которые рекомендованы для долгосрочного ежегодного мониторинга биоразнообразия в рамках международной региональной программы DIWPA (Diversitas in Western Pacific and Asia). Реализация планов развития Дальнего Востока во много раз увеличит антропогенную нагрузку на экологию ЗПВ. Для успешного сохранения и рационального использования уникальных биологических и водных ресурсов залива в условиях интенсивного развития хозяйственной деятельности необходимо располагать всесторонними и надёжными сведениями о важнейших факторах, определяющих состояние и функционирование морских прибрежных экосистем. Речь идёт о биогенных элементах и в том числе о пространственно-временных особенностях распределения силикатов в водах зал. Петра Великого.

Биологическая роль кремния в морской воде определяется тем, что он (наряду с кальцием и магнием) входит в состав скелетных образований широко распространенных морских организмов: створок диатомовых, игл радиоляриевых, спикул кремниевых губок. Главным источником поступления кремния в океан служит материковый сток, поэтому нахождение кремния (в форме истинно растворенной кремниевой кислоты) в больших количествах может служить показателем распространения речных вод в пределах залива.

Основной путь удаления растворенного кремния из морской воды – это биогенные процессы, происходящие в фотическом слое. Высокое содержание кремния способствует интенсивному развитию диатомей, что уменьшает его содержание в фотическом слое. Однако только в исключительных случаях в районах с высокой биологической продуктивностью и при наиболее благоприятных условиях содержание кремния в морской воде может снижаться до аналитического нуля.

Несмотря на повышенное внимание к общим проблемам экологического состояния зал. Петра Великого, оценки распределения силикатов в водах имеют весьма приблизительный характер [1–3].

К настоящему времени существует весьма ограниченный ряд работ, в которых представлены сведения об изменчивости комплекса биогенных элементов в водах зал. Петра Великого [1–3].

Результаты, представленные различными авторами, как правило, ограничены в пространстве (рассматривается только часть акватории) или по времени, или же выполнены по данным ГМС. Более того, эта информация не всегда адекватно отражает весь спектр изменчивости температуры (и солености) воды, который реально наблюдается в мористых районах зал. Петра Великого.

Анализ пространственно-временного распределения силикатов в водах залива достаточно актуален и имеет большое практическое значение.

Целью настоящей работы явилось исследование пространственно-временных особенностей распределения силикатов (кремния) в водах зал. Петра Великого.

Представленные сведения о распределении кремния послужат основой для планирования экспедиционных исследований и мониторинга океанографического состояния и биопродуктивности вод зал. Петра Великого. Относительно средних многолетних данных можно будет оценивать степень пространственно-временной аномальности параметров режима конкретных лет. Результаты работы и полученные в ней выводы могут быть востребованы при изучении продукционных процессов, прогнозировании запасов и динамики промысловых объектов, а также для разработки рекомендаций по их рациональному использованию.

Основные черты гидрохимического режима зал. Петра Великого определяются свободным водообменом с прилегающей частью Японского моря, активным водообменом внутри залива, хорошей аэрацией, обилием растительности и животного мира, интенсивностью прохождения фотосинтеза и окислительных процессов в теплое время года, речным стоком, влиянию которого подвержены почти все бухты и заливы, особенно вершины вторичных заливов – Уссурийского и в большей степени Амурского.

Речной сток в зал. Петра Великого создает не только своеобразное распределение солености и плотности, но и приносит большие количества солей азота, кальция, кремния, фосфора, содержание которых в водах залива значительно выше, чем в открытом море. Локальные изменения солености и плотности, большое термическое расслоение, малые глубины обуславливают сложную динамику вод в зал. Петра Великого. Ряд этих факторов приводит к усилению процессов перемешивания. Все это отражается на распределении биогенных элементов, в частности силикатов.

Распределение силикатов в водах зал. Петра Великого неоднородно. Материковый сток (источник солей фосфора и кремния) оказывает влияние на изменение запаса питательных солей в морской воде.

На поверхности кремния много (воздействие речного стока), с глубиной их меньше. Начиная с 50 м, наблюдается увеличение содержания кремния, что связано с накоплением на глубине кремнекислоты. Максимум кремния наблюдается осенью.

По данным П.П. Воронкова (1933–1934 гг.), содержание силикатов на поверхности составляет 168–728 мкг/л, на придонном горизонте – до 1590 мкг/л.

В связи с тесной зависимостью содержания кремнекислоты от материкового стока максимум ее отмечается в летний период во время наибольшего речного стока (июль-август, более 1000 мкг/л), минимум – зимой, когда речной сток наименьший (менее 200 мкг/л). В придонном слое сложный характер распределения кремния связан с общими динамическими и циркуляционными факторами. Общий фон содержания кремния в придонном слое больше, чем на поверхности.

В таблице представлены данные по содержанию кремния в водах зал. Петра Великого в период с 1975 по 1983 гг. [2].

**Среднемесячные концентрации кремния в водах зал. Петра Великого
с апреля по декабрь 1975–1983 гг.
Average concentration of silicon in the waters of Peter the Great Bay
from April to December 1975–1983 years**

Акватория	Кремний, мкг/л	
	Поверхностный слой	Придонный слой
Прибрежная зона	290–1900	380–1300
Открытая часть залива	580–950	300–1350

Объекты и методы исследований

Для анализа закономерностей распределения кремния в водах зал. Петра Великого использованы данные наблюдений, собранные из всех доступных источников (учреждений Гидрометслужбы, ТИНРО, ТУРНИФ, Гидрографической службы, Академии наук) за период с 1925 по 2006 гг. и дополненные последними исследованиями в 2006–2014 гг. (рис. 1).

Особенности пространственно-временного распределения океанографических параметров рассмотрены на основе обработки исторической информации в пределах трапеций (квадратов) 10' по широте и долготе. В каждом из квадратов на стандартных горизонтах были рассчитаны среднее многолетнее месячное значение, максимум, минимум и среднее квадратическое отклонение исследуемого параметра (кремний). Указанные статистики относились к центрам соответствующих квадратов.

Основные результаты и их анализ

Вертикальное распределение кремния в водах зал. Петра Великого

На вертикальное распределение кремния в толще вод залива оказывают последствия жизнедеятельности кремниевых организмов (поглощение в процессе развития и регенерация кремния из продуктов их распада), вертикальная осенне-зимняя конвекция, горизонтальный и вертикальный перенос вод, различная интенсивность приливных и неперриодических течений, вихреобразование, а также связанное с ними турбулентное перемешивание вод.

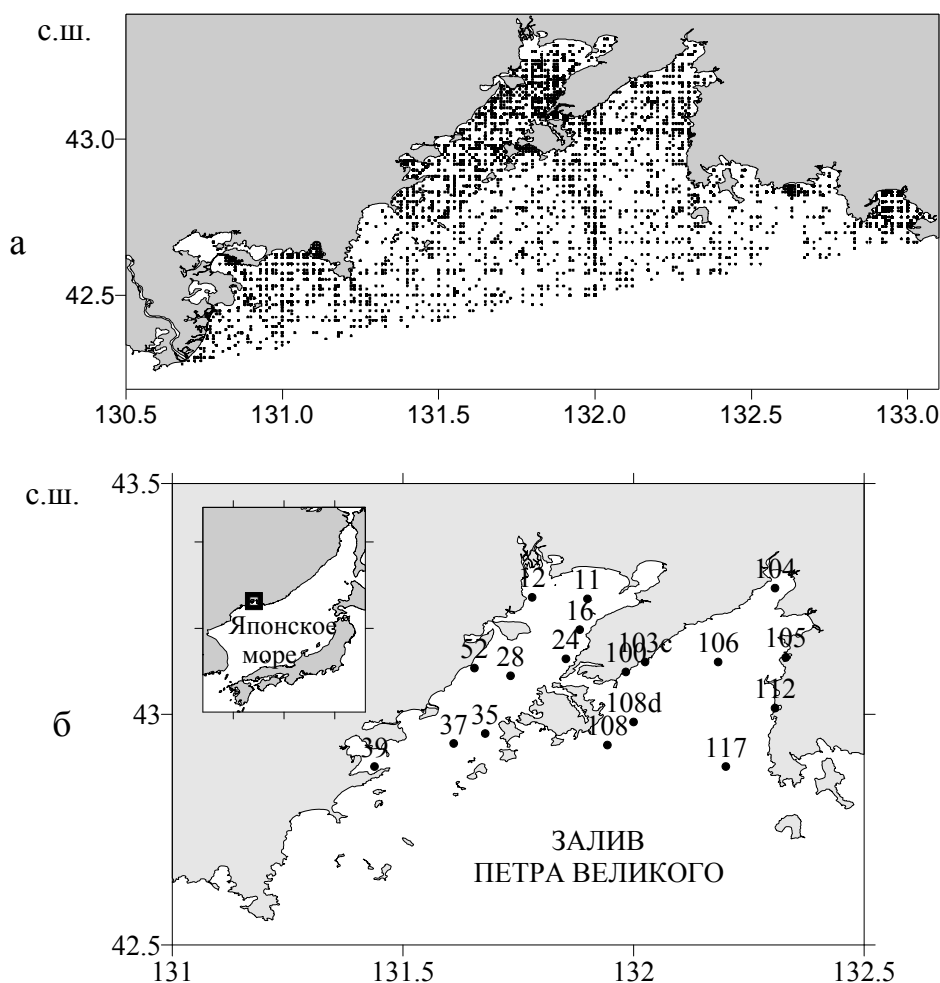


Рис. 1. Схема расположения океанографических станций в зал. Петра Великого:
 а – общее количество станций; б – станции ОГСН в Амурском и Уссурийском заливах
 Fig. 1. Location scheme oceanographic stations in the Peter the Great Bay:
 а – the total number of stations used; б – OGOS station in the Amur and Ussuri bays

Для периода с декабря по февраль-март в толще вод зал. Петра Великого, как правило, наблюдается гомогенное распределение кремния. Это связано с мелководностью района исследования и благоприятными условиями для хорошего развития конвекции. Поэтому в этот период года в заливе не выделяются какие-либо особенности в вертикальном распределении силикатов (рис. 2).

В теплый период года главная крупномасштабная особенность вертикального распределения кремния в водах зал. Петра Великого заключается в том, что на подповерхностных горизонтах (10–20 м) выделяется слой с пониженным содержанием силикатов. Весной и летом в верхнем слое вод (за счет вегетации фитопланктона) формируются минимальные содержания кремнекислоты. Более того, по мере прогрева верхнего слоя вод и потребления биогенных веществ на поверхности моря интенсивность вегетации фитопланктона смещается на подповерхностные горизонты. Как следствие, происходит формирование подповерхностного минимума силикатов. Только в поверхностных водах залива этот дефицит силикатов пополняется за счет стока рек. Как правило, подповерхностный минимум силикатов в зал. Петра Великого проявляется на горизонтах 10–20 м. По мере дальнейшего роста глубин на средних многолетних профилях вертикального распределения выделяется однотипное распределение, для которого характерен рост содержания силикатов с глубиной.

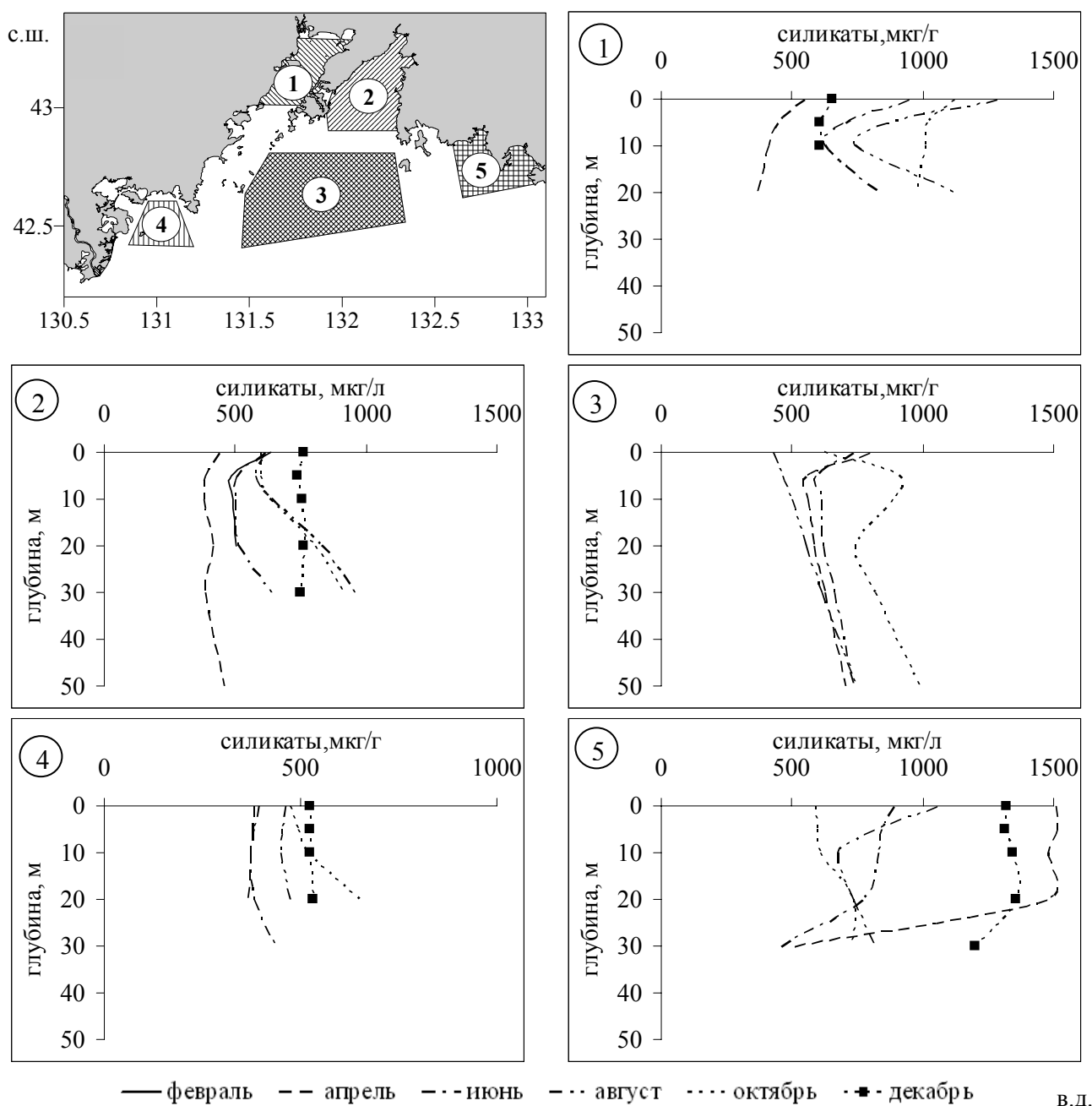


Рис. 2. Вертикальное распределение силикатов (мкг/л)

в отдельных районах зал. Петра Великого: номера и границы районов

Fig. 2. Vertical distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) in some areas of the Peter the Great Bay: number and border areas

Осенью и в начале зимы, когда существенно понижается температура воздуха и увеличивается скорость ветра, на акватории залива происходит перестройка вертикального распределения, в результате которой постепенно (от поверхности до придонных горизонтов) происходит разрушение отмеченной выше для теплого периода года структуры вертикального распределения силикатов.

Следует также отметить, что все изложенное основывается на средних многолетних величинах. В конкретные годы отдельные элементы представленной выше структуры вертикального распределения кремния могут быть выражены более ярко. Более того, их вертикальное распространение и значения градиентов также могут быть существенно выше либо ниже.

Сезонная изменчивость содержания кремния в водах зал. Петра Великого

Внутригодовые изменения содержания кремния в водах зал. Петра Великого зависят от сложного взаимодействия гидрологических, гидрохимических, динамических и биохимических процессов. В прибрежной части моря главное влияние на его содержание оказывает изменчивость материкового стока. По мере удаления от берегов на особенности внутригодового распределения кремния начинают больше влиять изменения крупномасштабной циркуляции вод, вихри и меандры локальных течений, а также процессы осенне-зимней конвекции. Жизнедеятельность диатомового фитопланктона, являющегося основным потребителем кремния, также имеет свои внутригодовые особенности, обусловленные активной вегетацией в теплый период года и существенным ее снижением зимой.

Имеющиеся средние многолетние данные (рис. 3) позволяют выделить следующие закономерности внутригодовой изменчивости кремнекислоты в водах зал. Петра Великого.

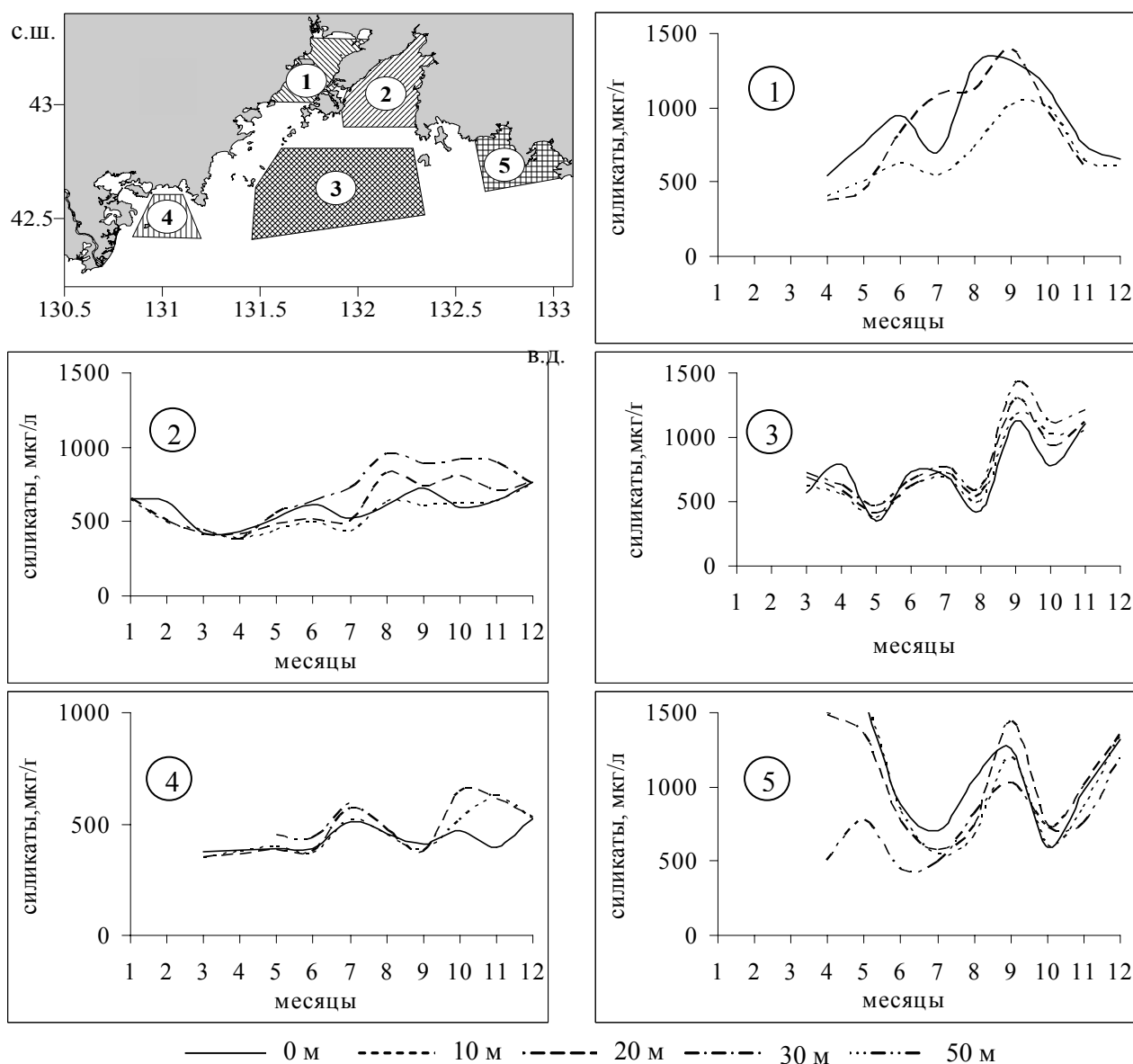


Рис. 3. Сезонные изменения силикатов (мкг/л)

в отдельных районах залива Петра Великого: номера и границы районов

Fig. 3. Seasonal changes silicates ($\mu\text{g/l}$) in some areas of the Peter the Great Bay: number and border areas

Минимальный размах внутригодовой изменчивости силикатов наблюдается в толще вод заливов Уссурийский и Посыета, где он не превышает 300–600 мкг/л (см. рис. 3). На акваториях, режим которых существенно зависит от речного стока, сезонные колебания силикатов существенно увеличиваются и достигают, например, в заливах Амурский, Восток и Находка 700–1000 мкг/л (см. рис. 3).

В мористой глубоководной части зал. Петра Великого сезонные вариации силикатов достигают 1000 мкг/л (см. рис. 3). Так как колебания силикатов здесь совершаются синхронно на всех горизонтах рассматриваемой толщи вод, то можно предположить, что сезонная изменчивость в глубоководной части зал. Петра Великого имеет адвективную природу.

Только в водах Амурского зал. наблюдается четко выраженная годовая гармоника в ходе сезонных изменений силикатов. Их максимальное содержание, как следует из рис. 3, хорошо согласуется с изменчивостью речного стока, для которого максимальные значения наблюдаются в августе. Минимальное содержание силикатов выделяется в осенне-зимний период (когда сток рек минимален).

Отмеченные выше закономерности с правильной годовой гармоникой сезонных вариаций содержания силикатов, как следует из рис. 3, не наблюдаются в толще вод остальной и преобладающей части зал. Петра Великого.

Характерной чертой внутригодовых изменений силикатов является присутствие локальных экстремумов во всех районах обобщения данных. Возможно, что основной причиной этого является недостаточное в настоящее время для обобщения количество исходных данных в отдельные месяцы, а также влияние не отфильтрованной межгодовой изменчивости содержания силикатов.

Следует также отметить, что на подповерхностных и придонных горизонтах размах сезонных колебаний кремнекислоты существенно не уменьшается.

Пространственно-временное распределение кремния в водах зал. Петра Великого

В поверхностном слое зал. Петра Великого в течение года наблюдается однотипное пространственное распределение кремния, отличительной чертой которого является наличие максимальных значений в прибрежных районах северной периферии исследуемой акватории. В мористой глубоководной части залива, как правило, содержания кремния существенно ниже (рис. 4).

В основном эти различия связаны с тем, что влияние стока рек на гидрологический режим вод зал. Петра Великого ограничивается прибрежными мелководными участками акватории.

На горизонтах 20, 30 и 50 м (рис. 5, 6, 7) пространственное распределение силикатов определяется адвекцией вод из глубоководной части Японского моря, вертикальной протяженностью отдельных элементов структуры вод, зависящей от сезона года, а также интенсивностью развития фитопланктона.

Влияние стока материковых вод на этих горизонтах практически не сказывается, так как в теплый период года между верхним (хорошо перемешанным и прогретым) слоем и придонными водами существует слой сезонного пикноклина, препятствующий вертикальному обмену характеристикам.

В то же время зимой, когда конвекция охватывает всю толщу вод залива, материковый сток минимален. Все перечисленные составляющие баланса кремния в зал. Петра Великого подвержены воздействию динамических процессов, происходящих в толще вод, а также существенно изменяющихся атмосферных процессах и явлений над рассматриваемой акваторией.

Минимальные содержания кремния в слое 20–50 м (не превышающие 360–440 мкг/л) наблюдаются в конце зимы (рис. 5, 6, 7).

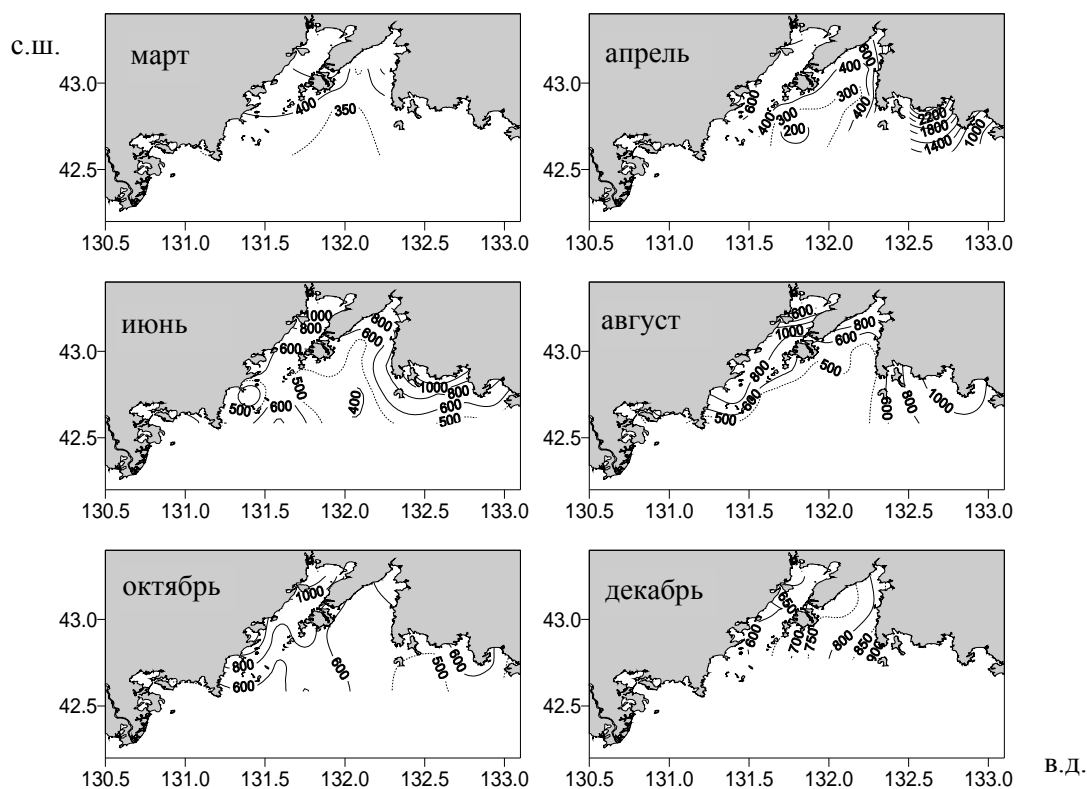


Рис. 4. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на поверхности вод зал. Петра Великого
Fig. 4. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the face of the waters Peter the Great Bay

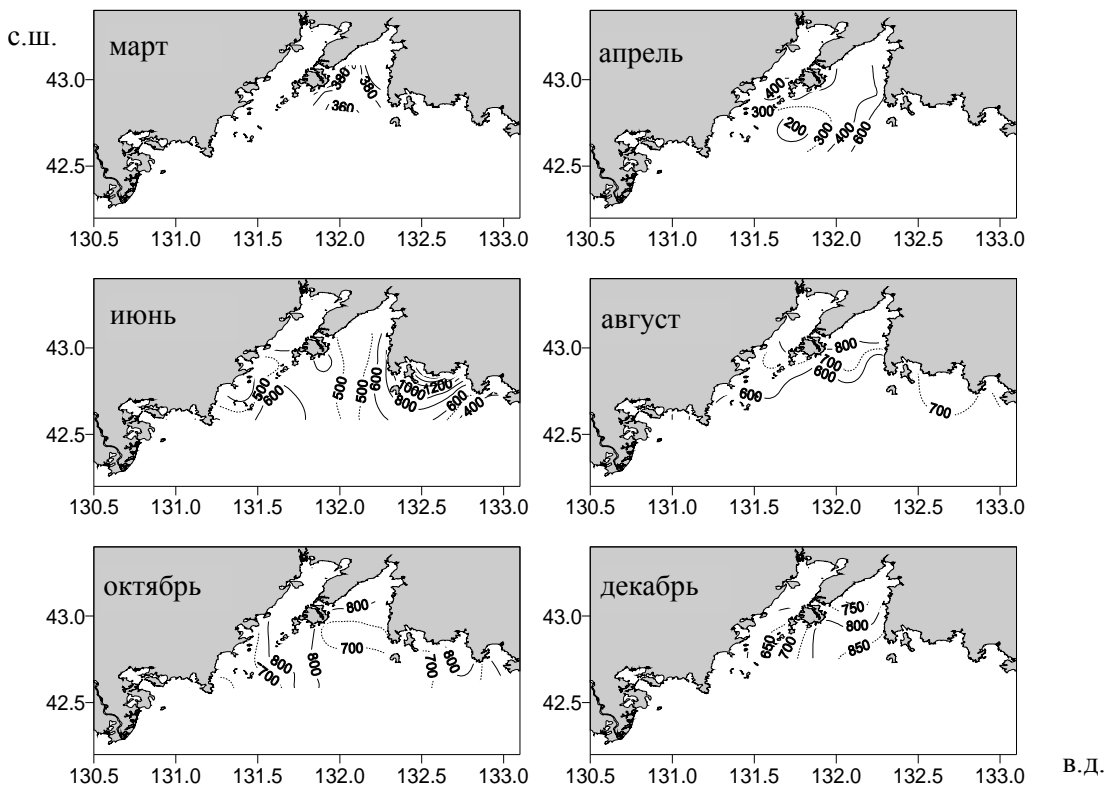


Рис. 5. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 20 м в зал. Петра Великого
Fig. 5. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the horizon of 20 m in the Peter the Great Bay

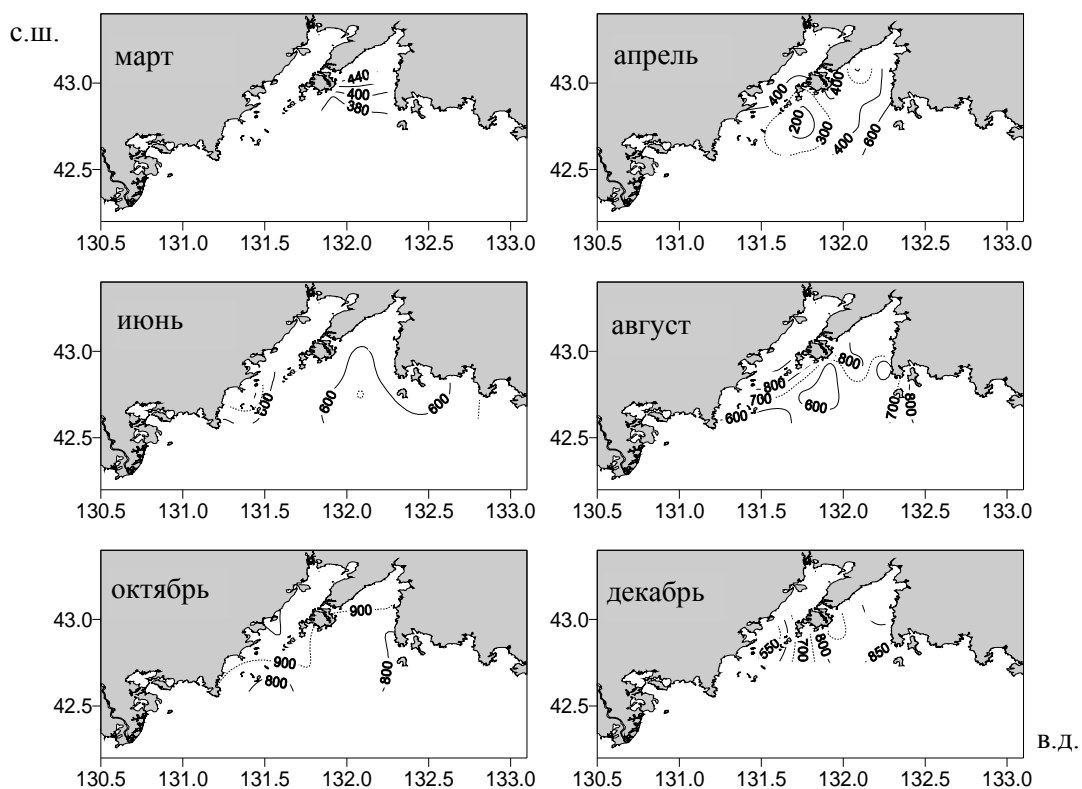


Рис. 6. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 30 м в зал. Петра Великого
 Fig. 6. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the horizon of 30 m in the Peter the Great Bay

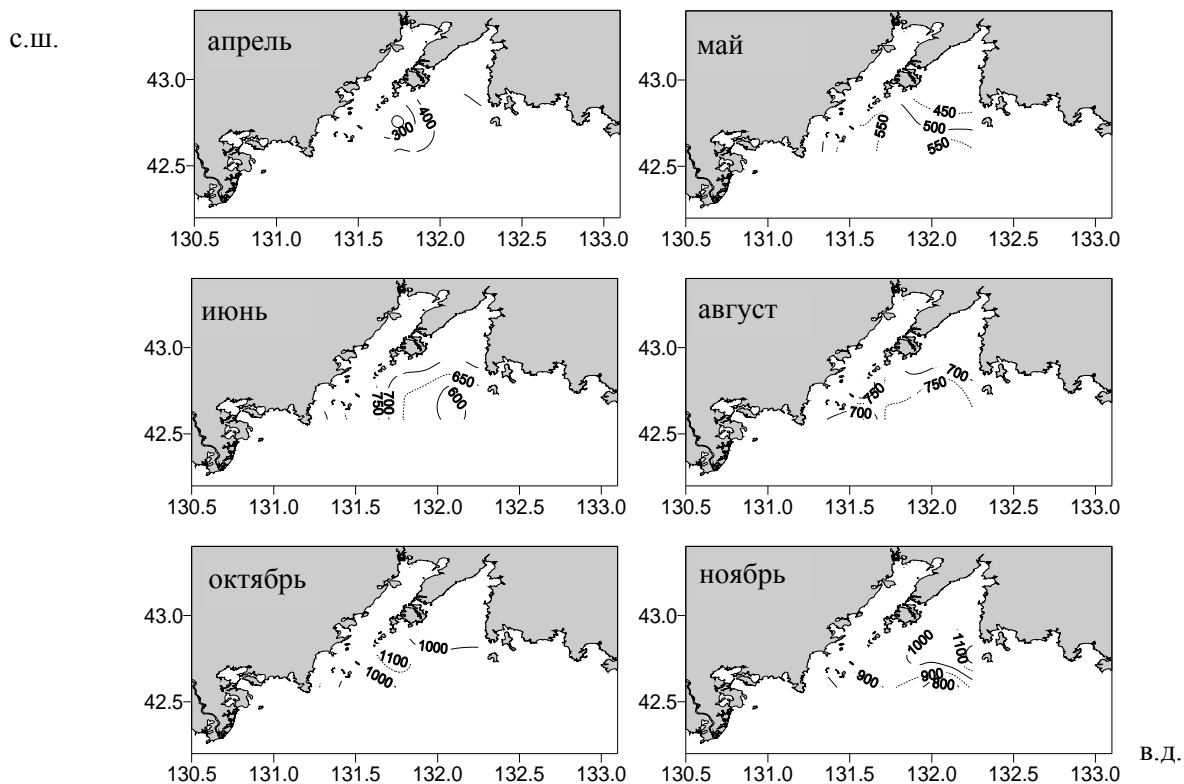


Рис. 7. Сезонное распределение силикатов (мкг/л) на горизонте 50 м в зал. Петра Великого
 Fig. 7. Seasonal distribution of silicates ($\mu\text{g/l}$) on the horizon of 50 m in the Peter the Great Bay

Затем содержание кремния в слое 20–50 м начинает увеличиваться и достигает своего максимума (700–800, 800–900 и 1000–1100 мкг/л соответственно на горизонтах 20, 30 и 50 м) в октябре. Наиболее вероятно, что этот рост содержания кремния в слое 20–50 м в первую очередь связан с регенерацией кремния при разложении остатков биологических объектов, перемещающихся из поверхностного слоя вод. Сказывается здесь (хоть и в меньшей мере) также и передача кремния на нижележащие горизонты из поверхностного слоя вод, в котором содержание силикатов существенно зависит от стока рек. Однако уже в декабре (за счет конвективного обмена в толще вод зал. Петра Великого) содержание кремния на горизонтах 20, 30 и 50 м вновь начинает уменьшаться (см. рис. 5, 6, 7).

Выводы

Резюмируя изложенное, можно отметить:

- сформирована наиболее полная в настоящее время база данных по распределению кремния в водах зал. Петра Великого;
- на ее основе представлены закономерности вертикальной структуры (для каждого месяца) и особенности пространственно-временного распределения кремния по исследуемой акватории;
- на поверхности залива в течение года максимальные содержания кремния наблюдаются в прибрежных районах, что обусловлено материковым стоком. На подповерхностных горизонтах пространственное распределение кремния определяется адвекцией вод с высокими его содержаниями из глубоководной части Японского моря.

Представленные сведения о характере распределения кремния послужат основой для планирования исследований и гидрохимического мониторинга состояния вод зал. Петра Великого. Относительно средних многолетних данных можно будет оценивать степень пространственно-временной аномальности содержания кремния для конкретных лет и периодов. Результаты работы и полученные в ней выводы могут быть востребованы при изучении продукционных процессов, прогнозировании запасов и динамики промысловых объектов, а также для разработки рекомендаций по их рациональному использованию.

Список литературы

1. Лучин, В.А. Океанографический режим вод залива Петра Великого (Японское море) / В.А. Лучин, Е.А. Тихомирова, А.А. Круц // Изв. ТИНРО. – 2005. – Т. 140. – С. 130–169.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VIII. Японское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. – СПб., 2004. – 268 с.
3. Тихомирова, Е.А. Межгодовые изменения первичной продукции залива Петра Великого (Японское море) / Е.А. Тихомирова // Вестн. ДВО РАН. – 2012. – № 6. – С. 72–81.

Сведения об авторах: Азмухаметова Лариса Михайловна, старший преподаватель, e-mail: lorik-az@mail.ru;

Кошкин Сергей Анатольевич, магистрант.