Известия ТИНРО

2015 **Том 180**

УДК 556.541.45(265.54)

А.С. Важова, Ю.И. Зуенко*

Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр,
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВДОЛЬ ГРАДИЕНТА СОЛЕНОСТИ В ЭСТУАРИЯХ РЕК СУХОДОЛ И РАЗДОЛЬНАЯ (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

По данным гидрохимических исследований эстуариев двух рек бассейна зал. Петра Великого (Раздольная и Суходол), проведенных в 2010–2013 гг., определён знак продукционно-деструкционного баланса на различных участках эстуариев в разные сезоны. Отмечено, что изменения концентраций минеральных форм азота и фосфора по градиенту солёности имеют сходный характер и отражают основную закономерность, заключающуюся в том, что биогенные элементы, содержащиеся в речной воде, расходуются на продуцирование органического вещества преимущественно во внешних частях эстуариев, в то время как в их внутренних частях преобладают процессы минерализации органического вещества. Изменения концентрации ионов кремния определяются не только продукционно-деструкционными процессами, но и преобразованием неорганических соединений этого элемента. Так, во внешнем эстуарии р. Раздольной отмечен рост концентраций кремнекислоты с формированием приустьевого «силиконового пояса», концентрация кремнекислоты в котором превышает уровень её концентрации в речных водах, предположительно вследствие диссоциации малорастворимых соединений кремния при росте pH. Принципиальное различие баланса продукционно-деструкционных процессов во внутреннем и внешнем эстуариях может быть экологической основой для формирования в них разных экосистем, принципиально различных по структуре и функционированию.

Ключевые слова: эстуарий, биогенные элементы, продукционно-деструкционный баланс, залив Петра Великого, Раздольная, Суходол.

Vazhova A.S., Zuenko Yu.I. Patterns of nutrients distribution along salinity gradient in the estuaries of the rivers Sukhodol and Razdolnaya/Suifen (Peter the Great Bay, Japan Sea) // Izv. TINRO. — 2015. — Vol. 180. — P. 226–235.

Sign of production-destruction balance is determined for different parts of two rivers estuaries in Peter the Great Bay (Razdolnaya/Suifen and Sukhodol) on the data of chemical samplings in different seasons of 2010–2013. For this purpose, the nutrients concentration dependence on ratio of river and sea waters mixing is determined. In the case of conservative behavior of nutrients, their concentration should have negative linear dependence on increasing salinity, but its non-linearity shows removal or addition of the nutrients by processes of biological production or destruction: negative deviations indicate production and positive deviations indicate destruction. The concentration of mineral nitrogen is close to zero everywhere in the estuaries in spring, so below the line of conservative behavior that is the evidence of active

* *Важова Анна Сергеевна, младший научный сотрудник, e-mail: anna.vazhova@gmail.com; Зуенко Юрий Иванович, доктор географических наук, заведующий лабораторией, e-mail: zuenko_yury@hotmail.com.*

Vazhova Anna S., junior researcher, e-mail: anna.vazhova@gmail.com; Zuenko Yury I., D.Sc., head of laboratory, e-mail: zuenko_yury@hotmail.com.

nitrogen consumption. Patterns of silicon and phosphorus distribution are similar to the distribution of nitrogen. Summer nutrients concentrations are mainly below the conservative values, as well, with exception of the areas at the river bar, so production prevails in the external estuaries of both rivers, but remineralization prevails in the lower parts of the internal estuaries in this season. In autumn, destruction of organic matter becomes more important in both estuaries, so heightened values of nutrients are observed in all their parts, in particular in the «silicon belt» of brackish water (≈ 13–17 eps). The silicon concentration increasing at the river bar (above the concentration in the river water) is the most significant in the Razdolnaya estuary which is generally poor by this nutrient. There is concluded that terrigenous nutrients of the river water are utilized for new production mostly in the external estuaries, whereas the process of organic matter mineralization dominates in the internal estuaries. Besides of the production-destruction processes, changes of the mineral silicon concentration are determined by transformation of its inorganic forms, as dissociation of low-soluble silicates to silicon acid under heightened pH. Principal difference of the production-destruction balance between the internal and external parts of estuary could be an ecological basis for formation of different ecosystems in these zones, with principally different structure and functioning patterns.

Key words: estuary, nutrient, production-destruction balance, Peter the Great Bay, Razdolnaya/Suifen River, Sukhodol River.

Введение

Биологическая продуктивность эстуариев выше продуктивности прилегающих к ним акваторий, что обусловлено поступлением в них большого количества терригенных биогенных веществ с материковым стоком. Это относится и к эстуариям зал. Петра Великого, в частности эстуариям рек Раздольная и Суходол, где на протяжении нескольких лет проводится мониторинг состояния экосистем, в том числе гидрохимических параметров.

Несмотря на очевидный источник поступления биогенных элементов в эстуарии, из многочисленных наблюдений за их распределением в эстуариях известно, что их концентрации не просто постепенно снижаются по мере разбавления речных вод морскими, но могут резко и разнонаправленно меняться под действием происходящих в самом эстуарии процессов: либо продуцирования органического вещества, в ходе которого из воды изымаются минеральные формы некоторых химических элементов, либо деструкции органики, в результате чего в воду поступают регенерированные биогенные вещества (Gordon et al., 1996; Eyre, Balls, 1999; Boonphakdee, Fujiwara, 2008; Süzal et al., 2008; Sarma et al., 2010; Лапин, 2011; Statham et al., 2012; и др.). Соотношение продукции и деструкции в эстуариях отличается высокой пространственной изменчивостью и к тому же меняется по сезонам, но механизмы этих изменений пока не ясны.

Для эстуария одной из крупнейших рек бассейна Японского моря — р. Раздольной — также установлен факт влияния продукционно-деструкционных процессов на распределение биогенных элементов, что позволило В.И. Звалинскому (Звалинский и др., 2005) получить ориентировочные оценки первичной продукции. Однако здесь также не определены основные черты пространственной и сезонной изменчивости продукционно-деструкционных процессов, особенно в отношении деструкции, которая вообще не учитывается в известной схеме эстуария как трёхступенчатого маргинального фильтра, предложенной А.П. Лисицыным (1994). В ходе интенсивных исследований эстуариев зал. Петра Великого, проводимых в последние годы (Семкин и др., 2012), эти вопросы также пока не были рассмотрены.

Данные гидрохимических измерений, накопленные в ходе мониторинга эстуариев рек Раздольной и Суходол, позволяют выполнить предварительные оценки знака продукционно-деструкционного баланса на различных участках эстуариев и отметить особенности его сезонных изменений, что и является целью данной работы. Для этого рассмотрены изменения концентраций биогенных элементов в поверхностном слое эстуариев по направлению от реки к морю относительно консервативного сценария таких изменений, обусловленного только разбавлением речных вод, и определены типичные для разных сезонов участки преобладания продукционных либо деструкционных процессов в пределах основных зон эстуариев, выделенных по структуре вод.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили данные, полученные в 2010–2013 гг. при проведении гидролого-гидрохимических съемок эстуарных зон рек бассейна зал. Петра Великого: Раздольная и Суходол (см. таблицу, рис. 1). Съемки характеризовали разные фазы водного режима рек: зимнюю межень (декабрь), летний паводок (июль-август) и переходные фазы.

Даты проведения гидролого-гидрохимических съемок в эстуариях
Dates of sampling

Река	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Раздольная	30 августа	30 июня	22 мая 31 октября	10 сентября
Суходол	4–5 августа	5 июля 25 августа	25 апреля 8 августа 4 сентября 25 октября 25 декабря	

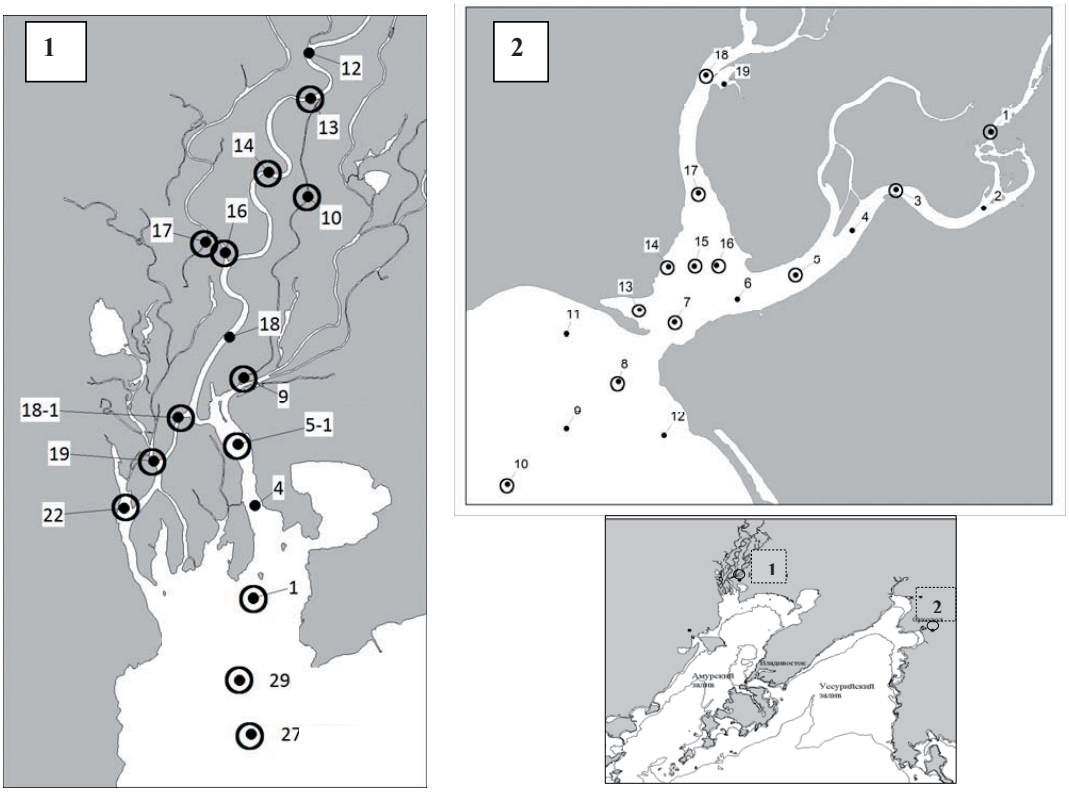

Рис. 1. Схемы исследования эстуариев рек зал. Петра Великого: Раздольная (**1**) и Суходол (**2**). *Точками* обозначены все исследованные станции, *кружками* — станции, на которых измеряли гидрохимические параметры

Fig. 1. Scheme of surveys in the estuaries of Razdolnaya/Suifen (**1**) and Sukhodol (**2**). *Circles* — sites of chemical samplings

Температуру и соленость измеряли океанологическим зондом YSI-6600V2, с интервалом по глубине 0,5 м, прозрачность — диском Секки, пробы для лабораторных определений pH и концентраций биогенных элементов (фосфатов, силикатов, нитритов и нитратов) отбирали на поверхности и у дна (на глубинах более 1 м) при помощи батометра Нискина. Лабораторные гидрохимические определения выполнены по стандартным методикам (Руководство ..., 2003), концентрации биогенных элементов измеряли с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-1800 (Япония). Результаты из-

мерений концентраций биогенных элементов приводятся в размерности микромоль на литр (мкМ/л).

По структуре вод эстуарии разделены на внутреннюю и внешнюю части. Поверхностный слой во внутреннем эстуарии занят пресной или почти пресной речной водой, а у дна (если глубина достаточно большая) находится клин солоноватых вод. Во внешнем эстуарии поверхностный слой занят шлейфом солоноватых вод, а придонный слой занимают солёные морские воды (Зуенко, 2008). Анализ структуры вод исследованных эстуариев выполнен одним из методов кластерного анализа — методом статистического TS-анализа (Мамаев, 1987) — с использованием такого свойства водных масс, как однородность по температуре и солёности. Водные массы соответствуют TS-классам максимальной повторяемости на статистических TS-диаграммах или классам максимальной повторяемости на S-гистограммах, а границы между ними — TS- или S-классам минимальной повторяемости.

Для определения влияния продукционно-деструкционных процессов на концентрацию биогенных элементов в водах эстуариев рассматривали зависимость этого показателя от степени смешения речных и морских вод. В случае консервативного поведения растворённого в воде вещества изменение его концентрации по направлению градиента солёности должно происходить пропорционально росту солености, а зависимость концентрации от солёности имеет вид линейной функции. Если же в процессе разбавления речной воды происходит изъятие либо добавление исследуемого вещества, то зависимость его концентрации от солености оказывается нелинейной (Звалинский и др., 2005). Отклонения наблюдаемых концентраций от прямой линейной зависимости от солёности указывают на наличие продукционных (для биогенных элементов — при отклонении ниже прямой) либо деструкционных (при отклонениях выше прямой) процессов.

Результаты и их обсуждение

Оба исследованных эстуария имеют характерную структуру вод с комбинациями водных масс по вертикали, характерными для внутреннего и внешнего эстуариев, причём положение границы между этими типами структуры вод меняется по сезонам. Весной, в условиях половодья и пониженного уровня моря, пресные воды занимают почти всё русло, оттесняя солоноватые воды к самому устью. В летние месяцы, несмотря на значительный речной сток, граница внутреннего эстуария смещается далеко вверх по руслам рек, а их приустьевые участки занимают слабоопресненные воды. Осенью область структуры вод, характерной для внутреннего эстуария, расширяется в сторону моря, и в конце октября даже отмечен выход пресных вод за пределы русла реки (рис. 2, 3).

На поверхности эстуария р. Суходол солёность обычно начинает возрастать за 1–2 км до бара, лишь во время весенних паводков речные воды распространяются до самого бара, при этом соленость резко возрастет уже в море (рис. 4). На поверхности эстуария р. Раздольной летом солёность начинает увеличиваться ещё раньше, в 2–5 км от бара, но весной и осенью зона распространения олигалинных вод достигает бара (рис. 5).

Концентрации биогенных веществ меняются вдоль русла более сложным образом, непропорционально росту солёности, и на графиках зависимости от солёности отклоняются от прямых консервативного поведения (рис. 6).

Наиболее неконсервативны изменения концентраций солей азота, что, вероятно, обусловлено тем, что азот обычно является лимитирующим фотосинтез элементом, поэтому нередко его концентрации снижаются до аналитического нуля, а при минерализации органики вновь резко возрастают. Весной на всём протяжении эстуариев обеих рек концентрации минерального азота ниже значений, ожидаемых для консервативного поведения, причём в эстуарии р. Раздольной они близки к нулю, т.е. в этот сезон происходит активное потребление азота, свидетельствующее о преобладании продукционных процессов. Летом концентрации азота на поверхности внутренних эстуариев выше консервативных, т.е. там преобладает реминерализация приносимого

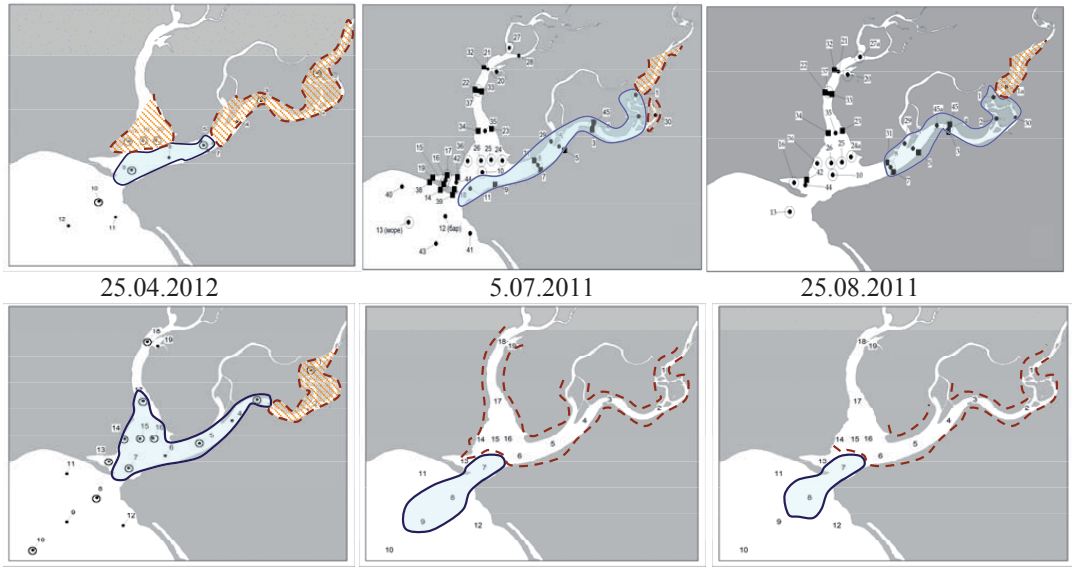

Рис. 2. Расположение речных вод (выделены *пунктиром*), областей внутреннего эстуария (выделена *сплошной линией*) и внешнего эстуария (*остальные станции*) в эстуарии р. Суходол

Fig. 2. Location of the river zone (*dotted line*) and the zones of internal estuary (*solid line*) and external estuary (*other stations*) in the Sukhodol estuary

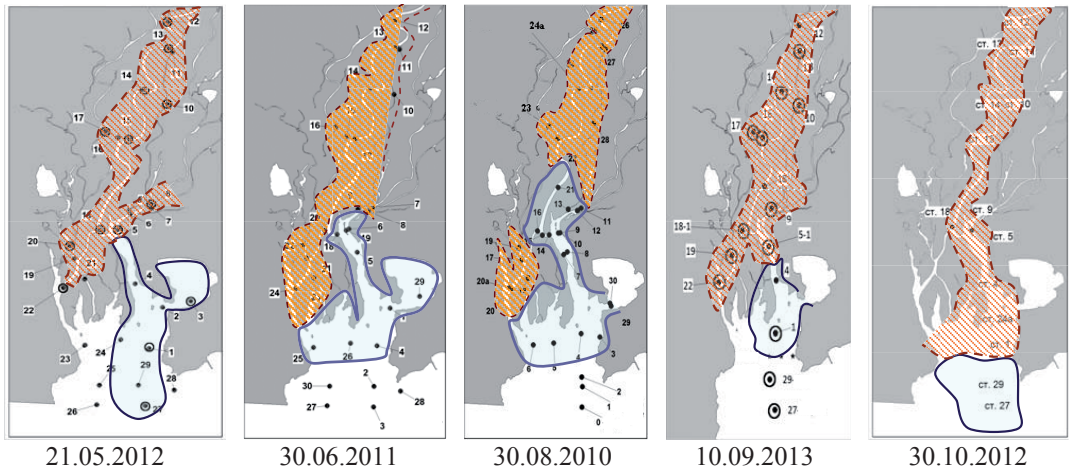

Рис. 3. Расположение речных вод (выделены *пунктиром*), областей внутреннего эстуария (выделены *сплошной линией*) и внешнего эстуария (*остальные станции*) в эстуарии р. Раздольной

Fig. 3. Location of the river zone (*dotted line*) and the zones of internal estuary (*solid line*) and external estuary (*other stations*) in the Razdolnaya/Suifen estuary

реками органического вещества, но в целом по эстуариям и в этом сезоне продукционные процессы преобладают. Осенью, напротив, резкий рост концентраций азота в верхней части внутренних эстуариев с сохранением значений, превышающих консервативные, почти на всём протяжении эстуариев свидетельствует о преобладании процессов деструкции органического вещества.

Изменения концентраций минерального фосфора (фосфатов) по градиенту солёности происходят сходным образом: также отмечается преобладание продукционных процессов весной, сочетание деструкции во внутреннем эстуарии и продукции во внешнем эстуарии летом и преобладание деструкционных процессов осенью.

Изменения концентраций минерального кремния (кремнекислоты, силикатные ионы) по градиенту солёности своеобразны и во многом противоположны изменениям

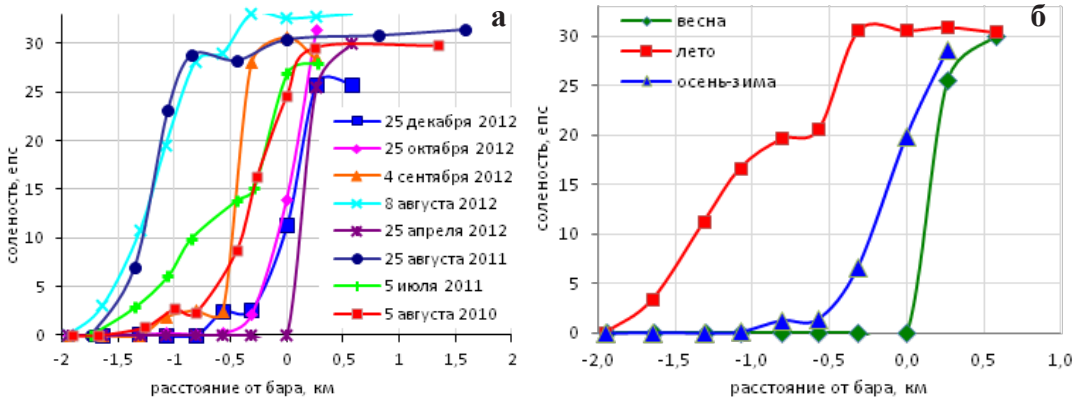

Рис. 4. Изменения солености на поверхности эстуария р. Суходол вдоль главного русла в периоды разных съёмок (**а**) и в среднем по сезонам (**б**)

Fig. 4. Salinity changes at the surface along the main channel of the Sukhodol estuary for certain surveys (**а**) and averaged by seasons (**б**)

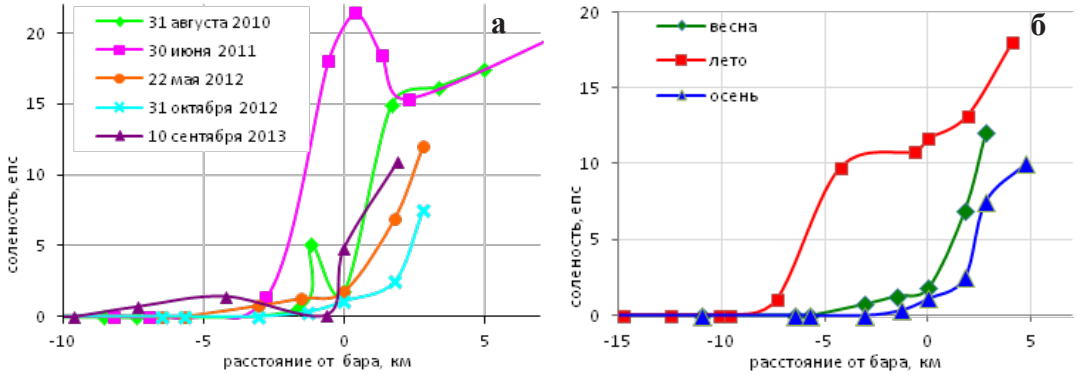

Рис. 5. Изменения солености на поверхности эстуария р. Раздольной вдоль главного русла в периоды разных съёмок (**а**) и в среднем по сезонам (**б**)

Fig. 5. Salinity changes at the surface along the main channel of the Razdolnaya/Suifen estuary for certain surveys (**а**) and averaged by seasons (**б**)

азота и фосфора. Весной концентрация кремния в эстуарии р. Раздольной выше консервативных значений, а в эстуарии р. Суходол в среднем мало меняется относительно начальной концентрации в речной воде. Летом в эстуарии р. Суходол концентрации кремния меняются относительно консервативного сценария так же, как и азота и фосфора, а в эстуарии р. Раздольной — противоположным образом: во внутреннем эстуарии они ниже консервативных значений, а во внешнем эстуарии — выше их. И лишь осенью характер изменений концентраций кремния в целом соответствует изменениям таковых азота и фосфора, т.е. определяется преобладанием деструкционных процессов. Таким образом, в эстуарии р. Раздольной во все сезоны преобладают процессы минерализации кремния, в результате чего концентрации минерального кремния увеличиваются сверх начальных концентраций в речной воде. Весной и летом максимальные концентрации кремния наблюдаются вблизи устья реки, а осенью — во внутреннем эстуарии, при этом летом отмечен резкий рост концентраций кремния в верхней части внешнего эстуария, где при солёности примерно 13–17 епс формируется «силиконовый пояс» (рис. 7).

Сходный характер изменений концентраций минеральных форм азота и фосфора по градиенту солёности в обоих исследованных районах отражает основную закономерность баланса процессов продукции и деструкции органического вещества в эстуариях, которая, судя по полученным результатам, состоит в том, что биогенные элементы, всегда содержащиеся в речной воде в большом количестве, расходуются на фотосинтез на всей протяжённости эстуария, но преимущественно в его внешней части, а их регенерация при минерализации органического вещества происходит

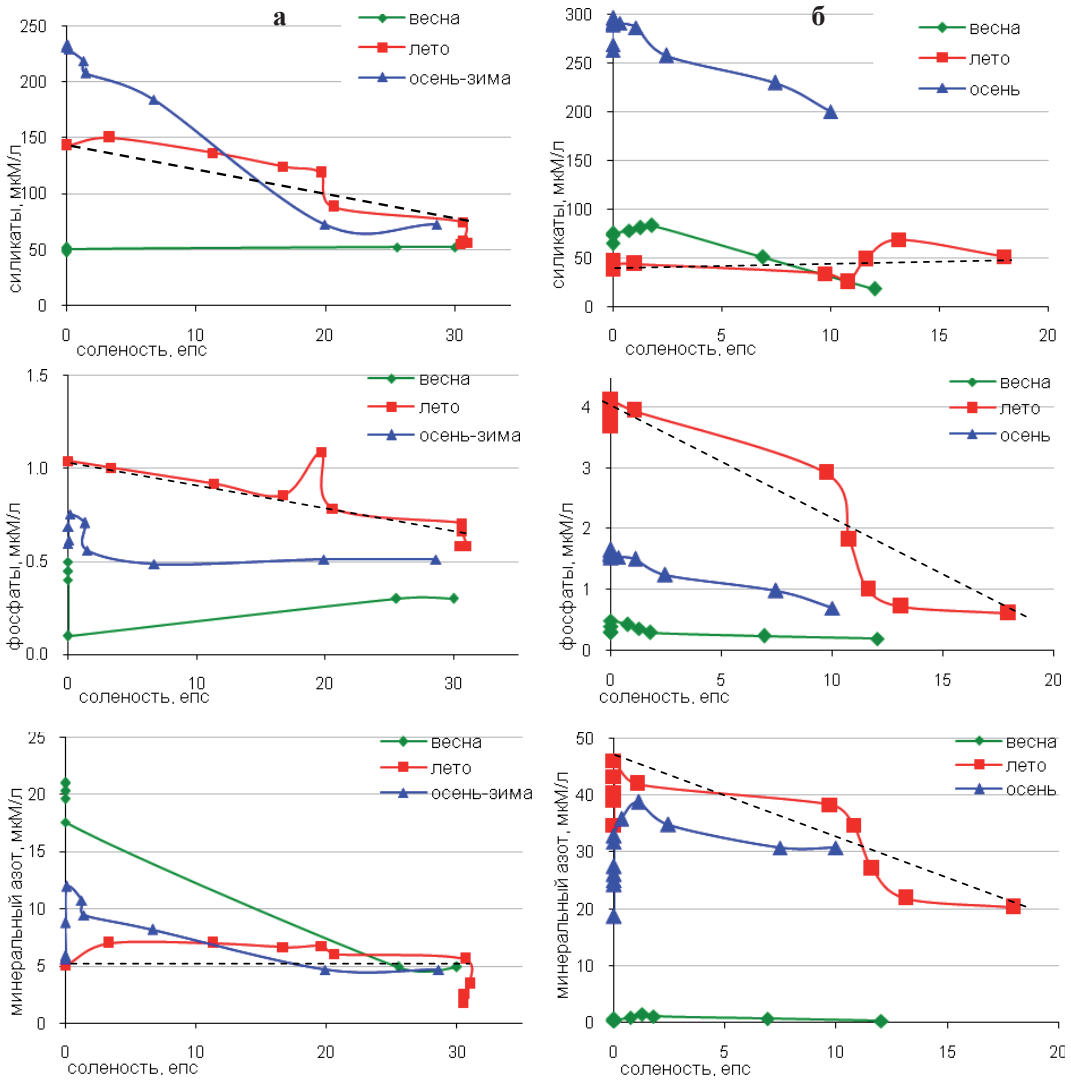

Рис. 6. Изменения средних по сезонам концентраций минеральных форм кремния, фосфора и азота (нитриты + нитраты) вдоль градиента солености на поверхности эстуариев рек Суходол (**а**) и Раздольная (**б**). Для лета показаны примеры прямых консервативного поведения биогенных элементов (*пунктирные линии*)

Fig. 6. Changes of the nutrients concentrations averaged by seasons along salinity gradient at the surface of the Sukhodol (**a**) and Razdolnaya/Suifen (**б**) estuaries. Examples of conservative behavior of nutrients are shown for summer only as strait *dotted lines*

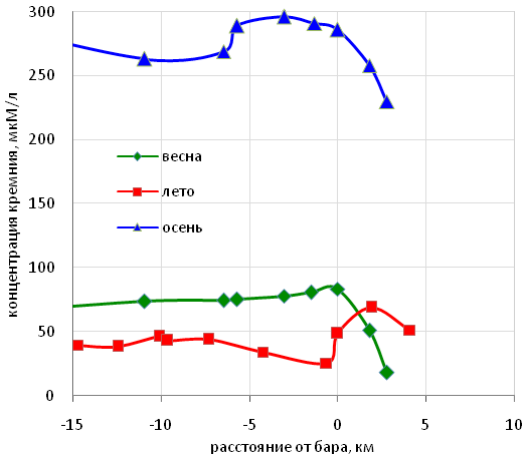

Рис. 7. Изменения средних по сезонам концентраций кремния на поверхности эстуария р. Раздольной вдоль русла реки

Fig. 7. Changes of the silicon concentration averaged by seasons at the surface of the Razdolnaya/Suifen estuary along the main channel

преимущественно во внутренней части эстуария. При этом знак продукционно-деструкционного баланса в различных частях эстуариев и в эстуариях в целом может существенно различаться по сезонам, очевидно, в зависимости от химического состава речных вод. Повсеместное преобладание продукционных процессов весной указывает на низкое содержание растворённого и взвешенного органического вещества в весенних речных водах. Летом процессы деструкции активизируются во внутреннем эстуарии, что может быть обусловлено как ростом органического загрязнения речных вод, так и формированием внутриэстуарного источника регенерированных биогенов в придонном слое внутреннего эстуария, однако во внешнем эстуарии по-прежнему преобладают продукционные процессы. Осенью процессы минерализации органики в эстуарии настолько активизируются, что продукционные процессы лишь компенсируют, причём не всегда полностью, поступление регенерированных питательных солей, и в целом баланс смещается в сторону деструкции. Таким образом, эстуарии обеих исследованных рек являются одновременно и, по выражению А.П. Лисицына (1994), «маргинальными фильтрами», утилизирующими терригенный ионный сток рек, и «фабриками биогенов», восстанавливающими минеральные формы биогенных элементов, с тенденцией сезонной экспансии минерализации от весны к осени.

Изменчивость концентраций силикатов требует особого рассмотрения. Кремний в эстуарных экосистемах обычно не является лимитирующим фотосинтез элементом, поэтому его концентрации не вполне определяются продукционно-деструкционным балансом, но в значительной степени зависят от особенностей химического состава речных вод. Весной, при низких концентрациях лимитирующих биогенных элементов в речной воде, концентрация кремния избыточна в водах обеих рек и поэтому мало меняется при прохождении эстуария, несмотря на преобладание продукционных процессов. Летом же соотношение биогенных элементов во внутреннем эстуарии р. Раздольной меняется в пользу азота и фосфора за счёт их регенерации, в то время как концентрация кремния во внутреннем эстуарии снижается. По-видимому, расход этого элемента не компенсируется рециклингом в той же степени, как расход азота и фосфора, поскольку терригенная органика не содержит кремний в нужной пропорции. Резкий рост концентраций кремния во внешнем эстуарии с формированием «силиконового пояса» предположительно обусловлен усилением диссоциации малорастворимой в воде кремниевой кислоты при повышении pH (Гусакова, 2004).

Сезонные изменения продукционно-деструкционного баланса в различных структурных зонах эстуариев происходят на фоне сезонных перемещений самих структурных зон. Смещение границы между разными типами вертикальной структуры вод от весны к лету вверх по течению и обратное их движение от лета к осени не обнаруживает связи с сезонными изменениями водности рек и, по-видимому, обусловлено сезонными изменениями уровня моря: его повышением летом и понижением зимой. В зал. Петра Великого средний годовой ход уровня моря превышает 0,3 м*, причём колебания уровня значительно усиливаются во время сгонов и нагонов, высота которых может превышать 1 м (летом преобладают нагоны, а зимой — сгоны). Осеннее расширение области внутреннего эстуария в направлении моря ещё более усиливает экспансию процессов деструкции органического вещества в этот сезон.

В исследованиях бюджета биогенных элементов, выполненных в других эстуариях (Cabecadas et al., 1999; Eyre et al., 1999; Boonphakdee, Fujiwara, 2008; Süzal et al., 2008; Sarma et al., 2010), пространственно-временные изменения баланса продуцирования и минерализации органического вещества не рассматриваются. Однако известно, что именно во внешнем эстуарии происходит утилизация большей части биогенного стока рек (Лисицын, 1994; Звалинский и др., 2005). Выявленные на примере эстуариев двух рек зал. Петра Великого особенности неконсервативного поведения биогенных элементов соответствуют этой закономерности. По-видимому, высокая продукцион-

* Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 8: Японское море, вып. 1: Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоиздат, 2003. 398 с.

ная способность внешней части эстуария является универсальным свойством всех эстуарных экосистем. Что же касается минерализации органического вещества, то обычно при исследовании продукционных процессов в эстуариях вклад рециклинга биогенных элементов, происходящего внутри самого эстуария, вообще не принимается во внимание, а все выносимые рекой биогенные элементы рассматриваются как терригенные (Ефимова, Цыцарин, 2002; Звалинский и др., 2005; Лапин, 2011; Statham, 2012). Однако, судя по результатам, полученным для эстуариев рек Раздольная и Суходол, в эстуариях имеются участки с преобладанием деструкции, а в осенний сезон деструкционные процессы преобладают над продукционными и в эстуариях в целом. Таким образом, эстуарии являются не только утилизаторами терригенного ионного стока, но и источниками минеральных форм биогенных элементов, причём деструкцию поступающего с речным стоком или образующегося на месте органического вещества следует рассматривать как одну из важнейших экологических функций эстуариев.

Вклад регенерированных в эстуариях биогенных элементов в процесс синтеза нового органического вещества ещё предстоит оценить, но в любом случае рециклинг увеличивает продукцию эстуариев относительно уровня потенциальной продукции, обеспечиваемого терригенным ионным стоком рек. Вероятно, продукционный потенциал многих эстуариев сильно недооценен из-за неучёта рециклинга. С другой стороны, принципиальное различие баланса продукционно-деструкционных процессов во внутреннем и внешнем эстуариях может быть экологической основой для формирования в них разных экосистем, принципиально различающихся по структуре и функционированию.

Выводы

В исследованных эстуариях изменения концентраций минеральных форм азота и фосфора по градиенту солёности имеют сходный характер, отражающий основную закономерность пространственного соотношения процессов продукции и деструкции органического вещества: биогенные элементы, содержащиеся в речной воде, расходуются преимущественно во внешних частях эстуариев, а минерализация органического вещества происходит в основном в их внутренних частях.

В исследованных эстуариях наблюдается тенденция ослабления продукции и усиления деструкции от весны к осени с постепенным расширением зоны преобладания деструкционных процессов.

В исследованных эстуариях распределение кремния лишь отчасти связано с продукционно-деструкционным балансом, а отчасти определяется процессами преобразования неорганических форм этого элемента: во внутренних частях эстуариев концентрации кремния относительно низкие, так как при минерализации терригенного органического вещества не высвобождается достаточного количества кремния, по сравнению с регенерацией азота и фосфора, а в их внешних частях, особенно во внешнем эстуарии р. Раздольной, отмечен рост концентрации кремнекислоты с формированием приустьевого «силиконового пояса», в котором концентрация кремния превышает его уровень в речных водах, предположительно вследствие диссоциации малорастворимых соединений кремния при повышении pH.

Различие баланса продукционно-деструкционных процессов во внутренних и внешних частях эстуариев может быть экологической основой для формирования в них разных экосистем, принципиально различающихся по структуре и функционированию.

Список литературы

Гусакова Н.В. Химия окружающей среды : монография. — Ростов н/Д : Феникс, 2004. — 192 с.

Ефимова Л.Е., Цыцарин А.Г. Пространственно-временное распределение биогенных элементов в зоне смешения речных и морских вод Двинского залива Белого моря (на примере устьевой области Северной Двины и верхней части залива) // Тр. ГОИН. — 2002. — Вып. 208. — С. 217–225.

Звалинский В.И., Недашковский А.П., Сагалаев С.Г. и др. Биогенные элементы и первичная продукция эстуария реки Раздольной // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 2. — С. 107–116.

Зуенко Ю.И. Промысловая океанология Японского моря : монография. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2008. — 227 с.

Лапин С.А. Гидрохимическая структура вод Обской губы и оценка ее биопродуктивности // Вопр. промысл. океанологии. — 2011. — Вып. 8, № 1. — С. 83–100.

Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанол. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 735–747.

Мамаев О.И. Термохалинный анализ вод Мирового океана : монография. — Л. : Гидрометеоиздат, 1987. — 296 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. — М. : ВНИРО, 2003. — 202 с.

Семкин П.Ю., Тищенко П.Я., Тищенко П.П. и др. Особенности гидрохимии эстуариев рек Артёмовки и Шкотовки (Уссурийский залив, Японское море) летом 2011 г. // Изв. ТИНРО. — 2012. — Т. 171. — С. 267–284.

Boonphakdee T., Fujiwara T. Temporal variability of nutrient budgets in a tropical river estuary: the Bangpakong river estuary, Thailand // Enviroment Asia. — 2008. — Vol. 1. — P. 7–21.

Cabecadas G., Nogueira M., Brogueira M.J. Nutrient dynamics and productivity in three European estuaries // Marine Pollut. Bull. — 1999. — Vol. 38, Is. 12. — P. 1092–1096.

Eyre B.D., Balls Ph.W. A comparative study of nutrient processes along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries // Estuaries and Coasts. — 1999. — Vol. 22, № 2. — P. 313–326.

Gordon D.C.Jr., Boudreau P.R., Mann P.R. et al. LOICZ Biogeochemical Modelling Guideline : LOICZ Reports & Studies. — 1996. — № 5. — 96 p.

Sarma V.V.S.S., Prasad V.R., Kumar B.S.K. et al. Intra-annual variability in nutrients in the Godavari estuary, India // Continental Shelf Res. — 2010. — Vol. 30, Is. 19. — P. 2005–2014.

Statham P.J. Nutrients in estuaries — an overview and the potential impacts of climate change // Sci. of the total environment. — 2012. — Vol. 434. — P. 213–227.

Süzal A., Bizsel N., Bizsel K.C., Hüsrevoğlu Y.S. Dissolved nutrient behavior along the estuarine salinity gradient at the Gediz river mouth (Aegean Sea, Turkey) // Turkish J. of Engineering and Enviromental Sci. — 2008. — Vol. 32. — P. 67–84.

Поступила в редакцию 26.08.14 г.