

П.Ю. СЕМКИН, П.П. ТИЩЕНКО, П.Я. ТИЩЕНКО,
Г.Ю. ПАВЛОВА, С.Г. САГАЛАЕВ, Н.Д. ХОДОРЕНКО,
Е.М. ШКИРНИКОВА, М.Г. ШВЕЦОВА

Характеристика продукционно-деструкционных процессов в эстуариях рек Уда и Усалгин (Охотское море) в период летнего паводка

Обсуждаются продукционные и гидрохимические параметры эстуарных экосистем рек Уда и Усалгин с расходом воды 4390 и 173 м³/с соответственно. Их эстуарии являются макроприливными с высотой приливов до 9,7 м. Приливы разрушают вертикальную плотностную стратификацию воды. Это, в совокупности с относительно низкими концентрациями неорганических форм азота в речных водах, снижает величину автотрофной продукции в эстуариях. Однако высокие концентрации растворенного органического углерода в речных водах обеспечивают благоприятные условия для образования гетеротрофной продукции не только в реках, но и в зонах смешения. Неорганические формы биогенных веществ, поставляемые реками, являются основой автотрофной продукции, что в большей степени проявляется при солёности воды более 24 ‰. В целом эстуарии рек Уда и Усалгин можно характеризовать как гетеротрофные бассейны.

Ключевые слова: эстуарий, речной сток, продукционно-деструкционные процессы, р. Уда, р. Усалгин, Охотское море.

Characterization of production/destruction processes in the Uda and Usalgin estuaries of the Sea of Okhotsk during the summer flood. P.Yu. SEMKIN, P.P. TISHCHENKO, P.Ya. TISHCHENKO, G.Yu. PAVLOVA, S.G. SAGALAEV, N.D. KHODORENKO, E.M. SHKIRNIKOVA, M.G. SHVETSOVA (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

Parameters showing the direction of the processes of production / destruction of organic matter of the estuarine ecosystems of the Uda and Usalgin rivers with a flow rate of 4,390 and 173 m³/s, respectively, during the summer flood of 2016 are discussed. The estuaries of the Uda and Usalgin rivers are macro-tidal with tidal heights of up to 9.7 m. Tides break vertical density stratification of water. The concentrations of inorganic forms of nitrogen in river waters are low. These two factors reduce the intensity of autotrophic production in estuaries. However, high concentrations of dissolved organic carbon in river waters provide favorable conditions for heterotrophic production not only in rivers, but also in mixing zones. The source of inorganic forms of nutrients is the result of distraction of organic matter supplied by rivers, but this source, which is the basis of autotrophic products, is to a greater extent at the late stage of mixing zones with water salinity of more than 24 ‰. In general, estuaries of these rivers can be characterized as heterotrophic basins.

Key words: estuary, river runoff, production/destruction processes, Uda River, Usalgin River, Sea of Okhotsk.

*СЕМКИН Павел Юрьевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ТИЩЕНКО Петр Павлович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, ТИЩЕНКО Павел Яковлевич – доктор химических наук, заведующий лабораторией, ПАВЛОВА Галина Юрьевна – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, САГАЛАЕВ Сергей Григорьевич – научный сотрудник, ХОДОРЕНКО Наталья Дмитриевна – научный сотрудник, ШКИРНИКОВА Елена Михайловна – научный сотрудник, ШВЕЦОВА Мария Геннадиевна – научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). *E-mail: pahno@list.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток» на 2018–2020 годы (гранты № 18-1-007, № 18-1-010), Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы (темы 01201363041 и 01201353055).

Введение

Одна из причин высокого научного интереса к эстуариям состоит в том, что эти акватории характеризуются высокой интенсивностью как продукции, так и деструкции органического вещества (ОВ). Речные воды, как правило, являются поставщиками неорганических форм биогенных веществ (БВ) в прибрежную акваторию морей и океанов. Река в эстуарии обеспечивает сочетание двух важных факторов, которые являются условием «цветения» фитопланктона: устойчивую плотностную стратификацию воды за счет вертикального градиента солености и высокую концентрацию неорганических форм БВ в поверхностном слое воды. Такие прибрежные бассейны являются автотрофными, поскольку биомасса фитопланктона – энергетическая основа для развития следующих трофических уровней экосистемы. Увеличение потока неорганических форм БВ в прибрежные акватории (эвтрофикация) в 70-х годах прошлого века рассматривалось как желательное явление, так как обеспечивало рост рыбных запасов, и лишь в начале нашего века были установлены негативные последствия эвтрофикации, например гипоксия придонных вод прибрежных акваторий океана [17].

В данной работе нами рассмотрены гидрохимические параметры, которые характеризуют продукцию/деструкцию ОВ в эстуариях рек Уда и Усалгин (Хабаровский край), прежде всего растворенное и взвешенное органическое вещество. Исследовались две формы растворенного вещества – растворенный органический углерод (РОУ) и гумусовое вещество (ГВ), а также две формы взвешенного органического углерода – хлорофилл *a* и феофитин. Комплексный анализ распределений концентраций БВ, растворенного кислорода, а точнее, кажущегося поглощения кислорода (АОУ – apparent oxygen utilization), с изучением параметров карбонатной системы ($\text{pH}_{\text{in situ}}$, общая щелочность (ТА – total alkalinity), растворенный неорганический углерод (DIC – dissolved inorganic carbon), парциальное давление углекислого газа pCO_2) позволяет установить соотношение интенсивности продукции и деструкции ОВ.

Продукционно-деструкционные процессы в зонах смешения рек Уда и Усалгин – это основа уникальной экосистемы, которая включает ареал полярных китов *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758 [7], белухи *Delphinapterus leucas* Pallas, 1776 [9] и других морских млекопитающих. Исследуемые реки являются нерестовыми для лососей [3], их приливные осушки – это место кормления птиц, в том числе краснокнижных [6]. Приемные бассейны рек Уда и Усалгин мало изучены, лишь недавно, летом 2016 г., были проведены комплексные исследования (гидрологические, гидрохимические, гидробиологические, геохимические) речных, эстуарных и морских вод в экспедиции ТОИ ДВО РАН [13]. В предшествующих исследованиях по данному району изучались воды за пределами эстуариев и без учета устьевой области реки [2, 20] или исключительно речные воды [15].

Цель работы – дать общую характеристику продукции и деструкции ОВ в эстуариях рек Уда и Усалгин.

Объект и методы

Прибрежные акватории северо-западной части Охотского моря (рис. 1) находятся в области сурового климата с отрицательной среднегодовой температурой воздуха, при этом годовые амплитуды средних месячных температур превышают 30 °С. Средняя продолжительность ледового периода составляет 250 сут, а в суровые зимы – 290. Даже в июле можно встретить мелкий лед в отдельных акваториях изучаемого района [1]. В долине р. Уда существует мерзлота с мощностью слоя свыше 200 м. В других районах, например в долине р. Усалгин, она меньше – от 2 до 25 м [11].

Уда – крупнейшая река из рассматриваемых нами – дренирует горную таежную местность, площадь водосбора 61 300 км², среднегодовой расход воды 510 м³/с. Водный режим

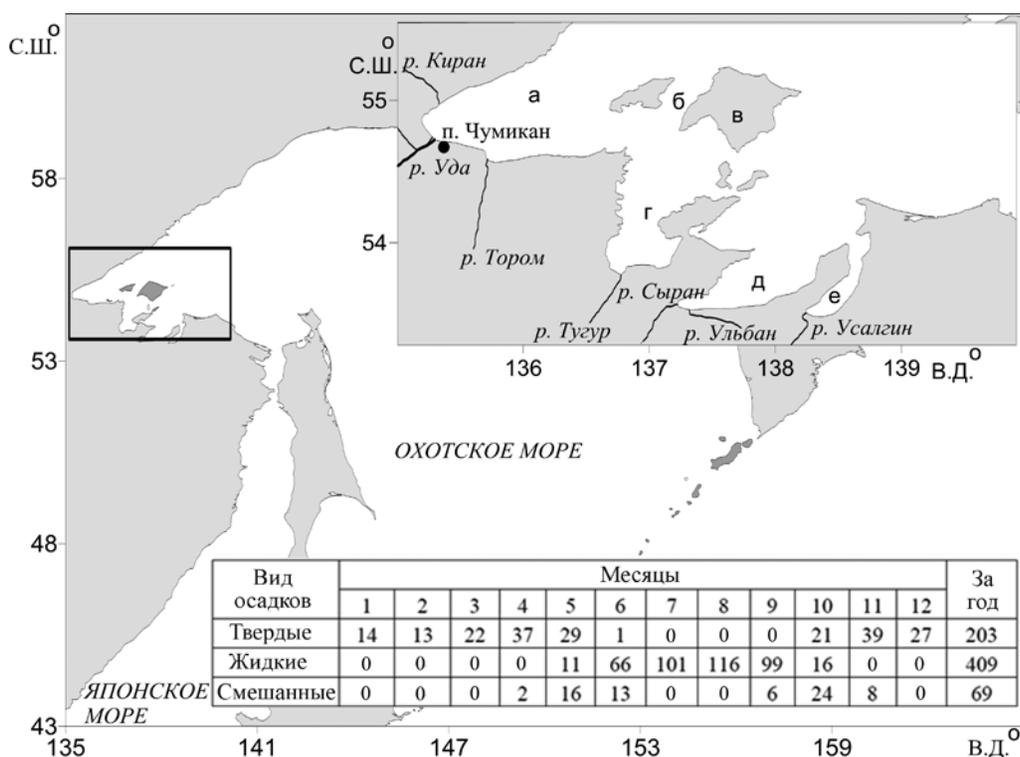


Рис. 1. Географическое положение изучаемого района (на врезке – акватория Шантарского архипелага): а – Удская губа, б – Северный пролив, в – о-в Большой Шантар, г – Тугурский залив, д – Ульбанский залив, е – зал. Николая. В таблице указано количество осадков (мм) по месяцам, с осреднением за многолетний период для пункта наблюдений в пос. Чумикан [4]

в основном определяется количеством атмосферных осадков (рис. 1). Весеннее половодье начинается в конце апреля. Отмечается многоводный режим летне-осенних паводков с максимальным стоком в июле, августе и сентябре; суммарный объем речного стока за эти три месяца – около 12 км^3 [11].

Долина р. Усалгин – это в основном заболоченная местность. Площадь водосбора реки – 2420 км^2 , расчетный среднегодовой расход – около $15 \text{ м}^3/\text{с}$.

Изучаемые акватории относятся к макроприливным эстуариям с величиной прилива до 6 м (высота приливов в Удской губе достигает 9,7 м) [5].

Экспедиция была проведена на НИС «Профессор Гагаринский», рейс № 71. Пробы воды отбирались из поверхностного (глубина 0,5 м) и придонного (0,3–0,7 м от дна) горизонтов, для чего применяли пробоотборную систему SBE 55 ECO в комплекте с зондом SBE 19. На глубинах менее 15 м работы вели с борта надувной моторной лодки, используя зонд Rinko-Profilier ASTD102, а для отбора проб воды – 5-литровые батометры Нискина. Концентрацию O_2 измеряли с помощью оптического датчика на дополнительном зонде Rinko-Profilier ASTD102. В день отбора воды анализировали показатели: pH [12], общую щелочность по методу С.В. Бруевича, концентрацию главных биогенных веществ (растворенный кремний, фосфаты, нитраты, нитриты, аммоний) [8]. Хлорофилл *a* отфильтровывали по стандартной процедуре с использованием фильтров ОС-3 (фирма «Владипор») диаметром 35 мм с размером пор 0,8 мкм. Соленость, содержание общего азота и общего фосфора, РОУ, ГВ, концентрацию хлорофилла *a*, основной солевой состав определяли в лаборатории гидрохимии ТОИ ДВО РАН. Данные о содержании общего азота и общего фосфора получили с помощью автоматического анализатора Skalar San++, о содержании РОУ – анализатора TOC-VCPN производства Shimadzu. Измерения концентрации

макроионов проводили на хроматографе Shimadzu LC-20A методом ионно-обменной хроматографии, концентрации хлорофилла *a* и ГВ – на спектрофотометре Shimadzu UV-3600 спектрофотометрическим методом. Параметры карбонатной системы ($pH_{in situ}$, DIC, pCO_2) были рассчитаны по измеренным величинам pH, TA и концентрации ГВ.

Результаты

Исследования в зоне смешения р. Уда были проведены в период летнего паводка. Суммарное количество осадков, выпавших с 01.07 по 21.07 (начало работ) 2016 г., по данным для с. Удское (82 км от устья) – 116 мм. Таким образом, результаты отражают классическую ситуацию периода летнего паводка при среднемесечном расходе воды в устьевом створе около 1600 м³/с. Согласно нашей оценке, расход воды на момент отбора проб составил 4390 м³/с.

Исследования на р. Усалгин проводились 16.07.2016 г. во время пика летнего паводка. Расчетный расход реки в день отбора проб составил 173 м³/с, среднемесечный расход за июль – 41 м³/с. Эти оценки были получены исходя из площади водосбора и количества осадков над данной территорией. Результаты из устьевой области р. Усалгин относятся ко времени максимального за весь 2016 г. расхода воды.

Распресняющий эффект Уды, малых рек (Тыл, Тором, Ая, Киран) и растаявшего льда наблюдался в поверхностном слое на большей части Удской губы (рис. 2, *a*). Внешняя граница устьевого взморья, определяемая по предельному положению поверхностной изогалины 30 ‰ в направлении, перпендикулярном устьевому створу, находилась в ~85 км от устьевого створа реки. Линза вод с соленостью менее 24 ‰ распространялась в потоке общей циркуляции вод на расстояние более 100 км в северо-восточном направлении до Северного пролива (рис. 2, *a*). Эстуарием р. Уда, приняв 8 ‰ в качестве его внешней границы [10], следует считать кутовую часть Удской губы на расстоянии 25 км от устьевого створа.

Внешняя граница устьевого взморья р. Усалгин в период наших исследований находилась за пределами зал. Николая, большую часть которого – до ~35 км от устьевого бара – занимали солоноватые (соленость менее 24 ‰) воды, а эстуарий (до 8 ‰) распространялся до 2,5 км от устьевого створа реки.

Зона максимального распространения эстуарных вод в Удской губе занимала приблизительно 900 км², протяженность ограничивающей ее береговой линии и границы эстуарного барьера равна 150 км. Общая площадь устьевого взморья, определяемая по предельному положению изогалины 30 ‰, составляла 4500 км². В акватории зал. Николая эстуарные воды занимали около 25 км².

Температура воды рек Уда и Усалгин в период работ – 13,2 и 11,5 °С соответственно. В это же время в мористом районе Удской губы и на входном створе в зал. Николая

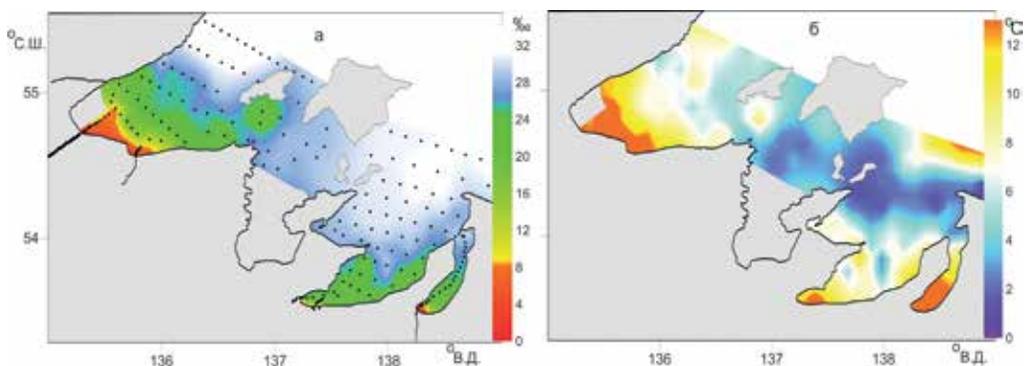


Рис. 2. Соленость (*a*) и температура (*b*) поверхностного слоя воды акваторий в районе Шантарского архипелага. Точками обозначены комплексные станции, выполненные 11–25.07.2016 г.

Гидрохимические характеристики нижнего течения рек Уда (21.07.2016 г.) и Усалгин (16.07.2016 г.)

Показатель	Уда	Усалгин
S	59	34
Cl ⁻	536	209
SO ₄ ²⁻	57	18
Na ⁺	507	265
K ⁺	22	12
Ca ²⁺	181	95
Mg ²⁺	112	76
P	0,2	1,1
P _{общ.}	0,3	4,6
Si	131,6	126,2
NO ₂ ⁻	0,0	0,1
NO ₃ ⁻	1,9	2,1
NO ₄ ⁺	0,5	2,7
N _{общ.}	14,3	15,5
TA	410	192
pH	7,039	6,852
DIC	504	265
pCO ₂	1960	1416
POY	6,4	19,7
ГВ	5,0	7,9
Chl	0,3	1,8
FTU	20	91

Примечание. S – соленость (мг/кг), Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, P, N, Si, NO₂⁻, NO₃⁻, NO₄⁺ – концентрация (мкМ/кг), TA – общая щелочность (мкМ/кг), pH – pH_{in situ} в шкале общей концентрации ионов водорода [18], DIC – концентрация растворенного неорганического углерода (мкМ/кг), pCO₂ – парциальное давление углекислого газа (мкатм), POY – концентрация растворенного органического углерода (мг С/л), ГВ – концентрация гумусового вещества (мг С/л), Chl – концентрация хлорофилла *a* (мкг/л), FTU (Formazin Turbidity Unit) – мутность, ед.

температура поверхностного слоя воды была менее 6 °С.

Гидрохимические характеристики воды р. Уда в районе устьевого створа на устьевом баре правого притока, на берегу которого расположен пос. Чумикан, получены в момент малой воды, а р. Усалгин в 7,5 км выше по течению реки от устьевого створа – в период отливной фазы в зал. Николая (см. таблицу).

Как видно из таблицы, в макрокомпонентном составе речных вод преобладали ионы натрия и хлора при общей низкой минерализации, которая характерна для водотоков изучаемого района [15]. Это связано с влиянием моря на реки в их нижнем течении [15], что особенно прослеживается в двукратном превышении концентраций ионов Cl⁻ и Na⁺ в р. Уда по сравнению с р. Усалгин. То же в случае с концентрациями ионов Ca²⁺ и Mg²⁺ можно объяснить влиянием горных пород на территории водосбора Уды. Различия ландшафтов водосборов рек отражаются также на концентрации в их водах биогенных веществ, РОУ, гуминов и хлорофилла *a*, параметрах карбонатной системы (напомним, что р. Усалгин дренирует болотистую местность). Изменения гидрохимических характеристик вод эстуариев рек Усалгин и Уда в зависимости от солености см. на рис. 3–5.

На рис. 3, *a* приведены значения концентраций двух видов растворенного органического вещества – суммарного РОУ и ГВ (часть РОУ). Доля ГВ достаточно высока, что обусловлено наличием торфяников, которые визуально наблюдались в обнажениях берегов исследуемых рек. На рис. 3, *б* представлены результаты измерений хлорофилла *a*, характеризующего интенсивность первичной продукции, и его неактивной формы – феофитина.

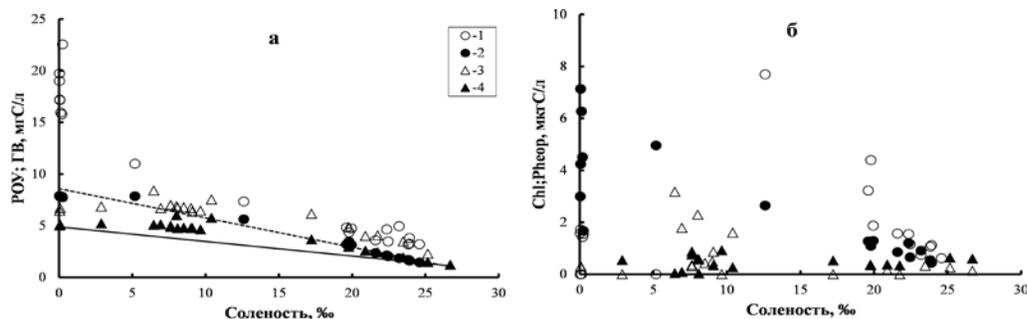


Рис. 3. Зависимость концентраций растворенных (*a*: РОУ – 1, 3; гумусовое вещество – 2, 4) и взвешенных (*б*: хлорофилл *a* – 1, 3; феофитин – 2, 4) форм органического углерода от солености в зонах смешения рек Усалгин (1, 2) и Уда (3, 4). Сплошная линия соединяет крайние точки концентраций ГВ для р. Уда. Пунктирная линия – экстраполяция линейной зависимости концентраций ГВ из области морских вод в область вод р. Уда

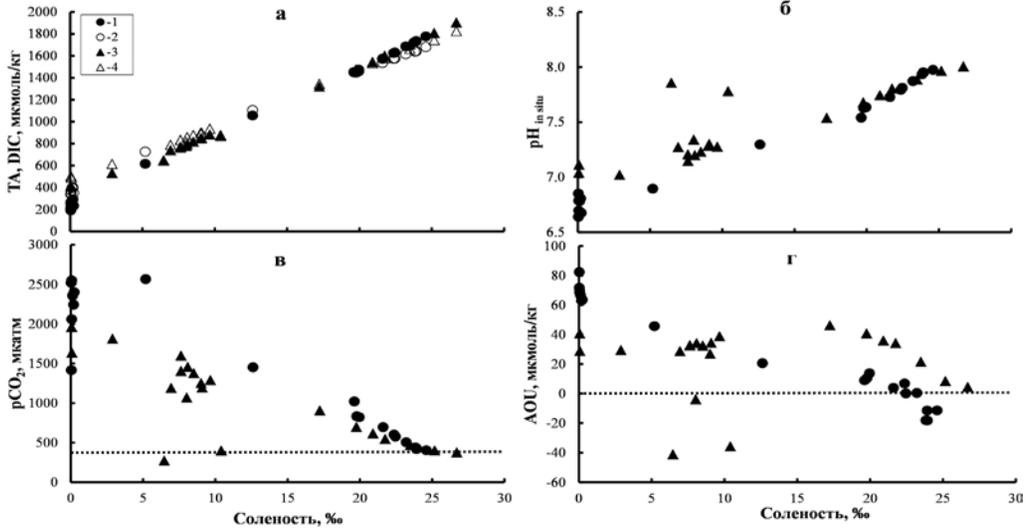


Рис. 4. Зависимость параметров карбонатной системы и AOU от солености в зоне смешения рек Усалгин (1, 2) и Уда (3, 4). а: ТА – (1, 3); DIC – (2, 4), б – pH в шкале общей концентрации ионов водорода [18], в – парциальное давление углекислого газа, г – AOU. Отточием показано равновесие между атмосферой и водой для: в – углекислого газа (400 мкатм), г – кислорода (AOU = 0 мкмоль/кг)

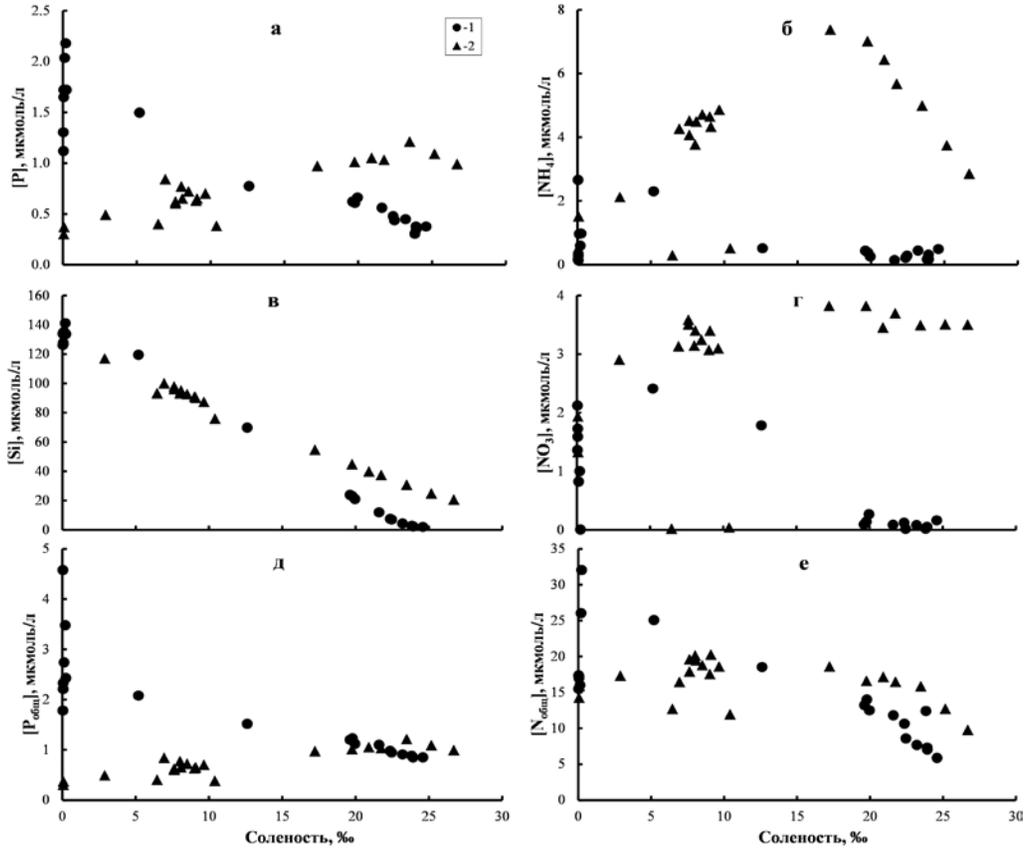


Рис. 5. Зависимость концентраций биогенных веществ (мкмоль/л) от солености в зонах смешения рек Усалгин (1) и Уда (2): а – неорганический фосфор, б – аммонийный азот, в – кремний, г – нитраты, д – общий фосфор, е – общий азот

Параметры карбонатной системы TA, DIC, pH, pCO₂ и AOU отражены на рис. 4. Из рис. 4, а и данных таблицы видно, что воды рек Усалгин и Уда имеют низкие значения щелочности и DIC. Линейная зависимость этих параметров от солёности указывает на консервативный характер смешения речных и морских вод для обоих эстуариев. Однако угол наклона для зависимости DIC от солёности меньше, чем TA от солёности, что обусловлено высокой концентрацией углекислого газа в речных водах и низкой – в морских водах. Причина этого в доминировании процессов разложения органического вещества на ранней стадии зон смешения и фотосинтеза – на поздней. В первом случае имеем высокие значения pCO₂ и AOU, а также низкие значения pH, во втором – обратную картину.

На рис. 5 приведены концентрации минеральных форм БВ – продуктов разложения органики. Сравнение концентраций общего фосфора и общего азота с их минеральными формами указывает на то, что биогенные вещества в зонах смешения находятся преимущественно в органической форме. Общий характер зависимости содержания БВ от солёности достаточно сложный. Для эстуария р. Усалгин концентрации всех БВ уменьшаются с ростом солёности, в эстуарии р. Уда подобное наблюдается только в случае кремния. Концентрации нитратов и фосфора в эстуарии р. Уда увеличиваются с ростом солёности. Зависимость концентрации аммония от солёности имеет максимум.

Обсуждение

Наиболее значимым фактором, определяющим продукционные характеристики эстуарных экосистем, является поток неорганических форм БВ в фотический слой. Влияние антропогенного фактора на концентрации БВ в реках Усалгин и Уда исключено. Влияние природных факторов на уровень концентраций БВ в реках подробно обсуждалось в работе [19]. Минеральные формы БВ иммобилизуются из почвенных и грунтовых вод при фотосинтезе и возвращаются обратно при бактериальном разложении органического вещества. Очевидно, что наиболее значимым фактором, влияющим на скорости этих двух разнонаправленных процессов и, соответственно, на концентрации биогенных веществ в подземных и поверхностных водах, в том числе и речных, является климат. В работе М. Мейбека [19] для каждой климатической зоны был установлен уровень «природных» концентраций биогенных веществ. В соответствии с предложенной автором классификацией, Уду и Усалгин скорее всего можно отнести к рекам «субарктического» климата, для которых «природные» концентрации ионов аммония, нитритов, нитратов и фосфора равны 1,3, 0,13, 8,9 и 0,3 мкМ/л соответственно, а концентрация РОУ – 10 мг С/л [19]. Учитывая высокую неопределённость оценок Мейбека, можно констатировать в целом соответствие наблюдаемых концентраций БВ «природному» уровню, за исключением неорганического фосфора в р. Усалгин. Следует также отметить высокие концентрации РОУ в этой реке. В эстуариях обеих изучаемых рек высока концентрация ГВ. Растворенные гумусовые вещества в природной среде, как правило, подвергаются медленной деградации, поэтому следовало бы ожидать линейной зависимости концентрации ГВ от солёности. Однако в нашем случае этого нет. Возможны два варианта объяснения поведения ГВ при смешении речных и морских вод. Согласно первому, поскольку все точки лежат над сплошной линией (см. рис. 3, а), соединяющей значения концентраций ГВ для крайних значений солёности в зоне смешения р. Уда, то, формально, данный результат указывает на синтез гумусового вещества в процессе смешения речных и морских вод. На второе объяснение наглядно указывает то, что наблюдается линейная зависимость концентрации ГВ от солёности при высоких ее значениях, при этом экстраполяция (пунктирная линия, см. рис. 3, а) указывает на концентрацию 9 мг С/л для р. Уда и 10 мг С/л для р. Усалгин. Мы полагаем, что эти концентрации ГВ были в подледной воде этих рек на момент вскрытия льда в устьях. Ледоход на субарктических реках обычно начинается с верхнего течения во второй половине апреля, в устье же формируется ледовая дамба, это вызывает резкий подъем уровня воды с последующим его резким спадом в первой половине мая, в момент разрушения

дамбы. Именно так происходит освобождение ото льда устья Амура, что регистрирует станция мониторинга в г. Николаевск-на-Амуре [14]. Благодаря большому объему подледной воды, накопленной ледовой дамбой, гидрохимические маркеры сохраняются на относительно большом расстоянии от устьевого створа реки. По этой причине мы видим линейные зависимости ГВ, ионов аммония от солености. На момент наших исследований гидрохимические характеристики рек изменились. Атмосферные осадки уменьшили концентрации ГВ и БВ в обеих реках, за исключением фосфора в р. Усалгин.

Указанные процессы не оказали существенного влияния на распределение кремния. Его концентрация в зонах смешения р. Уды и р. Усалгин практически линейно уменьшается с увеличением солености для поверхностных и придонных вод, особенно это справедливо для Удской губы (рис. 5, *в*). Исключением является мористая область смешения вод р. Усалгин, где отмечается нелинейная зависимость. Это может быть связано с изъятием кремния в результате развития биомассы диатомовых водорослей, прикрепленных к донным отложениям (перифитон) в зал. Николая, где глубина бассейна примерно в два раза меньше по сравнению с Удской губой и ФАР проникает до дна. Таким образом, процессы деструкции и продукции ОВ усложняют характер зависимости концентраций БВ от солености.

Высокие значения pCO_2 и АОУ на ранней стадии зон смешения указывают на доминирование деструкционных процессов над фотосинтезом. Такая ситуация является обычной [16]. Присутствие высоких концентраций феофитина и даже хлорофилла *a* в р. Усалгин мы объясняем их аллохтонным происхождением. В период паводка многие озера в пойме реки соединяются с основным руслом и становятся источником растворенного и взвешенного органического вещества. Высокая мутность реки (см. таблицу) ограничивает проникновение света и автотрофную продукцию. Наиболее благоприятными условиями для фотосинтеза в эстуарии р. Уда является диапазон соленостей 5–10 ‰, для которого отмечены высокие концентрации хлорофилла *a* (рис. 3, *б*), высокий рН, пониженные значения парциального давления углекислого газа (в двух случаях ниже атмосферного) и отрицательные величины АОУ, т.е. вода становилась пересыщенной по отношению к кислороду атмосферы (рис. 4). В мористой части эстуариев обеих рек начинают доминировать продукционные процессы, что проявляется в понижении парциального давления углекислого газа, уменьшении АОУ и увеличении рН. Такая тенденция обусловлена улучшением освещенности вод Удского залива и зал. Николая с увеличением расстояния от устья рек, содержащих много взвешенного вещества.

Существуют три особенности эстуариев Уды и Усалгина, которые отличают их от япономорских. В микроприливных эстуариях эвтрофированных рек Японского моря создаются благоприятные условия для первичной продукции (плотностная стратификация, высокие концентрации БВ над пикноклином), и такие эстуарии можно характеризовать как автотрофные. Эстуарии р. Уды и р. Усалгина, во-первых, являются макроприливными. Приливы разрушают вертикальную плотностную стратификацию. Во-вторых, концентрации неорганических форм азота в речных водах низкие. Эти два фактора снижают интенсивность автотрофной продукции ОВ в эстуариях этих рек. В-третьих, высокие концентрации РОУ в речных водах обеспечивают благоприятные условия для образования гетеротрофной продукции не только в реках, но и в эстуарных акваториях. Более того, источником неорганических форм БВ является деструкция ОВ, поставляемого реками, но влияние этого источника – основы автотрофной продукции – в большей степени проявляется в морских водах, т.е. на поздней стадии зон смешения, а эстуарии этих рек в период паводка можно характеризовать как гетеротрофные бассейны.

Выводы

В период летнего паводка эстуариями рек Уда и Усалгин являются кутовые части Удской губы и зал. Николая с интенсивным приливным перемешиванием и слабой стратификацией вод.

Низкие концентрации БВ и высокая концентрация взвеси в реках Уда и Усалгин совместно с развитой приливной динамикой вод в эстуарных бассейнах создают неблагоприятные условия для автотрофной продукции.

Эстуарные бассейны рек Уда и Усалгин в период летнего паводка следует рассматривать как преимущественно гетеротрофные бассейны.

Авторы выражают благодарность научному составу и экипажу НИС «Профессор Гагаринский» рейса № 71, отдельно – участникам лодочных работ д.г.н. В.М. Шулькину (заведующий лабораторией геохимии ТИГ ДВО РАН) и студенту ДВФУ А.О. Мизгину, за ценные советы и консультации признательны д.б.н. В.В. Мельникову (ведущий научный сотрудник ТОИ ДВО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9. Охотское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб.: Гидрометеоздат, 1998. 168 с.
2. Дзюбан А.Н. Первичные продукционные процессы в воде Тугурского залива Охотского моря // Океанология. 2003. Т. 43, № 3. С. 383–392.
3. Золотухин С.Ф., Махинов А.Н., Канзепарова А.Н. Особенности морфологии и гидрологии нерестовых рек северо-западного побережья Охотского моря // Изв. ТИНРО. 2014. Т. 176. С. 139–154.
4. Климатические параметры Восточно-Сибирского и Дальневосточного экономических районов / под ред. Л.Е. Анапольской, И.Д. Копзневой. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 390 с.
5. Лоция Охотского моря (№ 1406). Вып. 1. Южная часть моря. СПб.: ГУНиО, 1998. 390 с.
6. Махинов А.Н., Крюкова М.В., Пронкевич В.В. Ульбанский залив // Природа. 2017. № 8. С. 32–43.
7. Мельников В.В., Федорец Ю.В. Распределение зоопланктона и полярного кита *Balaena mysticetus* Linnaeus, 1758 в заливе Академии Охотского моря // Биол. моря. 2016. Т. 42, № 3. С. 189–194.
8. Методы гидрохимических исследований основных биогенных элементов. М.: ВНИРО, 1988. 120 с.
9. Мещерский И.Г., Шпак О.В., Глазов Д.М. и др. Белуха (*Delphinapterus leucas*) в морях Дальнего Востока: состав и распределение митохондриальных линий // Морские млекопитающие Голарктики. 2012. Т. 2. С. 90–95.
10. Михайлов В.Н., Горин С.Л. Новые определения, районирование и типизация устьевых областей рек и их частей – эстуариев // Вод. ресурсы. 2012. Т. 39, № 3. С. 243–257.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Нижний Амур. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 592 с.
12. Тищенко П.Я., Чичкин Р.В., Ильина Е.М., Вонг Чи Ши. Измерение pH в эстуариях с помощью ячейки безжидкостного соединения // Океанология. 2002. Т. 42, № 1. С. 32–41.
13. Тищенко П.Я., Лобанов В.Б., Шулькин В.М. и др. Комплексные исследования прибрежных акваторий Японского и Охотского морей, находящихся под влиянием речного стока (71-й рейс научно-исследовательского судна «Профессор Гагаринский») // Океанология. 2018. Т. 58, № 2. С. 340–342.
14. Шевченко О.Г., Селина М.С., Орлова Т.Ю. и др. Фитопланктон Амурского лимана (Охотское море) в летние периоды 2005–2007 годов // Биол. моря. 2013. Т. 39, № 2. С. 85–97.
15. Шестеркин В.П. Гидрохимия рек южной части о. Феклистова (Шантарские острова) // Тихоокеан. геология. 2015. Т. 34, № 5. С. 108–110.
16. Cai W.-J. Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO₂ sinks or sites of terrestrial carbon incineration? // Ann. Rev. Mar. Sci. 2011. Vol. 3. P. 123–145.
17. De Jong F. Marine eutrophication in perspective. On the relevance of ecology for environmental policy. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2006. 335 p.
18. Dickson A.G. pH scales and proton-transfer reactions in saline media such as sea water // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. Vol. 48. P. 2299–2308.
19. Meybeck M. Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers // Amer. J. Sci. 1982. Vol. 282. P. 401–450.
20. Rogachev K.A., Carmack E.C., Foreman M.G.G. Bowhead whales feed on plankton concentrated by estuarine and tidal currents in Academy Bay, Sea of Okhotsk // Continental Shelf Res. 2008. Vol. 28, iss. 14. P. 1811–1826.