

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ОБЩЕГО И АНТРОПОГЕННОГО СТОКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ РЕКАМИ БАССЕЙНОВ ТИХООКЕАНСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

*М.П. Смирнов\*, А.А. Ковалев, Н.М. Мельникова, Е.М. Ковалева*

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Гидрохимический институт»,  
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 198; \* *andreros2011@gmail.com*

**Реферат.** Проанализированы вынос биогенных элементов (БЭ), органических веществ (ОВ) реками России в тихоокеанские моря, антропогенная составляющая, основные региональные особенности и тенденции изменения стока ингредиентов за отдельные периоды 1981-2015 гг. Выявлены следующие основные особенности: многократное превышение восстановленных соединений азота над окисленными (водосборы Тихоокеанского от 2 до 6 раз, Арктического бассейна – от 4 до 30 раз); большой перевес стока общего железа над нитратным азотом (от нескольких раз до порядка и выше); высокий вынос легкоокисляемых ОВ (от 39% до 62% стока общего аквагумуса); наличие отрицательных естественных аномалий стока нитритного азота в экономически мало освоенных регионах с резкоконтинентальным климатом, господством мерзлотных и болотных почв; наличие положительных естественных и природно-техногенных аномалий стока ОВ, кремния, бескислородных и окисленных форм азота, соединений фосфора, железа, образующих сложные комплексы аномалий массопереноса; уникальный гидрохимический сток р. Камчатка в вулканическом регионе, отличающийся очень высоким выносом кремния (270 тыс. т), преобладанием выноса нитратного азота над аммонийным (в 4 раза), максимальным в РФ отношением стока  $Si/N_{\text{мин}}$  (81) и стока  $Si/Fe_{\text{общ}}$  (29), минимальными в стране отношениями стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  (2.2) и ОВ/БЭ (0.59); лидирующие позиции крупнейших рек Тихоокеанского и Арктического бассейнов по стоку БЭ и ОВ (Амур, Обь, Енисей, Лена); наименьшие относительные доли антропогенной составляющей в стоке нитратного азота, минерального и общего фосфора, ОВ, в 1.5-2 раза уступающие этим показателям в Атлантическом и Каспийском бассейнах.

**Ключевые слова.** Сток, биогенные элементы, азот аммонийный, нитритный, нитратный, минеральный, фосфор минеральный, общий, железо общее, кремний, органические вещества, антропогенная (техногенная) составляющая, тенденции изменения выноса, река, море.

---

## LONG-TERM DYNAMICS OF TOTAL AND ANTHROPOGENIC FLOW OF NUTRIENTS AND ORGANIC MATTER IN RIVERS BASINS OF THE PACIFIC SEAS OF RUSSIA

*M. P. Smirnov\*, A. A. Kovalev, N. M. Melnikova, E. M. Kovaleva*

Federal state budgetary institution "Hydrochemical Institute",  
198, prospect Strikes, 344090, Rostov-on-don, Russia; \* [andreros2011@gmail.com](mailto:andreros2011@gmail.com)

**Abstract.** The removal of biogenic elements (BE) and organic substances (OS) by Russian rivers into the Pacific sea, anthropogenic component, the main regional features and tendencies of changes in the flows of ingredients for selected periods 1981–2015 were analyzed. The following main features revealed: multiple excess of reduced nitrogen compounds over oxidized ones (Pacific basin from 2 to 6 times, Arctic basin – from 4 to 30 times); large excess of total iron flow over nitrate nitrogen (from several times to an order of magnitude and above); high removal of easily oxidized OS (from 39% to 62% of the total aquagumus flow); the presence of negative natural anomalies of nitrite nitrogen flow in economically underdeveloped regions with a harsh continental climate, the dominance of permafrost and marsh soils; the presence of positive natural and natural–technogenic anomalies of OS flow, flows of silicon, oxygen-free and oxidized forms of nitrogen, phosphorus and iron compounds forming complex mass transfer anomalies; unique hydrochemical flow of the Kamchatka river in the volcanic region, characterized by a very high removal of silicon (270 th. tones), a predominance of the removal of nitrate nitrogen over ammonium (4 times), the maximum in Russia the ratio of  $\text{Si}/\text{N}_{\text{min}}$  flow (81) and  $\text{Si}/\text{Fe}_{\text{total}}$  flow (29), the lowest in the country relationships of  $\text{N}_{\text{min}}/\text{R}_{\text{min}}$  flow (2.2) and OS/BE (0.59); the leading positions of the largest rivers of the Pacific and Arctic basins for BE runoff and OS (Amur, Ob, Yenisei, Lena); the smallest relative share of the anthropogenic component in the runoff of nitrate nitrogen, mineral and total phosphorus, and OS, in 1.5–2 times lower of these indicators in the Atlantic and the Caspian basins.

**Keywords.** Runoff, nutrients, nitrogen, ammonium, nitrite, nitrate, mineral, mineral phosphorus, total, total iron, silicon, organic matter, anthropogenic (man-made) component, trends go, river, sea.

### Введение

Вместе с макро- и микроэлементами значительным слагаемым материкового стока в океан является вынос реками биогенных элементов (БЭ) и органических веществ (ОВ). Резкое усиление техногенного воздействия на водосборные бассейны и водные ресурсы со второй половины двадцатого столетия привело к увеличению химической денудации и стока растворенных веществ реками. Поэтому возросла актуальность изучения не только общего стока химических веществ, но и его антропогенной (техногенной) составляющей (АС, ТС).

---

Соединения азота и фосфора, органических веществ, в большой степени подверженные техногенному воздействию, играют важнейшую роль в динамике терригенного стока и экологии водотоков и водоемов. Большое гидрохимическое и экологическое значение имеют также соединения железа и кремния, доли которых в гидрохимическом стоке велики. Растворенные БЭ и ОВ являются весьма информативными индикаторами ретроспективного, современного и перспективного состава природных вод, терригенного стока, экологического состояния окружающей среды. Потребность в результатах исследований содержания в воде и речного стока химических компонентов постоянно возрастает. Поэтому необходимо проводить систематический гидрохимический мониторинг в соответствии с динамикой экономики и изменяющимися природно-техногенными условиями. В отечественной и иностранной литературе немало работ посвящено изучению материкового стока БЭ и ОВ. Однако многие проблемы органической и общей гидрохимии не решены (Алекин, Бражникова, 1964; Артемьев, 1993; Воронов, 2005; Коронкевич, 1973; Левшина, 2005; Максимова, 2012; Махинов, 2002; Моисеенко, Руднева, 2008; Никаноров, 2011; Пелешенко, 1975; Перельман, Касимов, 1999; Скопинцев, Крылова, 1955; Черногаева и др., 2003; Шестеркин, 1991; Шестеркин, Шестеркина, 2010; Guo et al., 2007; Green et al., 2004; Guyot, Wasson, 1994; Holbrook. et al., 2006; Isaac et al., 2001; Michaelis et al., 1986; Schlesinger, 2009; Turetsky et al., 2007).

Целью настоящей работы является анализ полученных нами количественных данных по общему и антропогенному стоку БЭ и ОВ реками России бассейнов морей Тихого океана и тенденций его изменения в 1981-2015 гг. Сток БЭ и ОВ основными реками рассчитан за семь пятилетних периодов: первый, второй – 1981-1990 гг., третий, четвертый – 1991-2000 гг., пятый, шестой – 2001-2010 гг., седьмой – 2011-2015 гг. Для отдельных рек, ранее других антропогенно измененных, рассмотрены сведения за пятилетние периоды 1971-1980 гг. Основное внимание уделено динамике стока растворенных веществ в 2011-2015 гг. (пореформенный период, современное состояние) относительно 1981-1985 гг. (период наибольшего уровня экономики). Аналогичные материалы выполнены по рекам бассейнов арктических (Смирнов, 2017), атлантических морей, Каспийского моря (Смирнов, 2015, 2016).

## **Материалы и методы исследования**

Базовыми материалами для исследования общего и техногенного стока БЭ и ОВ явились результаты режимных гидрохимических и гидрологических наблюдений региональных управлений Росгидромета. По этим данным в замыкающих створах рек рассчитан сток БЭ – азота аммонийного, нитритного, нитратного, фосфора минерального, общего, железа общего, кремния, ОВ. Содержание ОВ в воде определено путем умножения ХПК (БО) на коэффициент 0.75. АС (ТС) рассчитана в стоке нитратного азота, минерального, общего фосфора, ОВ, которые наиболее подвержены техногенному воздействию. При достаточной полноте исходных данных в качестве расчетных

---

использованы периоды половодья и паводков, летней и зимней межени; при невысокой частоте наблюдений вынос ингредиентов определен за годовой период (Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016, 2017).

В основном исследованы крупные и средние реки, к малым относятся р. Тымь. Выделение АС, выявление тенденций изменения стока веществ для ряда рек затруднены в связи с отсутствием качественной исходной гидрохимической и гидрологической информации за длительный период, изменением створов наблюдений. В 1980-е гг. количество и качество гидрохимических наблюдений на реках существенно возросло и улучшилось; в 1990-е гг., особенно во второй половине, мониторинг химического состава воды целого ряда рек ухудшился, а на реках бассейнов Чукотского, Берингова, Японского морей полностью прекращен. В 1981-1990 гг. гидрохимические съемки проводились в основные гидрологические фазы в количестве не менее 8-ми в течение года. На реках Северо-Запада, Центра, Юга ЕТР и реках некоторых других регионов частота наблюдений достигала 12-ти за годовой период и более. В последующие годы она снизилась, число контролируемых рек, пунктов и створов сократилось. Как правило, количество информации наибольшее для замыкающих створов крупных рек, для средних и особенно малых рек оно существенно меньше. В период половодья и паводков мониторинг обычно регулярен, в зимнюю межень минимален, либо не проводился.

Наиболее надежные результаты расчета АС стока БЭ и ОВ получены для рек с достаточными рядами регулярных наблюдений, бассейны которых испытывают длительное техногенное воздействие. По ряду рек и ингредиентов положительные значения ТС стока не получены скорее всего из-за невысокого антропогенного воздействия, недостаточного количества и качества гидрохимической информации. Отрицательные значения для ряда рек свидетельствуют вероятнее всего о несформированности АС стока веществ. В общем виде отрицательные величины АС стока ингредиентов рассматриваются в качестве нулевых и околонулевых, хотя в конкретных условиях они могут быть результатом сложных разновекторных процессов – комплексообразовательных, седиментационных, взаимодействия воды, взвешенных веществ, биоты, донных отложений. Поэтому для более полной оценки основных направлений формирования АС стока веществ необходимо также анализировать преобладающие территориальные и временные тренды не только положительных, но и отрицательных величин.

Методики расчета стока растворенных веществ и его АС опубликованы в работах (Алекин, Бражникова, 1964; Максимова, 2012; Пелешенко, 1975; Скопинцев, Крылова, 1955; Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016, 2017). Сток БЭ и ОВ реками рассчитан прямым методом по формуле

$$G = \sum_{i=1}^n W_i \cdot \bar{C}_i$$

где  $G$  – сток ингредиента, тыс. т;  $n$  – число расчетных периодов;  $W_i$  – объем стока воды за  $i$ -й расчетный период, км<sup>3</sup>;  $\bar{C}_i$  – средняя концентрация ингредиента за  $i$ -й расчетный период, мг/дм<sup>3</sup>.

В работе использованы методики расчета АС стока растворенных веществ, основанные на сопоставлении значений выноса ингредиентов в расчетный и относительный фоновый период, когда сток веществ зависел в основном от природных факторов. Величина АС представляет разницу между выносом вещества в расчетный и фоновый периоды.

Техногенная слагаемая рассчитана в стоке ОВ и экологически главных БЭ – нитратного азота, минерального и общего фосфора, наиболее подверженных антропогенному воздействию компонентов. В работе представлены среднегодовые значения АС стока ингредиентов за пятилетние периоды. Они получены путем усреднения результатов расчета по двум методам.

По первому методу (Пелешенко, 1975) расчет проведен по формуле

$$G_{ac} = G_p - K_B \cdot G_\phi,$$

где  $G_{ac}$  – антропогенная составляющая стока ингредиента, тыс. т;  $G_p$  – сток ингредиента за расчетный период, тыс. т;  $K_B$  – поправочный коэффициент для учета разницы между водным стоком реки за фоновый и расчетный периоды;  $G_\phi$  – сток ингредиента за фоновый период, тыс. т.

По второму методу (Максимова, 2012) расчет выполнен по формуле

$$G_{ac} = G_p - G_{sip}/K_\phi,$$

где  $G_{sip}$  – сток кремния за расчетный период, тыс. т;  $K_\phi$  – фоновый эмпирический коэффициент для рассматриваемого вещества.

В работе представлены и обсуждаются средние значения АС из результатов расчета по указанным методам, если их различие не превышает 30%, реже 50%. Наиболее надежные результаты расчета стока растворенных веществ и его АС получены в замыкающих створах техногенно измененных рек, на которых регулярно проводились ежемесячные наблюдения. На основе данных методов расчета АС стока ОВ и БЭ и его АС выполнен ряд работ (Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016, 2017 и др.).

Изменение стока БЭ и ОВ, обусловленное техногенным (антропогенным) воздействием на формирование в речной воде и вынос этих ингредиентов, можно оценивать по трендам отношений стока  $Si/N_{мин}$ ,  $Si/P_{мин}$ ,  $Si/P_{общ}$ ,  $Si/Fe_{общ}$ , ОВ/БЭ. Уменьшение отношений стока кремния, наименее подтвержденного антропогенному влиянию, к выносу соединений азота, фосфора, общего железа свидетельствует об усилении техногенного влияния на сток этих элементов. По изменению отношений стока ОВ/БЭ также можно судить о динамике общего и антропогенного выноса органических и биогенных веществ реками с водосборных бассейнов.

Многолетние изменения терригенного стока проанализированы в связи с природно-антропогенными условиями в бассейнах водных объектов. Следует иметь в виду, что сток веществ ниже расчетных замыкающих створов рек в различной мере трансформируется в зависимости от их расстояния до устьев, морфологии нижних русел, дельт, изрезанности побережий, ландшафтно-геохимических и техногенных условий. Выявление векторов и величин транс-

---

формации гидрохимического стока на приустьевых участках рек представляет отдельную специальную научную и прикладную задачу. Для ее решения необходимо использовать сопряженный комплекс методологий, методов, материалов изучения речной и морской гидрохимии. Очень актуальным является проведение этих исследований в низовьях рек Волга, Дон, Кубань, Терек, Нева, Северная Двина, Печора, Обь, Енисей, Лена, Амур, Колыма, Индигирка, Селенга. При этом, необходимо различать общую трансформацию гидрохимического стока по длине рек и трансформацию его в низовьях, ниже замыкающих створов, по наблюдениям в которых и оценивается сток ингредиентов в моря.

### **Бассейн Тихого океана**

Общий и техногенный сток биогенных элементов и органических веществ исследованы за семь пятилетних периодов: 1981-1985, 1986-1990, 1991-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010, 2011-2015 гг. по схеме океан–море–река в связи с природно-антропогенными условиями формирования. Для отдельных рек, ранее других антропогенно измененных, рассмотрены также данные за 1971-1975, 1976-1980 гг. Многолетние тенденции изменения общего и техногенного стока БЭ и ОВ выявлены методом сравнительно-гидрохимического анализа в указанные временные периоды. Основное внимание уделено тенденциям изменения стока веществ в 2011-2015 гг. (современное состояние, пореформенный период) относительно 1981-1985 гг. (период наибольшего уровня экономики). При этом следует учитывать неравномерное развитие народнохозяйственного комплекса, его ведущих отраслей во времени и по регионам, бассейнам рек, морей.

Далее перейдем к характеристике общего и техногенного стока БЭ и ОВ реками России бассейнов морей, Тихого океана, его многолетних тенденций изменения в 1981-2015 гг.

В бассейне *Тихого океана* реками вынесено в среднем ежегодно 12-24% БЭ и ОВ, транспортированных с территории России. По водному стоку, экспорту растворенных веществ бассейн Тихого океана занимает второе место после бассейна Северного Ледовитого океана. Сток химических веществ в бассейне Тихого океана оценен по рекам Берингова, Охотского, Японского морей и р. Камчатка. В связи с прекращением сетевых наблюдений на р. Анадырь с 1996 г. вынос БЭ и ОВ в бассейне Берингова моря рассмотрен только за период 1981-1995 гг. Наблюдения на реках бассейна Японского моря не проводились с 1991 г., ранее они осуществлялись на трех реках (Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016), на одной из которых гидрохимический мониторинг возобновлен в последние годы.

Физико-географические и ландшафтно-геохимические условия в бассейне Тихого океана очень мозаичны – от равнинных и горных аридных и аридно-гумидных ландшафтов в верховье р. Амур и вулканических – на п-ве Камчатка до господствующих в бассейнах дальневосточных рек, включая Амур, равнинных и горных гумидных геосистем, которые характеризуются низким

Еh почв, горных пород, вод, повышенной и интенсивной миграцией углерода, железа, азота, фосфора.

Со стоком р. *Камчатка* вынесено в среднем 0.4-20% различных БЭ и ОВ от переноса их реками в бассейне Тихого океана.

Минеральный азот экспортирован р. *Камчатка* в количестве 3.36 тыс. т в год; из них на нитратный и аммонийный азот приходилось 75% и 22% (табл. 1). Очень значительный перевес стока окисленных форм азота над неокисленными в гумидном регионе представляет редкое явление, свойственное вероятнее всего вулканическим геосистемам. Вследствие весьма высокого содержания кремния в камчатских почвах, горных породах, естественно и природных водах, отношение стока  $Si/N_{\text{мин}}$  (81) в р. *Камчатка* было максимальным в стране; оно превышало показатели в Арктическом, Тихоокеанском, Атлантическом, Каспийском бассейнах соответственно на порядок, два, четыре десятка, несколько раз.

В 2011-2015 гг. по сравнению с 1981-1985 гг. вынос аммонийного азота снизился в 1.4 раза, нитратного, напротив, возрос в 2.3 раза в связи с аналогичной динамикой концентраций этих элементов в речной воде.

Среднегодовое вынос минерального и общего фосфора р. *Камчатка* составил 1.41 и 2.82 тыс. т. Соотношение стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  (2, 2:1) является минимальным в РФ из-за высокого содержания фосфора в горных породах и почвах вулканического происхождения. Этот показатель в большинстве рек выше от 2 до 15 раз, в некоторых реках – в десятки раз. В современный период вынос минерального и общего фосфора данной рекой уменьшился в 1.3 раза.

Наименьшее соотношение стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  и наибольшее выноса  $Si/N_{\text{мин}}$  р. *Камчатка* являются очень важными региональными особенностями материкового массопереноса в Камчатском вулканическом и Тихоокеанском регионе.

За 35-летний период среднегодовой перенос общего железа и кремния р. *Камчатка* составил 9.25 и 270 тыс. т. При сопоставимой водности эта река по стоку общего железа существенно не отличалась от большинства рек, но по выносу кремния превосходила другие гумидные реки от нескольких раз до порядка. Поэтому отношение стока  $Si/Fe_{\text{общ}}$  р. *Камчатка* (29) многократно выше всех остальных рек, что также относится к важнейшим региональным особенностям гидрохимического стока в Камчатской вулканической области и Тихоокеанском бассейне. Сток общего железа и кремния довольно стабилен.

Сток ОВ р. *Камчатка* составил в среднем 166 тыс. т – намного ниже выноса его другими реками с аналогичной и даже меньшей водностью, что объясняется малыми запасами биомассы в ландшафте. Отношение стока ОВ/БЭ (0.59) самое низкое в РФ из-за небольшого выноса аквагумуса и, наоборот, высокого переноса биогенов, особенно кремния. На легкоокисляемые фракции приходилось 50% всего стока ОВ. В 2001-2015 гг. вынос ОВ данной рекой при стабильной водности уменьшился в 1.3 раза вследствие аналогичной убыли концентрации.

---

Таблица 1. Многолетний среднегодовой вынос биогенных элементов и органических веществ реками России в моря Тихого океана, тыс. т

Река	Пункт	Период, год	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	Водный сток, км <sup>3</sup>	Азот			Фосфор		Железо общее	Кремний	Органические вещества
						аммонийный	нитритный	нитратный	минеральный	обший			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Бассейн Тихого океана													
Камчатка	г. Ключи	1981-1985	131	45.6	24.9	0.725	0	1.74	1.62	3.24	15.3	266	227
		1986-1990			24.3	1.06	0.080	3.65	1.62	3.24	21.5	287	186
		1991-1995			22.7	0.649	0	1.37	1.11	2.23	0.743	273	141
		1996-2000			24.4	1.22	0.067	2.93	1.33	2.66	1.10	289	142
		2001-2005			23.8	0.738	0.382	2.26	1.56	3.12	2.97	244	159
		2006-2010			24.2	0.483	0.024	1.59	1.36	2.71	10.5	263	140
		2011-2015			24.3	0.511	0.051	4.02	1.27	2.54	12.6	271	169
Берингово море													
Анадырь	св. Снежное»	1981-1985	254	106	32.2	17.4	0.065	1.71	0.790	1.58	14.3	158	353
		1986-1990			31.4	29.5	0.031	3.45	0.722	1.44	14.4	154	421
		1991-1995			27.6	44.2	0.907	16.1	5.43	10.8	6.16	136	473
Охотское море													
Туй	с. Талон	1981-1985	36.0	25.1	11.2	5.33	0.029	0.457	0.246	0.492	4.90	46.7	108
		1986-1990			10.7	5.67	0.011	0.856	0.128	0.256	4.82	52.4	112
		1991-1995			8.99	6.03	0	1.21	0.048	0.095	4.06	41.3	132
		1996-2000			11.3	10.4	0	1.80	0.086	0.172	5.40	60.3	103
		2001-2005			10.9	5.00	0	1.39	0.149	0.298	6.78	49.0	110
		2006-2010			14.2	4.20	0.002	0.682	0.106	0.212	6.66	51.0	150
		2011-2015			15.7	4.89	0.047	0.594	0.140	0.279	6.31	63.3	196

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Амур	с.Богородское	1981-1985	238	1790	393	159	4.52	31.2	9.44	18.9	188	1060	5820
		1986-1990			342	129	5.65	31.8	11.1	22.2	91.6	784	4350
		1991-1995			359	143	15.0	42.9	8.07	16.1	126	985	5380
		1996-2000			325	180	7.76	21.7	15.3	30.6	376	1160	5710
		2001-2005			282	192	2.55	75.3	22.7	45.5	226	636	4440
Тыль	г. Ноглики	2006-2010	90.0	7.72	299	154	4.48	83.7	17.5	35.1	218	364	5560
		2011-2015			374	119	3.79	164	6.76	13.5	172	533	6140
		1981-1985			2.67	0.384	0.011	0.307	0.039	0.182	3.98	11.2	58.4
		1986-1990			2.16	0.626	0.039	0.173	0.086	0.172	2.79	9.72	34.3
		1991-1995			2.74	0.375	0.020	0.044	0.054	0.166	1.59	13.9	46.1
Поро-най	г. Поро-найск	1996-2000	168	3.42	2.94	0.244	0.018	0.166	0.061	0.168	2.19	23.6	46.8
		2006-2010			3.58	0.145	0.005	0.392	0.029	0.129	1.81	15.7	39.3
		2011-2015			3.81	0.072	0	0.396	0.032	0.074	2.36	17.6	40.9
		1981-1985			2.96	0.445	0.027	0.612	0.161	0.365	5.94	10.1	81.2
		1986-1990			2.03	0.250	0.023	0.307	0.019	0.038	2.36	5.95	56.6
Поро-най	г. Поро-найск	1991-1995	1.50	6.08	2.62	0.175	0.032	0.135	0.013	0.178	2.54	10.0	116
		1996-2000			2.55	0.143	0.013	0.112	0.011	0.161	2.19	9.47	111
		2001-2005			2.55	0.169	0.018	0.126	0.021	0.178	1.73	10.0	69.9
		2006-2010			2.57	0.130	0.017	0.221	0.019	0.183	1.18	11.9	77.9
		2011-2015			2.57	0.239	0.020	0.195	0.044	0.171	1.37	11.3	67.7

В 1981-1995 гг. в бассейне *Берингова моря* р. Анадырь в среднем транспортировано от 5% до 15% биогенных и органических компонентов от их стока в Тихий океан (Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016).

Вынос данной рекой аммонийного, нитритного и нитратного азота составил 30.4, 0.334 и 7.09 тыс. т. Отношение стока  $N_{NH_4^+}/N_{NO_3^-}$  варьировало в пределах от 3:1 до 10:1. Экспорт соединений минерального азота неизменно повышался – в первой половине 1990-х гг. сток аммонийного азота возрос в 2.5 раза, нитритного и нитратного – на порядок. Соотношение стока  $Si/N_{мин}$  уменьшилось вчетверо в результате существенного роста техногенного выноса азота. При несколько снизившейся водности реки увеличение стока соединений азота обусловлено повышением загрязненности воды этими элементами. Антропогенная доля стока нитратного азота возросла от 18% до 41% и 94% общего выноса ингредиента. Таким образом, в ходе ТС стока нитратного азота р. Анадырь имел значительный положительный тренд, как и в динамике общего выноса этого элемента и суммы минеральных форм азота (табл. 2).

**Таблица 2.** Многолетняя среднегодовая антропогенная составляющая речного стока биогенных элементов и органических веществ в моря Тихого океана, тыс. т

Река	Пункт	Расстояние от устья, км	Период, год	Азот нитратный	Фосфор		Органические вещества
					минеральный	общий	
Берингово море							
Анадырь	свх. «Снежное»	254	1981-1985	0.705	-0.274	-0.545	-180
			1986-1990	1.50	0.930	1.86	5.00
			1991-1995	1.52	4.52	8.98	14.0
Охотское море							
Гижига	в 20 км от устья	20.0	1981-1985	0.120	-0.026	-0.050	-20.6
			1986-1990	–	-0.020	-0.040	-14.8
			1991-1995	0.982	-0.004	-0.007	-30.1
Тауй	с. Талон	36.0	1981-1985	0.316	–	–	-101
			1986-1990	0.596	–	–	-93.0
			1991-1995	1.08	-0.131	-0.262	-46.5
			1996-2000	1.63	-0.162	-0.324	-144
			2001-2005	1.24	-0.066	-0.130	-104
			2006-2010	0.519	-0.137	-0.274	-92.5
Амур	с. Богородское	238	2011-2015	0.400	-0.148	-0.296	–
			1981-1985	9.00	6.76	13.6	1480
			1986-1990	20.6	7.50	15.0	966
			1991-1995	28.8	4.90	9.78	1600
			1996-2000	–	12.1	24.2	1880
			2001-2005	58.8	19.8	39.6	1330
			2006-2010	70.7	14.2	28.6	2640
2011-2015	146	2.33	4.64	2920			

**Примечание.** Прочерк – достоверные результаты не получены

За период наблюдений сток минерального и общего фосфора данной рекой составлял в среднем 2.31 и 4.61 тыс. т в год. По сравнению с 1980-ми гг. вынос этих элементов увеличился в 7 раз. Соотношения стока  $\text{Si}/\text{P}_{\text{мин}}$  и  $\text{Si}/\text{P}_{\text{общ}}$  снизились в 4 и 2 раза вследствие значительного повышения АС выноса соединений фосфора. Антропогенная часть в стоке минерального и общего фосфора р. Анадырь, составившая во второй половине 1980-х гг. 50%, в 1991-1995 гг. увеличилась до 83% всего их переноса, что указывает на восходящую тенденцию ее формирования в регионе.

Среднемноголетний вынос общего железа и кремния составил 11.6 и 149 тыс. т. Соотношение стока этих элементов варьировало по пятилетиям от 1:11 до 1:22, что значительно выше показателей большинства тихоокеанских, а также арктических рек.

За период 1981-1995 гг. р. Анадырь ежегодно переносила 416 тыс. т ОВ. В последнем изученном пятилетии сток ОВ возрос в 1.25 раза. В 1971-1985 гг. отрицательные значения АС стока ОВ неизменно уменьшались и в 1986-1995 гг. техногенная доля составила 1-3% общего выноса компонента, т. е. в бассейне р. Анадырь наблюдался положительный тренд стока водного гумуса и его АС. Региональные особенности гидрохимического стока на водосборе Берингова моря и в бассейнах большинства тихоокеанских и арктических рек сходны.

На водосборе *Охотского моря* в многолетнем среднем перенесено 70-94% биогенных и органических веществ от контролируемого их стока в российском бассейне Тихого океана.

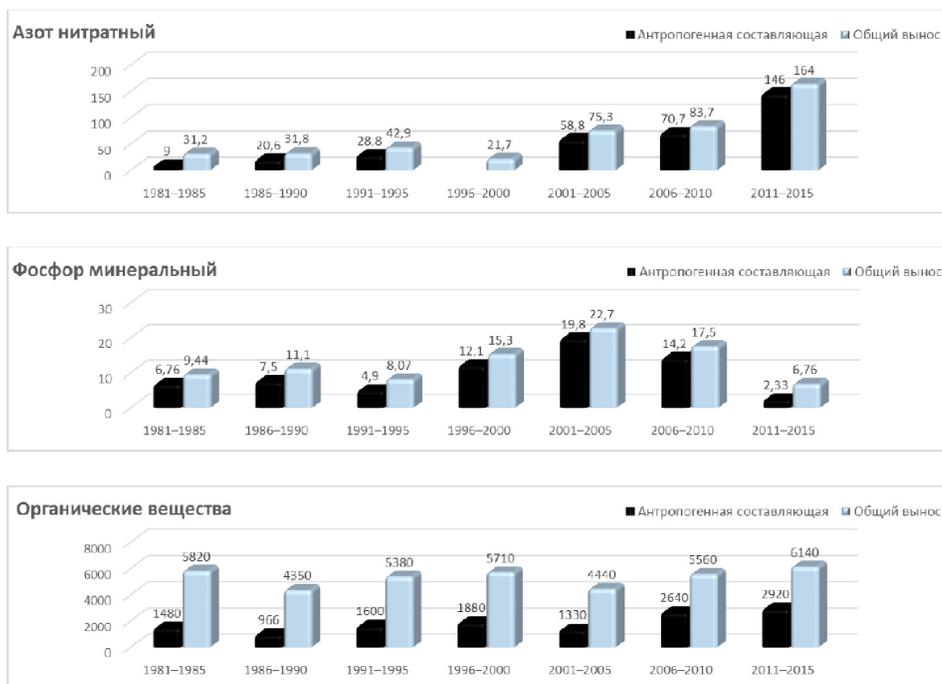
За 35-летний период эксплуатации р. Амур экспортировано в среднем за год 225 тыс. т минерального азота, или 96% изученного стока. Отношение стока  $\text{N}_{\text{NH}_4^+}/\text{N}_{\text{NO}_3^-}$  р. Амур по пятилетиям варьировало в диапазоне 0.7-8.3%. Наименьшими они были в р. Поронай, наибольшими в р. Тауй с сильнее заболоченным водосбором. Это отношение в р. Амур значительно снижалось в 2000-е гг. по мере быстрого экономического роста в регионе р. Сунгари в северо-восточной части Китая. Лидирующая позиция р. Амур по стоку соединений минерального азота обусловлена не столько ростом загрязнения воды в отечественной части водосбора, сколько резко возросшим сбросом этих и других веществ на смежной зарубежной территории. На 90% масса загрязняющих веществ в р. Амур является транзитной. В 2011-2015 гг. сток нитратного азота увеличился р. Амур в 5.3, реками Тауй, Тымь – в 1.3 раза, р. Поронай снизился в 3.1 раза. Вынос аммонийного азота реками Тымь и Поронай сократился в 5.3 и 1.9 раза. Изменения стока соединений азота зависели в основном от гидрохимического режима, реже также существенно от водности рек, или от совместного влияния этих двух факторов.

Техногенная доля стока нитратного азота сформирована главным образом в южной освоенной части бассейна Охотского моря и Тихого океана. В стоке этого элемента р. Гижига АС возросла от 32% в 1981-1985 гг. до 74% в 1991-1995 гг.; р. Тауй – от 14% до 90%; р. Амур – от 29% до 67%, в 2000-е гг. – до 78-89% всего выноса (см. табл. 1 и 2, рис. 1).

Таким образом, в бассейнах рек Берингова моря, северной части Охотского моря и особенно р. Амур на сильно заболоченных территориях развиты поло-

---

жительные естественные аномалии стока аммонийного азота. Вследствие нарастающего загрязнения речных вод в российской части водосбора и в основном резко возросшего трансграничного переноса в особенности азота р. Сунгари с территории КНР интенсивно формируются положительные природно-техногенные аномалии стока нитратного азота в нижней части бассейна р. Амур.



**Рисунок 1.** Динамика общего и техногенного выноса нитратного азота, минерального фосфора и органических веществ р. Амур за пятилетние периоды 1981-2015 гг. (тыс. т)

Минеральный и общий фосфор транспортирован р. Амур в количестве 13.0 и 26.0 тыс. т в год, или 98% измеренного стока в Охотском бассейне. Большой сток соединений фосфора р. Амур также связан с массовым трансграничным переносом элементов р. Сунгари с зарубежной территории, благодаря чему она наряду с р. Обь занимала ведущие позиции в стране. По сравнению с 1981-1985 гг. сток минерального азота реками Поронай и Амур понизился в 3.7 и 3.4, Тауй и Тымь – 1.8 и 1.2 раза; вынос общего фосфора реками Тымь и Поронай – в 2.5 и 2.1, Тауй и Амур – 1.8 и 1.4 раза.

Антропогенная часть стока минерального и общего фосфора р. Амур составляла в 1971-1975 гг. 37%, в 1981-1985 гг. возросла до 72%, в последующие периоды – до 82% общего стока элементов. Для рек Гижига, Тауй АС рассчитана в отрицательных величинах, т. е. здесь не сформирована. Значит, положительная динамика общего и техногенного стока соединений фосфора, как и азота, характерна для освоенной южной части бассейнов Охотского и Японского морей (Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016).

За 1981-2015 гг. р. Амур перенесено более 90% общего железа и кремния (200 и 789 тыс. т. в год). Высокий сток общего железа обусловлен болотным питанием реки. Сток общего железа выше нитратного азота реками Пороной и Тымь на порядок, Тауй и Амур – вчетверо. Вынос общего железа реками Пороной и Тымь в последнее пятилетие снизился в 4.3 и 1.7, р. Амур – 1.1 раза; сток кремния – р. Амур вдвое.

В среднем ежегодно р. Амур экспортировано 5.34 млн т ОВ, или 95% учтенного стока компонента в бассейне Охотского моря. На легкоокисляемые фракции приходилось от 39% в лесостепи и степи до 43% в южной тайге и смешанных лесах. Отношение ОВ/БЭ в реках Амур и Пороной вдвое выше, чем в реках Тауй и Тымь, на возвышенных водосборах которых запасы биомассы меньше. Вынос ОВ реками Тауй и Амур возрос в 1.8 и 1.1 раза, реками Тымь и Пороной понизился в 1.4 и 1.2 раза из-за соответствующего режима концентрации компонента и водности.

Техногенная компонента стока ОВ р. Амур в 1971-1975 гг. составляла 22% общего стока. В последующие периоды она была на уровне 30%, в 2006-2015 гг. увеличилась до 48% всего стока аквагумуса. Для других рек морского бассейна положительные значения АС стока ОВ не выявлены.

Итого в бассейне Охотского моря транспортировано 69-94% биогенных и органических веществ от их стока в бассейне Тихого океана. Камчатский вулканический регион выделяется максимальным выносом кремния, наиболее высокими отношениями стока  $Si/N_{мин}$ ,  $Si/Fe_{общ}$ , минимальным отношением переноса ОВ/БЭ. В северной части бассейна имеются отрицательные аномалии стока нитритного азота. В регионах Среднего и Нижнего Амура сформированы положительные антропогенные и природно-техногенные аномалии стока нитратного азота вследствие трансграничного переноса р. Сунгари с китайской территории; положительные естественные аномалии стока аммонийного азота, общего железа, ОВ. Также к важным особенностям гидрохимического стока в бассейне данного моря относятся: многократное превышение выноса аммонийного азота, общего железа над нитратным азотом. Антропогенная слагаемая стока нитратного азота составляла 29-91%; минерального и общего фосфора – 34-87%; ОВ – 22-48% всего стока компонентов.

В бассейне *Японского моря* в 1981-1985 гг. среднегодовой сток реками Тумнин и Суйфун минерального азота, фосфора, общего железа, кремния, ОВ составлял соответственно 1.51, 0.129, 2.72, 26.2, 110 тыс. т (Смирнов, 1994, 2009, 2015, 2016). На сток аммонийного, нитритного, нитратного азота приходилось 66%, 2%, 32% суммарного выноса минеральных форм. Соотношения стока  $N_{NH_4^+}/N_{NO_3^-}$  и  $P_{мин}/P_{общ}$  были равны 2:1 и 1:2,  $N_{мин}/P_{мин} - 12$ ,  $Si/Fe_{общ} - 9.6$ ,  $Fe_{общ}/N_{NO_3^-} - 5.6$ . Следовательно, перенос аммонийного азота превышал сток нитратного азота вдвое, как и сток общего фосфора – экспорт минерального фосфора; вынос общего железа меньше стока кремния на порядок, больше переноса нитратного азота почти в 6 раз. По этим показателям реки бассейна Японского моря сходны со многими тихоокеанскими и арктическими реками. Антропогенная слагаемая стока минерального фосфора р. Тум-

нин составляла 12% (0.011 тыс. т), р. Суйфун – 27% (0.010 тыс. т), ОВ р. Суйфун – 12% (2.80 тыс. т) всего выноса ингредиентов. Соотношение АС стока  $P_{\text{мин}}/P_{\text{общ}}$  было равным 1:2. Региональные особенности гидрохимического стока в бассейне Японского моря и большинства водосборов тихоокеанских рек сходны.

В целом в 1981-2015 гг. в замыкающие створы рек бассейна Тихого океана перенесено от 1/6 до 1/4 экспортируемых с территории России БЭ и ОВ. По убыли стока этих веществ моря Тихого океана располагаются в ряд: Охотское, Берингово, Японское.

В 2011-2015 гг. по сравнению с 1981-1985 гг. водный сток рек Тауй и Тымь возрос в 1.4 раза, Поронай и Амур снизился в 1.2 и 1.05 раза; общий речной сток в Охотское море – в 1.04 раза.

За это время вынос аммонийного азота уменьшился р. Тымь в 5.3, р. Поронай – 1.9, реками Камчатка и Амур – 1.4 и 1.3 раза; в Охотское море – в 1.3 раза. Сток нитратного азота увеличился реками Амур и Камчатка в 5.3 и 2.3, Тауй, Тымь – 1.3, в Охотское море – 5.1 раза и снизился р. Поронай в 3.1 раза. Антропогенная слагаемая стока нитратного азота увеличилась р. Амур более чем на порядок, р. Тауй в 1.3 раза. Динамика стока соединений минерального азота, других БЭ и его АС обусловлена изменениями уровня загрязненности воды и водности рек.

Сток минерального фосфора сократился реками Поронай, Амур и Тауй в 3.7, 3.4 и 1.8, реками Камчатка и Тымь в 1.2 раза; в Охотское море – 1.4 раза; общего фосфора реками Тымь, Поронай и Тауй – в 2.5, 2.1 и 1.8, Амур и Камчатка – в 1.4 и 1.3, в Охотское море – 1.4 раза. Антропогенная компонента стока соединений фосфора в 2000-е гг. увеличилась в 2-3 раза, лишь в 2011-2015 гг. снизилась в таком же количестве.

Экспорт общего железа убавился реками Поронай и Тымь в 4.3 и 1.7, Камчатка и Амур – 1.2 и 1.1 раза; в Охотское море – в 1.1 раза.

Вынос кремния возрос реками Тымь и Поронай в 1.6 и 1.4 раза; р. Амур понизился вдвое, в Охотское море – в 1.8 раза.

Перенос ОВ увеличился реками Тауй и Амур в 1.8 и 1.1 раза, в Охотское море – 1.06 раза и уменьшился реками Тымь, Камчатка и Поронай в 1.4, 1.3 и 1.2 раза.

Региональные особенности структуры речного стока в бассейне Тихого океана следующие:

- второй по количеству среднемноголетний сток соединений БЭ и ОВ после бассейна Северного Ледовитого океана (12-24% от их стока с территории России);

- значительный вынос легкоокисляемых фракций ОВ реками таежно-лесных районов (39 - 43%), реками гор с лесо-луговыми (41%), тундрово-таежными (50%), тундрово-арктическими (62%) типами вертикальной поясности;

- многократное преобладание стока реками бескислородных соединений азота над окисленными в бассейнах морей Берингова, Охотского; только в стоке минерального азота реками Камчатка и Поронай окисленные формы превышали неокисленные;

- сток общего железа реками, как и в Арктическом бассейне, гораздо выше выноса нитратного азота (от 2 раз до порядка); в бассейнах Атлантических и Каспийского морей, напротив, сток нитратного азота больше выноса общего железа в пять раз и вдвое;

- развитые положительные естественные и природно-техногенные аномалии стока аммонийного, нитратного, нитритного азота, общего железа, ОВ, минерального и общего фосфора, образующие сложный комплекс аномалий массопереноса в южной освоенной части Тихоокеанского бассейна;

- резкое увеличение положительных антропогенных и природно-техногенных аномалий стока соединений минерального азота, минерального и общего фосфора в среднем и нижнем течении р. Амур вследствие интенсивно нарастающего трансграничного переноса большого количества загрязняющих веществ р. Сунгари с северо-восточной территории Китая;

- отрицательные естественные аномалии стока нитритного азота в северной части Тихоокеанского бассейна;

- уникальный гидрохимический сток р. Камчатка в вулканическом регионе, отличающийся очень высоким среднесуточным выносом кремния (270 тыс. т), значительно превосходящим сток этого элемента многими гумидными реками; редким, даже во влажных районах АТР, высоким преобладанием выноса нитратного азота над аммонийным (в 4 с лишним раза); максимальным в стране отношением стока  $Si/N_{\text{мин}}$  (более 80), многократно превышающим аналогичные показатели всех рек; наибольшим отношением стока  $Si/Fe_{\text{общ}}$  (около 30); минимальными в РФ отношениями стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  (2.2) и ОВ/БЭ (0.59);

- за многолетний период р. Амур занимала второе место по стоку аммонийного азота, минерального и общего фосфора (после р. Обь), нитратного азота (за р. Волга), в последнем рассматриваемом пятилетии вышла на ведущую позицию, превосходя р. Волга втрое, четвертое – по выносу ОВ (после рек Енисей, Обь, Лена);

- техногенная слагаемая стока нитратного азота, составлявшая в различные пятилетние периоды 29-91% всего выноса, по сравнению с 1981-1985 гг. увеличилась реками Амур, Анадырь многократно, Тауй – 1.3 раза; АС стока минерального и общего фосфора, изменявшаяся от 34% до 87%, возросла реками Анадырь в пять раз (за изученные периоды), р. Амур – вдвое (в 2000-е гг.), в 2011-2015 гг. сократилась; ТС стока ОВ, колебавшаяся от 22% до 48% всего стока аквагумуса, повысилась вдвое.

Вследствие общности природных и экономических факторов формирования основные показатели материкового стока в бассейнах Тихого и Северного Ледовитого океанов идентичны.

В 1981-2015 гг. в Тихоокеанском и Северном Ледовитом бассейнах в среднем ежегодно реками вынесено от 53% до 96% БЭ и ОВ от рассчитанного стока с территории России.

Среднесуточный массоперенос в этих океанических бассейнах, отличающийся по количеству и структуре от бассейнов Атлантических и Каспийского морей, одинаково характеризуется многократным превышением

---

неокисленных соединений азота над окисленными, общего железа против нитратного азота, высоким выносом легкоокисляемых фракций (от 39% до 62% стока всего ОВ), наличием отрицательных естественных аномалий переноса нитритного азота, развитием положительных естественных и природно-техногенных аномалий экспорта ОВ, неокисленных и окисленных форм азота, соединений фосфора, железа, кремния образующие сложные комплексы аномалий материкового стока.

Главные реки Тихоокеанского и Арктического бассейнов – Амур, Енисей, Обь, Лена занимали лидирующие позиции в стране по стоку БЭ и ОВ. Эти реки, в особенности Амур и Обь, вследствие уникальной заболоченности водосборов очень сходны по формированию положительных естественных и природно-техногенных аномалий стока аммонийного, нитритного, нитратного азота, минерального и общего фосфора, ОВ, соединений железа.

По сравнению с бассейнами Атлантического океана и Каспийского моря антропогенные слагаемые стока нитратного азота, минерального и общего фосфора, ОВ сформированы в Тихоокеанском и Арктическом бассейнах позже во времени, в наиболее освоенных районах, не имеют пространственно сомкнутых ареалов, доли их в общем выносе ингредиентов существенно ниже. Техногенные компоненты стока веществ реками на Азиатской территории менее устойчивы, чем в Европейской части; в этом огромную роль играют более позднее хозяйственное освоение, обширность водосборных бассейнов, более высокая водность рек, меньшая заселенность, сырьевая ориентация экономики.

## Выводы

Материковый сток в Тихоокеанском и Арктическом бассейнах имеет следующие основные особенности:

- максимальный сток большинства ингредиентов (85-95% от всего стока с территории РФ);
- многократное превышение восстановленных соединений азота над окисленными (водосборы Тихоокеанского от 2 до 6 раз, Арктического бассейна – от 4 до 30 раз);
- большой перевес стока общего железа над нитратным азотом (от нескольких раз до порядка и выше);
- высокий вынос легкоокисляемых органических веществ (от 39% до 62% стока общего аквагумуса), сопоставимый со стоком трудноокисляемых фракций;
- наличие отрицательных естественных аномалий стока нитритного азота в экономически мало освоенных регионах с резкоконтинентальным климатом, господством мерзлотных и болотных почв;
- наличие положительных естественных и природно-техногенных аномалий стока ОВ, кремния, бескислородных и окисленных форм азота, соединений фосфора, железа, образующих сложные комплексы аномалий массопереноса;

- уникальный гидрохимический сток р. Камчатка в вулканическом регионе, отличающийся очень высоким выносом кремния (270 тыс. т), значительно превосходящим многие сопоставимые гумидные реки, преобладанием выноса нитратного азота над аммонийным (в 4 раза), максимальным в РФ отношением стока  $Si/N_{\text{мин}}$  (81), многократно превышающим показатели всех рек страны, наибольшим в РФ отношением стока  $Si/Fe_{\text{общ}}$  (29), минимальными в стране отношениями стока  $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$  (2.2) и ОВ/БЭ (0.59);

- лидирующие позиции крупнейших рек Тихоокеанского и Арктического бассейнов по стоку БЭ и ОВ (Амур, Обь, Енисей, Лена);

- наименьшие относительные доли антропогенной составляющей в стоке нитратного азота, минерального и общего фосфора, ОВ, в 1.5-2 раза уступающие этим показателям в Атлантическом и Каспийском бассейнах.

### Список литературы

Алекин О.А., Бражникова Л.В. 1964. Сток растворенных веществ с территории СССР. – М., Наука, 144 с.

Артемьев В.Е. 1993. Геохимия органического вещества в системе река–море. – М., Наука, 204 с.

Воронов Б.А. 2005. Экокризис в бассейне Амура. – Сибирь и Восток России, № 1-2 (14-15), с. 60-70.

Коронкевич Н.И. 1973. Преобразование водного баланса. – М., Наука, 119 с.

Левшина С.И. 2005. Динамика органического вещества в водах Амура в районах крупных городов. – География и природные ресурсы, № 4, с. 42-47.

Максимова М.П. 2012. Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря. – Вестн. Моск. гос. обл. ун-та. Сер. Естеств. Науки, № 2, с. 89-96.

Махинов А.Н. 2002. Россия и Китай на Амуре – проблема экологии. – Сибирь и Восток России, № 1-2 (9), с. 68-73.

Моисеенко Т.И., Руднева И.И. 2008. Глобальное загрязнение и функции азота в гидросфере. – Докл. РАН, т. 420, № 3, с. 395-400.

Никаноров А.М. 2011. Региональная гидрохимия. – Ростов-на-Дону, НОК, 289 с.

Пелешенко В.И. 1975. Оценка взаимосвязи химического состава различных типов природных вод. – Киев, Вища школа, 168 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. 1999. Геохимия ландшафта. – М., Астрель – 2000, 768 с.

Скопинцев Б.А., Крылова Л.П. 1955. Вынос органического вещества крупнейшими реками Советского Союза. – Докл. АН СССР, т. 105, № 4, с. 770-773.

Смирнов М.П. 1994. Оценка стока биогенных элементов и его антропоген-

---

---

ной составляющей в моря Северного Ледовитого и Тихого океанов. – Гидрохим. Материалы, т. 113, с. 86-113.

Смирнов М.П. 2009. Оценка общего и техногенного речного стока органического вещества с территории СССР. – Вод. Ресурсы, т. 36, № 6, с. 683-693.

Смирнов М.П. 2015. Органические вещества и минерализация речных вод России, СНГ, Балтии. – Ростов-на-Дону, НОК, 360 с.

Смирнов М.П. 2016. Природный и антропогенный сток биогенных элементов и органических веществ с территории России. – Ростов-на-Дону, НОК, 132 с.

Смирнов М.П. 2017. Многолетняя динамика общего и техногенного стока биогенных элементов и органических веществ реками бассейнов арктических морей – Сб. «Вопросы географии», № 142.

Черногаева Г.М., Кузьмич В.Н., Бердников С.В. 2003. Проблема нормирования стока химических веществ с водосборной территории – Метеорология и гидрология, № 3, с. 75-86.

Шестеркин В.П. 1991. О влиянии болот на гидрохимический режим р. Горин. – Матер. науч. конф. по пробл. вод. ресурсов Дальневост. экон. р-на и Забайкалья. – СПб., с. 469-471.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2010. Трансграничное загрязнение Амура. – Матер. Третьей всерос. конф. с междунац. Участием «Фундам. проблемы воды и водных ресурсов», Барнаул, 24-28 августа 2010. – Барнаул, Изд-во АРТ, с. 308-311.

Guo Laodong, Ping Chien-Lu, Macdonald Robie W. 2007. Mobilization pathways of organic carbon from permafrost to arctic rivers in a changing climate – Geophys. Res. Lett., vol. 34, No. 13, pp. 13603/1 - 13603/5.

Green Pamela A., Vorosmarty Charles J., Meybeck Michel, Galloway James N., Peterson Bruce J., Boyer Elizabeth W. 2004. Pre-industrial and contemporary fluxes of nitrogen through rivers: a global assessment based on typology. – Biogeochemistry, vol. 68, No. 1, pp. 71-105.

Guyot Jean Loup, Wasson Jean Gabriel. 1994. Regional pattern of riverine dissolved organic carbon in the Amazon drainage basin of Bolivia. – Limnol. and Oceanogr., vol. 39, No. 2, p. 157.

Holbrook David R., Yen James, Grizzard Thomas D. 2006. Characterizing natural organic material from the Occoquan Watershed (Northern Virginia, USA) using fluorescence spectroscopy and PARAFAC. – Sci. Total Environ, vol. 361, No. 1-3, pp. 249-266.

Isaac G.E., David M.D. Gertner G.Z., Goolsby D.A. 2001. Nitrate flux in the Mississippi River. – Nature (Gr. Brit), vol. 414, No. 6860, pp. 166-167.

Michaelis W., Ittekkot V., Degens E. T. 1986. River inputs into oceans. – "Biogeochem. Process. Land – Sea Boundary". – Amsterdam e. a., pp. 37-52.

---

Schlesinger William H. 2009. On the fate of anthropogenic nitrogen. – Proc. Nat. Acad. Sci. USA, vol. 106, No. 1, pp. 203-208.

Turetsky M., R., Wieder R. K., Vitt D. H., Evans R. J., Scott K. D. 2007. The disappearance of relict permafrost in Boreal north America: Effects on peat land carbon storage and fluxes. – Glob. Change Biol., vol. 13, No. 9, pp. 1922-1934.

## References

Alekin O.A., Brazhnikova L.V. 1964. *Stok rastvorenykh veshchestv s territorii SSSR* [Stock of dissolved substances from the territory of the USSR]. Moscow, 144 p.

Artem'yev V.Ye. 1993. *Geokhimiya organicheskogo veshchestva v sisteme reka-more* [Geochemistry of organic matter in the river – sea system]. Moscow, 204 p.

Voronov B.A. 2005. Ekokrizis v bassejne Amura [Ecocrisis in the Amur basin]. *Sibir' i Vostok Rossii – Siberia and East of Russia*, № 1-2 (14-15), pp. 60-70.

Koronkevich N.I. 1973. *Preobrazovaniye vodnogo balansa* [Conversion of water balance]. Moscow, 119 p.

Levshina S.I. 2005. Dinamika organicheskogo veshchestva v vodakh Amura v rayonakh krupnykh gorodov [Dynamics of organic matter in the waters of the Amur River in the areas of large cities]. *Geografiya i prirodnyye resursy – Geography and natural resources*, no. 4, pp. 42-47.

Maksimova M.P. 2012. Vozdeystviye tekhnogeneza na gidrosferu. Metodika otsenki antropogennogo khimicheskogo rechnogo stoka v morya [The impact of technogenesis on the hydrosphere. Methodology for the assessment of anthropogenic chemical river runoff to the seas]. *Vestn. Mosk. gos. obl. un-ta. Ser. Yestestv. Nauki – Vestn. Mosk. state region un-that. Ser. Natures Science*, no. 2, pp. 89-96.

Makhinov A.N. 2002. Rossiya i Kitay na Amure – problema ekologii [Russia and China on the Amur - a problem of ecology]. *Sibir' i Vostok Rossii – Siberia and East of Russia*, no. 1-2 (9), pp. 68-73.

Moiseyenko T.I., Rudneva I.I. 2008. Global'noye zagryazneniye i funktsii azota v gidrosfere [Global pollution and nitrogen functions in the hydrosphere]. *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk – Reports of the Russian Academy of Sciences*, vol. 420, no. 3, pp. 395-400.

Nikanorov A.M. 2011. *Regional'naya gidrokhimiya* [Regional hydrochemistry]. Rostov-on-Don, 289 p.

Peleshenko V.I. 1975. *Otsenka vzaimosvyazi khimicheskogo sostava razlichnykh tipov prirodnykh vod* [Assessment of the relationship of the chemical composition of various types of natural waters]. Kiev, 168 p.

Perel'man A.I., Kasimov N.S. 1999. *Geokhimiya landshafta* [Landscape Geochemistry]. Moscow, 768 p.

---

---

Skopintsev B.A., Krylova L.P. 1955. Vynos organicheskogo veshchestva krupneyshimi rekami Sovetskogo Soyuzo [Removal of organic matter by the largest rivers of the Soviet Union]. *Dokl. AN SSSR – Report Academy of Sciences of the USSR*, vol. 105, no. 4, pp. 770-773.

Smirnov M.P. 1994. Otsenka stoka biogennykh elementov i yego antropogennoy sostavlyayushchey v morya Severnogo Ledovitogo i Tikhogo okeanov [Estimation of the runoff of nutrients and its anthropogenic component to the seas of the Arctic and Pacific Oceans]. *Gidrokhim. Materialy – Hydrochem. Materials*, vol. 113, pp. 86-113.

Smirnov M.P. 2009. Otsenka obshchego i tekhnogenogo rechnogo stoka organicheskogo veshchestva s territorii SSSR [Estimation of total and technogenic river flow of organic matter from the territory of the USSR]. *Vod. Resursy – Water Resources*, vol. 36, no. 6, pp. 683-693.

Smirnov M.P. 2015. *Organicheskiye veshchestva i mineralizatsiya rechnykh vod Rossii, SNG, Baltii* [Organic matter and mineralization of river waters of Russia, CIS, Baltic]. Rostov-on-Don, 360 p.

Smirnov M.P. 2016. *Prirodnyy i antropogennyy stok biogennykh elementov i organicheskikh veshchestv s territorii Rossii* [Natural and anthropogenic runoff of nutrients and organic matter from the territory of Russia]. Rostov-on-Don, 132 p.

Smirnov M.P. 2017. Mnogoletnyaya dinamika obshchego i tekhnogenogo stoka biogennykh elementov i organicheskikh veshchestv rekami basseynov arkticheskikh morey [Long-term dynamics of general and anthropogenic runoff of nutrients and organic matter by the rivers of the basins of the Arctic seas]. *Voprosy geografii – Questions of Geography*, no. 142.

Chernogayeva G.M., Kuz'mich V.N., Berdnikov S.V. 2003. Problema normirovaniya stoka khimicheskikh veshchestv s vodosbornoy territoriyu [The Problem of Standardizing the Flow of Chemicals from a Catchment Area]. *Meteorologiya i gidrologiya – Meteorology and Hydrology*, no. 3, pp. 75-86.

Shesterkin V.P. 1991. O vliyaniy bolot na gidrokhimicheskiy rezhim r. Gorin [On the influence of wetlands on the hydrochemical regime of r. Gorin]. *Mater. nauch. konf. po probl. vod. resursov Dal'nevost. ekon. r-na i Zabaykal'ya* [Proceedings of the scientific conference on the problems of water resources of the Far Eastern economic region and Transbaikalia]. St. Petersburg, pp. 469-471.

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. 2010. Transgranichnoye zagryazneniye Amura [Transboundary pollution of the Amur]. *Mater. Tret'yey vseros. konf. «Fundam. problemy vody i vodnykh resursov»*, Barnaul, 24-28 Avgusta 2010 [Materials of the Third All-Russian Conference "Fundamental Problems of Water and Water Resources", Barnaul, August 24-28, 2010]. Barnaul, pp. 308-311.

Guo Laodong, Ping Chien-Lu, Macdonald Robie W. 2007. Mobilization pathways of organic carbon from permafrost to arctic rivers in a changing climate – *Geophys. Res. Lett.*, vol. 34, No. 13, pp. 13603/1 - 13603/5.

---

Green Pamela A., Vorosmarty Charles J., Meybeck Michel, Galloway James N., Peterson Bruce J., Boyer Elizabeth W. 2004. Pre-industrial and contemporary fluxes of nitrogen through rivers: a global assessment based on typology. – *Biogeochemistry*, vol. 68, No. 1, pp. 71-105.

Guyot Jean Loup, Wasson Jean Gabriel. 1994. Regional pattern of riverine dissolved organic carbon in the Amazon drainage basin of Bolivia. – *Limnol. and Oceanogr.*, vol. 39, No. 2, p. 157.

Holbrook David R., Yen James, Grizzard Thomas D. 2006. Characterizing natural organic material from the Occoquan Watershed (Northern Virginia, USA) using fluorescence spectroscopy and PARAFAC. – *Sci. Total Environ.*, vol. 361, No. 1-3, pp. 249-266.

Isaac G.E., David M.D. Gertner G.Z., Goolsby D.A. 2001. Nitrate flux in the Mississippi River. – *Nature (Gr. Brit)*, vol. 414, No. 6860, pp. 166-167.

Michaelis W., Ittekkot V., Degens E. T. 1986. River inputs into oceans. – "Biogeochem. Process. Land – Sea Boundary". – Amsterdam e. a., pp. 37-52.

Schlesinger William H. 2009. On the fate of anthropogenic nitrogen. – *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, vol. 106, No. 1, pp. 203-208.

Turetsky M., Wieder R. K., Vitt D. H., Evans R. J., Scott K. D. 2007. The disappearance of relict permafrost in Boreal north America: Effects on peat land carbon storage and fluxes. – *Glob. Change Biol.*, vol. 13, No. 9, pp. 1922-1934.

*Статья поступила в редакцию: 14.03.2017*

*После переработки: 19.06.2017*