

УДК 556.545+550.424

## ВЛИЯНИЕ СТОКА р. АМУР НА БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ЖЕЛЕЗА В ОХОТСКОМ МОРЕ

© 2014 г. В. М. Шулькин<sup>1</sup>, И. А. Жабин<sup>2</sup>, А. А. Абросимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток

<sup>2</sup>Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, Владивосток

e-mail: shulkin@tig.dvo.ru

Поступила в редакцию 03.07.2011 г., после доработки 30.01.2012 г.

В статье рассматривается распределение солёности, взвеси, растворённых и взвешенных форм Fe в Амурском лимане и Сахалинском заливе при различном объёме речного стока в летний период. Показано, что влияние вариаций стока сказывается на составе поверхностного слоя эстуарных и прибрежных вод и нивелируется в пределах Сахалинского залива. На растворённое Fe дополнительное нивелирующее воздействие оказывают коагуляционные процессы при смешении речных и морских вод. Расчёт поглощения Fe планктоном указывает на определяющую роль продукционных процессов Сахалинского залива в дальнейшей миграции металла в Охотском море.

DOI: 10.7868/S0030157414010092

### ВВЕДЕНИЕ

Значительно повышенная концентрация растворённого железа в водах р. Амур по сравнению со среднемировыми показателями [5, 7], объём стока реки превышающий 300 км<sup>3</sup>/год, и очевидные доказательства выноса вод, находящихся под влиянием речного стока, через Сахалинский залив на восточное побережье о. Сахалин и их распространение к югу [11, 16], привели к формированию гипотезы об определяющей роли стока р. Амур в обеспечении железом Охотского моря, и, особенно его южной части [14]. Учитывая жизненно необходимую потребность железа для продукции фитопланктона в морских водах [8, 10], очевидна важность проверки этой гипотезы, напрямую связывающую процессы на водосборе р. Амур с продукционными процессами в Охотском море.

В результате интенсивных работ по совместно-му Российско-Японскому проекту “Амур-Охотск” получены уникальные материалы по распределению железа и других показателей в южной части Охотского моря и вариациям стока воды, железа и некоторых других соединений в среднем и нижнем течении р. Амур [2, 12, 13, 14, 15]. Анализу процессов в Амурском лимане и их влиянию на сток уделялось относительно меньше внимания, хотя для железа активно участвующего в биогеохимических процессах при изменении солёности, значение эстуарного этапа в миграции трудно переоценить.

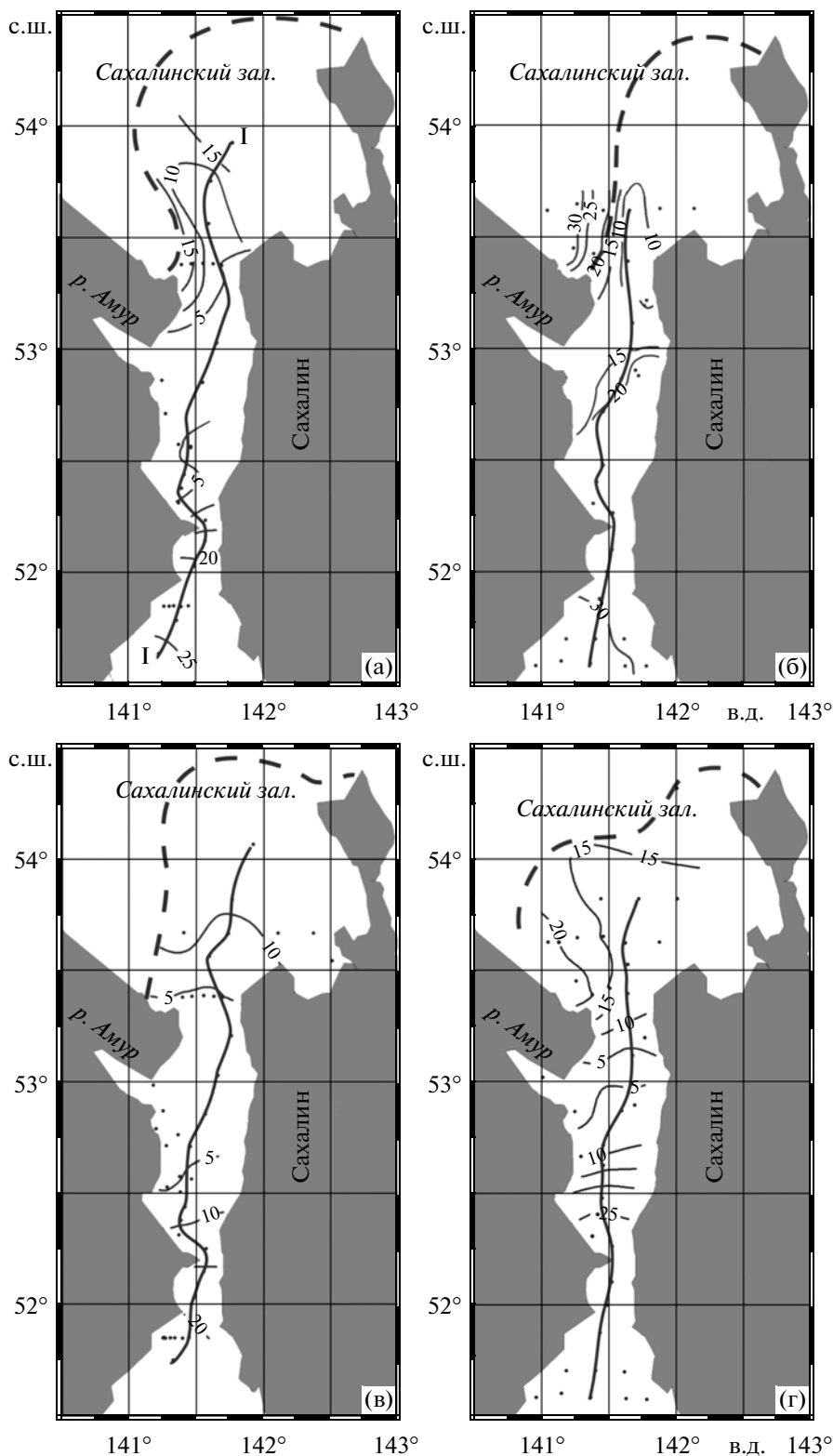
При рассмотрении биогеохимических процессов в сопряжённых экосистемах, каковыми являются нижнее течение р. Амур, эстуарий – Амурской лиман, и южная часть Охотского моря, в частности Сахалинский залив, важна теснота связи между ними, т.е. насколько процессы в экоси-

стемах влияют друг на друга. Для оценки влияния речного стока на прилегающие морские акватории ключевым является характер изменчивости солёности, которая является наиболее удобным консервативным параметром, отражающим соотношение речных и морских вод в прибрежных акваториях. Распределение других компонентов относительно солёности позволяет учесть изменение их концентрации за счёт смешения и указывает на наличие/отсутствие физико-химических или биогеохимических процессов в водах промежуточной солёности.

Целью данной работы является анализ распределения солёности, взвеси, растворённых и взвешенных форм железа в Амурском лимане и южной части Сахалинского залива в летний период, когда выносятся 87% годового стока [6]. Для оценки роли физических и биогеохимических факторов, контролирующих биогеохимический цикл Fe в Сахалинском заливе, будут оценены элементы баланса растворённых и взвешенных форм железа в заливе с учётом биоассимиляции фитопланктоном.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ распределения солёности основан на результатах 4 достаточно представительных отборов в середине июня 2005 г., в конце июля 2005 г., в начале июня 2006 г., и в начале июня 2007 г. (рис. 1). При этом расход реки в самом нижнем по течению гидрологическом створе п. Богородское (150 км выше устья) составлял 26500, 16228, 15000 и 14800 м<sup>3</sup>/с, соответственно, т.е. изменялся более чем в 1.8 раза. Данные по солёности получены при STD-зондировании зондом SBE 19 plus [2].



**Рис. 1.** Распределение солёности в поверхностном слое вод Амурского лимана в летний период при различной величине речного стока: (а) – июнь 2005, 25600 м<sup>3</sup>/с, (б) – июль 2005, 16228 м<sup>3</sup>/с, (в) – июнь 2006, 15000 м<sup>3</sup>/с, (г) – июнь 2007, 14800 м<sup>3</sup>/с. Штриховой линией показано положение северной границы стоковой линзы по данным снимков спутника NOAA в ИК диапазоне. По оси лимана нанесена линия разреза I-I к рис. 2.

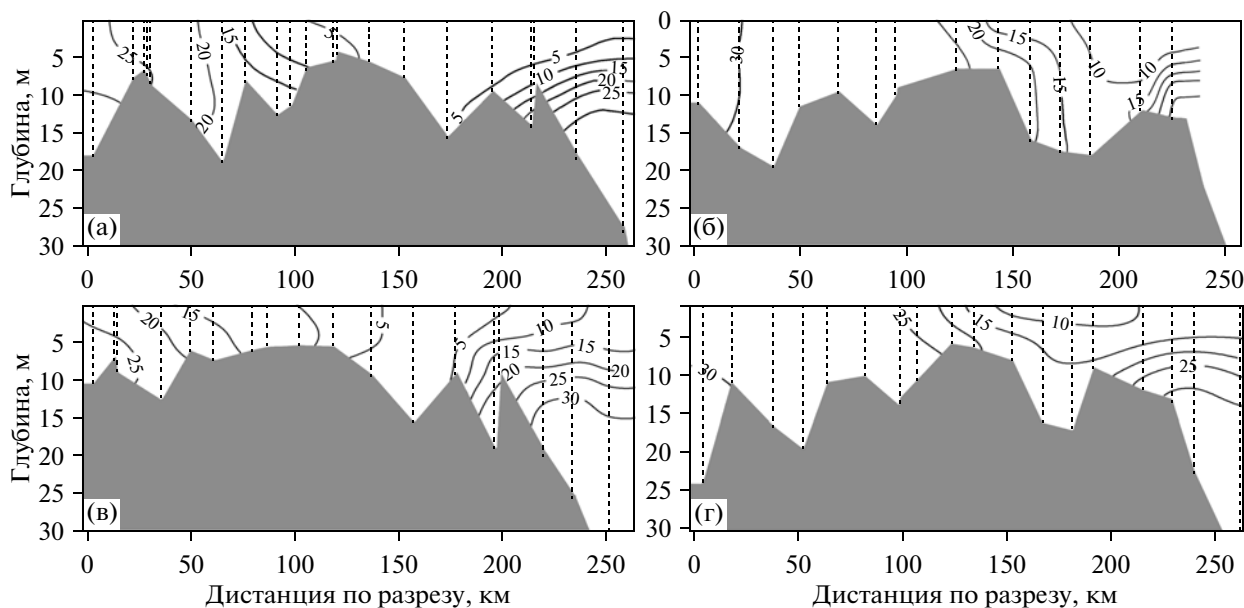


Рис. 2. Распределение солёности (psu) в толще вод по оси Амурского лимана при различной величине стока в летний период, (а, б, в, г) – см. рис. 1.

Данные по взвеси и концентрации форм железа приведены по результатам отборов 14–17 июля 2005 г. и 7–13 июня 2007 г. Пробы на содержание взвеси и форм Fe отбирали пластиковым батометром “HYDRO-BIOS-KIEL” на капроновом фале с резиновой лодки во избежание загрязнения от корпуса судна. Растворенные формы отделяли сразу после отбора фильтрацией через капсульный фильтр Pall GWV с размером пор 0.45 мкм. Параллельную аликвоту 1–2 л фильтровали через предварительно взвешенные фильтры Millipore с тем же размером пор для определения содержания взвеси и взвешенных форм Fe. Количество растворенных форм Fe определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Shimadzu6800 после концентрирования в 100 раз в системе диэтилдитиокарбаминат-Na – хлороформ. Содержание Fe во взвеси определяли тем же методом после разложения фильтров со взвесью смесью HF–HNO<sub>3</sub>. Кроме того, в июле 2003 г. в Сахалинском заливе было отобрано 4 пробы планктона путем драгирования поверхностного (1–2 м) слоя воды планктонной сетью с размером ячеек 0.05 мм. Просмотр собранного материала под микроскопом показал, что его большая часть представлена диатомовым фитопланктоном, который является основным первичным продуцентом в Охотском море. Пробы планктона разлагали и анализировали аналогично взвеси. Правильность определения Fe контролировали методом стандартных добавок (растворенные формы) и одновременным анализом стандартного образца BCSS-1 (взвешенные формы и планктон). Расхождение с паспортными данными не превышало 10–12%.

Основное внимание уделено распределению параметров к северу от устья р. Амур, поскольку в теплое время года сток реки направлен в основном в Охотское море [2].

Гидрологические разрезы построены при помощи программы ODV (Schlitzer R. Ocean Data View, <http://www.awi-bremerhaven.de/GEO/ODV>).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение солёности в Амурском лимане и в южной части Сахалинского залива в летний период при различной величине речного стока приведено на рис. 1. Здесь же изображено положение северной границы стоковой линзы р. Амур фиксируемой по данным съемки в инфракрасном диапазоне спутником NOAA в периоды отбора проб. На рис. 2 изображено распределение солёности в толще вод Амурского лимана по осевым разрезам.

Анализ данных по распределению солёности показывает, что: 1) независимо от расхода, южная часть Амурского лимана достаточно перемешана, тогда как в северной части лимана и, особенно в южной части Сахалинского залива, наблюдается стратификация с термохалинным скачком на глубине 10–12 м (рис. 2); 2) сезонные вариации расхода реки от 16 228 до 26 500 м<sup>3</sup>/с сопровождаются значительными изменениями в пространственном распределении солёности в верхнем 5–7 м перемешанном слое, особенно в пределах лимана (рис. 1); 3) вариации расхода реки практически не влияют на положение слоя скачка и не ведут к изменению солёности глубже 12 м (рис. 2).

Детальное рассмотрение изменчивости солености поверхностного слоя вод (рис. 1) позволяет констатировать, что наиболее явную связь с изменением величины речного стока демонстрирует положение изохалин 5 и 10‰. При этом изохалина 5‰ не выходит за пределы Амурского лимана независимо от наблюдавшихся расходов реки. Положение изохалин 10 и 15‰ контролируется в большей степени гидрометеорологическими условиями в Сахалинском заливе в период отбора. Так сильный южный и юго-западный ветер, наблюдавшийся в июле 2005 г. и в июне 2007 г., привел к смещению изохалин 10 и, особенно 15‰ севернее, чем в июне 2005 г., хотя расход реки в последнем случае был в 1.7–2.5 раза выше (рис. 1). Во время обсуждаемых в данной работе отборов изохалина 10‰ не смещалась севернее середины Сахалинского залива. Таким образом, линза прибрежно-морских вод распресненных за счет стока р. Амур, расположена в восточной части Сахалинского залива и имеет соленость 10–25‰. Ее северная граница, маркируемая в летнее время по спутниковым данным в инфракрасном диапазоне, не выходит за пределы Сахалинского залива (рис. 1), несмотря на значительные (до 2.5 раз) вариации исходного речного стока. Объем линзы, конечно, зависит от величины речного стока, но площадь и конфигурация определяются, прежде всего, гидрометеорологическими условиями на акватории залива. По данным [2] стоковая линза имеет среднюю соленость 16.5‰, при площади и объеме около 5900 км<sup>2</sup> и 31.4 км<sup>3</sup>, соответственно. Именно эти воды при соответствующих гидрометеорологических условиях могут постепенно смешиваясь с морскими водами перемещаться вдоль северного и восточного побережья о. Сахалин вплоть до зал. Терпения.

Распределение взвешенного материала в пределах Амурского лимана и прилегающих морских акваторий изучено достаточно детально [1]. По нашим данным в июле 2005 при малом расходе и содержании взвеси в низовьях р. Амур 33–46 мг/л воды с содержанием взвеси более 5 мг/л располагались практически целиком в пределах Амурского лимана. В июне 2007 г. хотя концентрация взвеси в исходных речных водах изменилась незначительно (30–32 мг/л), увеличение расхода воды в 1.5 раза привело к увеличению твердого стока, и к существенному возрастанию размера акватории с содержанием взвеси от 5 до 10 мг/л (рис. 3).

Главной особенностью поведения растворенных форм Fe при смешении речных и морских вод является быстрый переход во взвесь за счет комплекса коагуляционных процессов [17] при солености менее 5‰, то есть, в нашем случае, в пределах Амурского лимана (рис. 4а). Ускоренное снижение концентрации растворенного Fe с ростом солености до 5‰ происходит при любом исходном содержании Fe в речных водах. При этом 2-х кратное

превышение растворенного Fe в водах Амура в летнюю межень 2005 г. по сравнению со спадом весеннего половодья в июне 2007 г., сопровождается лишь незначительным увеличением средней концентрации растворенного Fe с  $4.0 \pm 2.1$  до  $5.0 \pm 2.9$  мкг/л в водах с соленостью более 15‰ (рис. 4а). Таким образом, ускоренное выведение Fe из раствора на начальных этапах смешения снижает влияние вариаций речного стока на поступление растворенных наиболее биодоступных форм металла в море.

На распределении взвешенных форм Fe удаление металла из раствора не сказывается за счет того, что исходное содержание взвешенных форм Fe в речных водах Амура (800–1500 мкг/л) значительно выше, чем концентрация в растворе (140–300 мкг/л). В эстуарии Амурского лимана доминирует уменьшение концентрации взвешенных форм железа за счет осаждения взвеси. Кроме того, активная гидродинамика вод лимана сопровождается взмучиванием донных отложений и, соответственно флуктуациями содержания взвеси, что ведет к высокой изменчивости концентрации взвешенных форм (рис. 4б). После выхода из Амурского лимана в Сахалинский залив содержание взвеси и взвешенных форм Fe контролируется осаждением и рассеянием за счет смешения с морскими водами.

В центре Сахалинского залива в водах с соленостью 25–30‰ концентрация растворенного Fe снижается до 0.7–1.5 мкг/л, а взвешенных форм – до 20–40 мкг/л. В фотическом слое в открытых водах северо-западной части Охотского моря, удаленных от центра Сахалинского залива на 150–250 км, концентрация растворенных и взвешенных форм Fe падает до 0.1 и 0.3–0.5 мкг/л, соответственно [13]. То есть, в поверхностном слое вод северо-западной части Охотского моря по мере удаления от центра Сахалинского залива происходит уменьшение концентрации растворенных и взвешенных форм Fe на порядок и более, хотя соленость при этом меняется незначительно.

Таким образом, с одной стороны, влияние стока р. Амур, как приходной части баланса Fe в северо-западной части Охотского моря, несомненно. С другой стороны, корреляция и связь гидрохимических параметров, в том числе и концентрации растворенных и взвешенных форм железа, с сезонными вариациями величины речного стока обнаруживаются в ослабленном виде только в пределах юго-восточной части Сахалинского залива.

Это свидетельствует, вероятно, о преобладании внутрисистемных процессов, контролирующей миграцию Fe в экосистеме Сахалинского залива. Важнейшим из этих процессов является продуцирование органического вещества планктоном. По данным [18] первичная продукция фитопланктона в Сахалинском заливе в июле–августе составляет  $0.41 \pm 0.21$  гС/м<sup>2</sup>/день и увеличива-

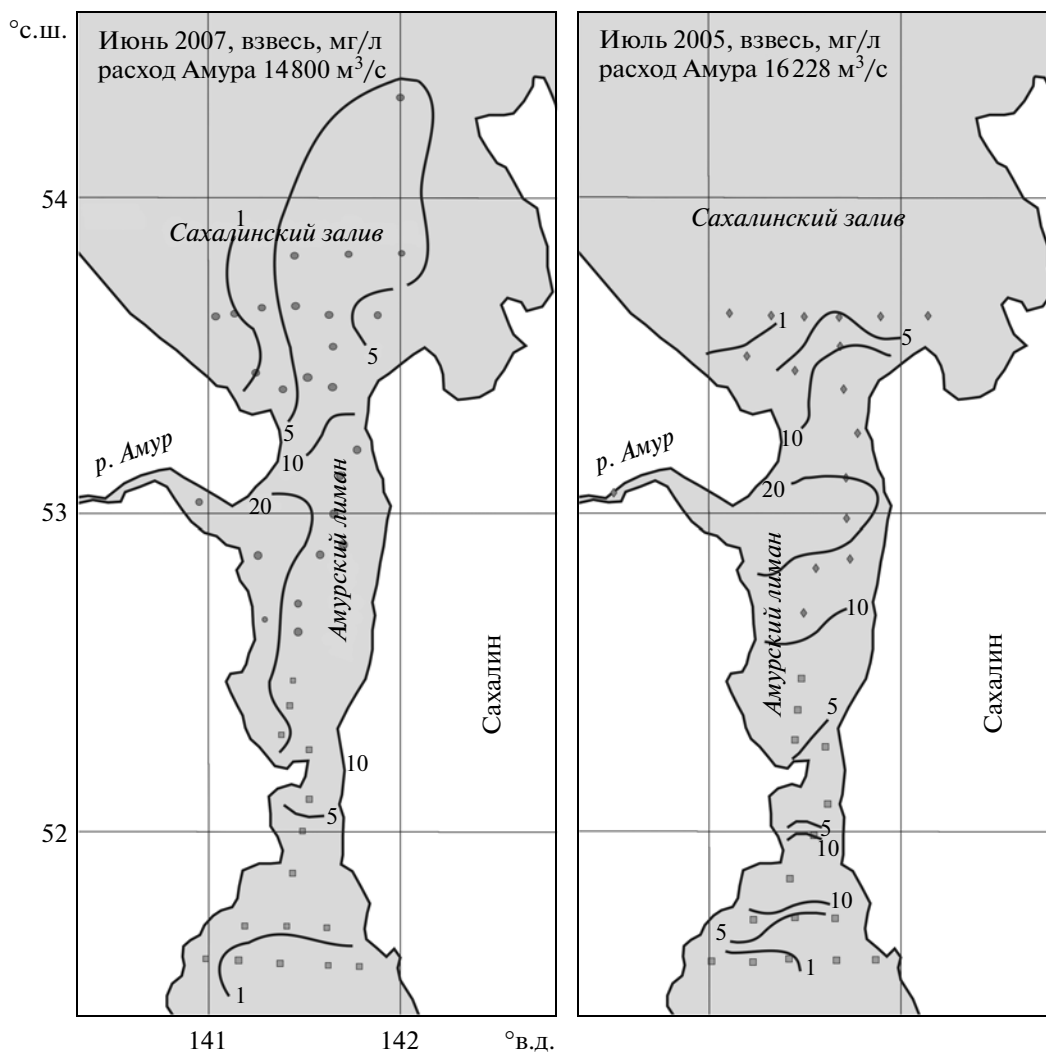


Рис. 3. Распределение взвеси в поверхностном слое вод Амурского лимана при различной величине стока в летний период.

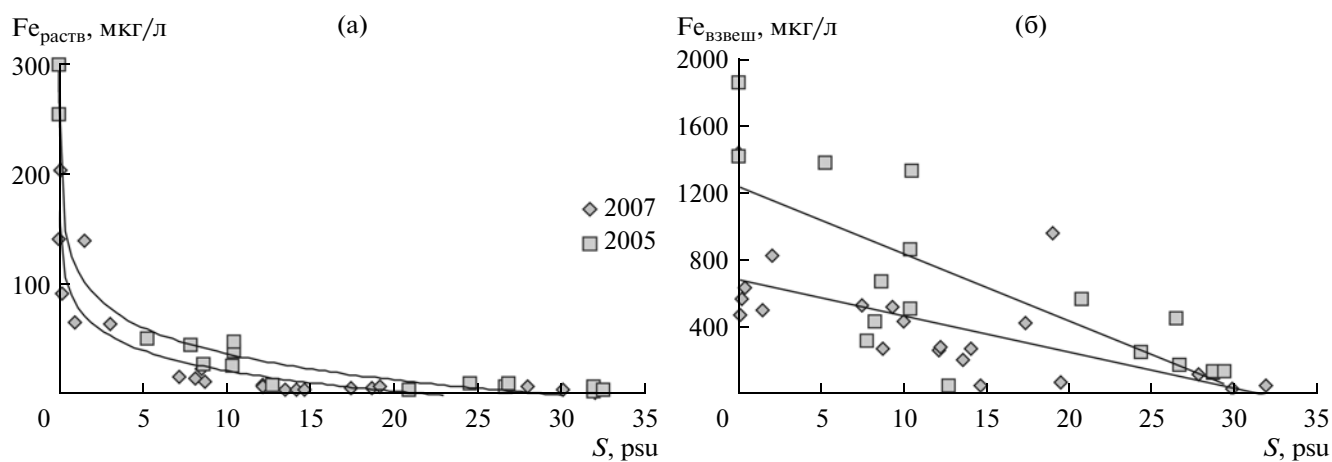


Рис. 4. Изменение концентрации растворенных (а) и взвешенных (б) форм Fe в водах промежуточной солености Амурского лимана и Сахалинского залива. Линиями помечены тренды для различных отборов.

Элементы баланса биогеохимического цикла Fe в Сахалинском заливе

	Июнь 2005	Июль 2005	Июнь 2007
Расход реки, м <sup>3</sup> /с	26500	16228	15000
Поток Fe <sub>раств</sub> в Амурский лиман, г/сут	н.о.	262.6 × 10 <sup>6</sup>	194.4 × 10 <sup>6</sup>
Поток Fe <sub>раств</sub> в Сахалинский залив, г/сут*	н.о.	3.5 × 10 <sup>6</sup>	2.6 × 10 <sup>6</sup>
Поток Fe <sub>взвеш</sub> в Амурский лиман, г/сут	1832 × 10 <sup>6</sup>	1400 × 10 <sup>6</sup>	1037 × 10 <sup>6</sup>
Поток Fe <sub>взвеш</sub> в Сахалинский залив, г/сут*	550 × 10 <sup>6</sup>	306 × 10 <sup>6</sup>	73 × 10 <sup>6</sup>
Поглощение Fe фитопланктоном в линзе Сахалинского залива, г/сут, при ПП = 0.41 гС/м <sup>2</sup> д**	0.6 × 10 <sup>6</sup>	0.6 × 10 <sup>6</sup>	0.6 × 10 <sup>6</sup>
То же, при ПП = 0.82 гС/м <sup>2</sup> д**	1.1 × 10 <sup>6</sup>	1.1 × 10 <sup>6</sup>	1.1 × 10 <sup>6</sup>
Поглощение Fe сетным планктоном в линзе Сахалинского залива, г/сут, при ПП = 0.41 гС/м <sup>2</sup> д***	21.7 × 10 <sup>6</sup>	21.7 × 10 <sup>6</sup>	21.7 × 10 <sup>6</sup>
То же при, при ПП = 0.82 гС/м <sup>2</sup> д***	43.6 × 10 <sup>6</sup>	43.6 × 10 <sup>6</sup>	43.6 × 10 <sup>6</sup>

\* Принимая, что весь сток Амура направлен в Сахалинский залив, и концентрация растворенных и взвешенных форм Fe на выходе составляет 2–4 мкг/л и 56–350 мкг/л, соответственно.

\*\* Принимая содержание С в фитопланктоне 31.2% и концентрацию Fe в диатомовом фитопланктоне 73 мкг/г сухой массы [9].

\*\*\* Принимая содержание С в фитопланктоне 31.2% [3] и концентрацию Fe в фитопланктоне 2800 мкг/г сухой массы.

ется до  $0.82 \pm 0.30$  гС/м<sup>2</sup>/день на разрезе от северного окончания о. Сахалин на северо-восток. Для оценки поглощения Fe фитопланктоном можно использовать несколько подходов. Первый основан на результатах экспериментов по ассимиляции Fe с радиоактивной меткой культурой планктонных водорослей [20]. Было показано, что при увеличении концентрации суммы растворенных форм Fe в среде от 0.56 до 5.6 мкг/л возрастает и количество Fe поглощенного клетками прибрежной диатомеи *Thalassiosira pseudonana*. При этом увеличивается и соотношение Fe : С в планктоне от 14 до 30 мкмоль/моль. Это соответствует концентрации Fe в клеточном материале 21–44 мкг/г сухой массы. Планктон, отбираемый непосредственно в среде при помощи планктонных сетей, содержит, как правило, то, или иное количество алюмосиликатной терригенной взвеси, органоминеральных агрегатов, зоопланктона и личиночного материала, поэтому для оценки химического состава фитопланктона может использоваться с осторожностью. Так в сетном планктоне, отобранном в Сахалинском заливе летом 2003 г., концентрация Fe колебалась от 600 до 2800 мкг/г сухой массы, что указывает на заметную примесь алюмосиликатной терригенной взвеси, содержащей 40000–50000 мкг/г Fe. Аналогичные по порядку величин данные характерны для сетного планктона, собранного в прибрежных водах северо-западной части Японского моря [4]. В тоже время в природном планктоне, отобранном во время цветения диатомовых у берегов Калифорнии, концентрация Fe составляла 73 мкг/г при соотношении Fe : С = 50 [10], что достаточно близко к величинам, наблюдаемым в экспериментах [20].

Поэтому для оценки биоассимиляции Fe фитопланктоном более логично использовать данные, получаемые в экспериментах, или наблюдаемые в планктоне с минимальным вкладом алюмосиликатных частиц, например с концентрацией Al менее 100 мкг/г (0.01%). В реальности концентрация Al во взвешенном материале в прибрежных водах редко снижается ниже 1000 мкг/г. Даже эта величина соответствует вкладу алюмосиликатного материала менее 2%, т.е. взвесь с концентрацией Al 1000 мкг/г на 98% является планктоногенной с вытекающими отсюда последствиями (возможностью быстрой деструкции и минерализации). Таким образом, обычно наблюдаемое повышение концентрации Fe, Al и других металлов в сетном планктоне, отобранном в прибрежных водах, по сравнению с экспериментальными данными по накоплению в планктонных культурах, отражает реальную сорбцию металлов на биогенной и биогенно-терригенной взвеси. Поэтому наряду с данными по концентрации Fe в диатомовом планктоне без примеси алюмосиликатного материала, для расчета ассимиляции и биосорбции на биогенной взвеси в пределах линзы распресненных вод Сахалинского залива, параллельно использовали данные по концентрации Fe в сетном планктоне.

Результаты расчета в сочетании с некоторыми другими элементами баланса Fe в экосистеме Сахалинского залива показывают (таблица), что полное поглощение растворенного Fe фитопланктоном в восточной части Сахалинского залива, в пределах линзы распресненных вод, может произойти за 4–6 дней даже в период не самой высокой продуктивности [18]. Во время пика весенне-летнего цветения фитопланктона, когда величина первичной продукции возрастает до

0.8–2.0 гС/м<sup>2</sup> день [19], биоассимиляции всего растворенного Fe выносимого из Амурского лимана, займет не более 2–3 дней. Судя по скоростям стокового течения в Сахалинском заливе 0.4–0.8 м/с [2], 150 км от выхода из Амурского лимана до м. Елизаветы (северо-западная оконечность о. Сахалин) распресненные воды пройдут за 2–4 дня в отсутствие северного ветра. Северный ветер достаточно типичный для Сахалинского залива будет замедлять миграцию распресненных вод на север. Таким образом, основная часть растворенного Fe вовлекается в продукционный цикл фитопланктона в пределах Сахалинского залива.

Если для расчета вовлечения Fe в биогеохимический цикл в Сахалинском заливе использовать концентрацию металла в сетном планктоне (2800 мкг/г), время необходимое для перевода растворенного Fe, вынесенного из Амурского лимана, в биогенную взвесь снизится до нескольких часов (таблица).

При столь интенсивной биоассимиляции и биосорбции, вероятно, что именно продукционно-деструкционный цикл фитопланктона в сочетании с сорбцией на взвеси, а также гидрометеорологические характеристики акватории, а не вариации речного стока, будут определять особенности дальнейшей миграции растворенного Fe в северо-западной части Охотского моря.

Поглощение Fe фитопланктоном, включая перевод в биогенную взвесь, составляет не более 4–7% от поступления взвешенных форм Fe в залив с речным стоком (таблица), что согласуется с преимущественно терригенным характером взвешенного материала в восточной части Сахалинского залива, находящегося под влиянием стока р. Амур.

Исследования [14, 15] в юго-восточной части Охотского моря и прилегающих водах показали, что важным источником растворенного Fe для этой высокопродуктивной акватории являются промежуточные холодные воды, формирующиеся на шельфе северо-западной части Охотского моря. Эти воды обогащены растворенными и особенно взвешенными формами Fe, как полагают авторы [13], за счет выноса материала из Амура. Не отрицая важной роли стока Амура в поставке растворенных и, особенно взвешенных форм Fe, в Охотское море, необходимо отметить значение процессов в Амурском лимане и в Сахалинском заливе, которые нивелируют сезонные флуктуации стока р. Амур. В результате на выходе из Сахалинского залива воды поверхностного слоя превращаются из Fe избыточных в Fe дефицитные. Это происходит в летнее время – период максимального речного стока. И, наоборот, в зимний период при минимальном речном стоке, концентрация растворенного Fe в поверхностном

слое вод юго-восточной части Охотского моря относительно повышена за счет поступления из промежуточных слоев [15]. Подобное несоответствие сезонных вариаций также ставит под сомнение роль сезонных и тем более межгодовых изменений стока Амура как главного фактора контролирующего поступление Fe в Охотское море. Дополнительные наблюдения за составом холодных шельфовых вод в западной и восточной частях Сахалинского залива необходимы для оценки роли взвешенных форм Fe, выносимых р. Амур, в балансе Fe в южной части Охотского моря.

Таким образом, анализ распределения солёности, взвеси, растворенных и взвешенных форм Fe в Амурском лимане и Сахалинском заливе в сочетании с оценкой биоассимиляции Fe фитопланктоном, позволяет предположить, что ключевыми факторами, контролирующими изменчивость концентрации растворенного Fe в Сахалинском заливе является продукционно-деструкционный цикл фитопланктона, включая сорбцию на взвеси, и гидрометеорологические условия. Непосредственно в Амурском лимане доминируют физические процессы осаждения/взмучивания взвеси и физико-химическая коагуляция речных коллоидов. Сток р. Амур является необходимым исходным импульсом, поставляющим Fe в экосистему Сахалинского залива и далее в Охотское море, однако сезонные вариации речного стока нивелируются в пределах залива.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П. и др. Пространственно-временные неоднородности элементного и изотопного состава, органического углерода, взвеси в системе река Амур–Охотское и Японское моря // Состояние морских экосистем находящихся под влиянием стока реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 123–145.
2. Жабин И.А., Абросимова А.А., Дубина В.А. и др. Структура и динамика вод устьевой области реки Амур // Состояние морских экосистем находящихся под влиянием стока реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 2009. С. 11–34.
3. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977. 256 с.
4. Шулькин В.М. Металлы в экосистемах морских мелководий. Владивосток: Дальнаука, 2004. 278 с.
5. Шулькин В.М. Поведение металлов в Амурском лимане – эстуарии реки Амур // Докл. РАН. 2006. Том 410. № 5. С. 1–4.
6. Якунин Л.П. Распределение речного стока по фарватерам устья Амура // Тр. ДВНИГМИ. 1978. Вып. 71. С. 162–168.
7. Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. 2003. V. 5. P. 225–272.
8. Johnson K.S., Gordon R.M., Coale K.H. What controls dissolved iron concentrations in the world ocean? // Mar. Chem. 1997. V. 57. P. 137–161.

9. *Martin J.M., Gordon R.M.* Northeast Pacific iron distribution in relation to phytoplankton productivity // *Deep-Sea Res.* 1988. V. 35. P. 177–196.
10. *Martin J.M., Knauer G.* The elemental composition of plankton // *Geochim et Cosmochim Acta.* 1973. V. 37. № 7. P. 1639–1653.
11. *Mizuta G, Fukamachi Y., Oshima K.I., Wakatsuchi M.* Structure and seasonal variability of the East Sakhalin Current // *J. Phys. Oceanogr.* 2003. V. 33. P. 2430–2445.
12. *Nakatsuka T., Toda M., Kawamura K., Wakatsuchi M.* Dissolved and particulate organic carbon in the Sea of Okhotsk: Transport from continental shelf to oceanic interior // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. C09S14. doi: 10.1029/2003JC001909.
13. *Nakatsuka T., Nishioka J., Suzuki K. et al.* Iron transport processes and their impacts on primary productivity in the Sea of Okhotsk // Report on Amur-Okhotsk Project № 6. Research Institute for Humanity and Nature. Kyoto, 2010. P. 31–40.
14. *Nishioka J., Ono T., Saito H. et al.* Iron supply to the western subarctic Pacific: Importance of iron export from the Sea of Okhotsk // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. C 10012. doi: 10.1029/2006JC004055.
15. *Nishioka, J., Ono T., Saito H., et al.* Oceanic iron supply mechanisms which support the spring diatom bloom in the Oyashio region, western subarctic Pacific // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116. C02021, doi:10.1029/2010JC006321.
16. *Oshima K.I., Wakatsuchi M., Fukamachi Y., Mizuta G.* Near surface circulation and tidal currents of the Okhotsk Sea observed with satellite-tracked drifters // *J. Geophys. Res.* 2002. V. 107. 3195 doi: 10.1029/2001JC001005
17. *Sholkovitz E.R.* The flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co, Cd during estuarine mixing // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978. V. 41. P. 77–86.
18. *Sorokin Y.I., Sorokin P.Y.* Production in the Sea of Okhotsk // *J. Plankton Res.* 1999. V. 21. P. 201–230.
19. *Sorokin Y.I., Sorokin P.Y.* Microplankton and primary production in the Sea of Okhotsk in summer 1994 // *J. Plankton Res.* 2002. V. 24. P. 453–470.
20. *Sunda W., Huntsman S.* Iron uptake and growth limitation in oceanic and coastal phytoplankton // *Marine Chemistry.* 1995. V. 50. P. 189–206.

## Influence of Amur River Run-Off on the Biogeochemistry of Iron in the Okhotsk Sea

V. M. Shulkin, I. A. Zhabin, A. A. Abrosimova

The paper considers the distribution of salinity, suspended solids, dissolved and suspended forms of Fe in the Amur river estuary and Sakhalin Gulf of Okhotsk Sea at the different levels of river runoff in summer. The influence of river run-off variability is traced at the composition of water within surface layer of estuary and coastal areas, and is leveled within Sakhalin Bay. The dissolved Fe is additionally leveled by the coagulation processes observed during the mixing of river and sea waters. Calculation of the Fe uptake by plankton indicates the decisive role of primary production processes in Sakhalin Bay in further migration of the metal in the Sea of Okhotsk.