

СОВРЕМЕННОЕ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ В ЭСТУАРИИ Р. АМУР

*О.В. Дударев**, *А.И. Боцул**, *В.В. Аникиев***,
*Л.П. Якунин****, *Г.М. Колесов*****

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, г. Владивосток

**Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, г. Москва

***Дальневосточный государственный университет, г. Владивосток

**** Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, г. Москва

Уникальное географическое положение эстуария р.Амур на стыке азиатского континента и о.Сахалин предопределило разгрузку водного и твердого стока реки к северу и югу от устья. При этом, внутригодовое распределение стока в прилегающие части эстуария в Охотском и Японском морях неравнозначно по объемам. В результате взаимодействия речных и морских водных масс здесь формируется субмеридиональная структура гидрологических фронтов и обусловленная им подобная структура распределения донных осадков. Последняя характеризуется симметрией пространственного расположения полей осадков аллювиальных фенотических и прибрежно-морских в охотоморской части эстуария относительно япономорской. Осадки - бескарбонатные и бескремнистые, терригенного типа. По содержанию Fe и Mn они не относятся даже к подгруппам слабжелезистых и слабомарганцовистых, однако содержание $C_{орг}$ выше, чем в других эстуариях, но в целом типично для высокопродуктивных морских акваторий. По гидролого-морфологическим признакам морские части эстуария могут быть классифицированы как дельта выполнения, принимающая до 95% годового объема твердого стока р. Амур. Поэтому эстуарий представляет собой транзитно-аккумулятивную систему для большей части поступивших из области питания продуктов выветривания, седиментогенез в которой является ведущим звеном терригенного приконтинентального и циклического по характеру осадочного процесса. Обширный фактический материал по различным океанологическим дисциплинам, имеющийся в распоряжении авторов, позволил на качественно новом уровне оценить ход современного осадконакопления в эстуарии одной из крупнейших рек на западном побережье Тихого океана.

Ключевые слова: Дальний Восток, р. Амур, эстуарий, осадконакопление.

ВВЕДЕНИЕ

В результате смешения речных и морских вод в морских частях эстуариев формируются барьерные зоны с высокими значениями градиентов гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров, известные как маргинальные фильтры. Функционирование этих фильтров приводит к коренным изменениям структуры поступившего из областей питания терригенного материала и таким образом играет важную роль в приконтинентальном осадкообразовании [7, 14, 19].

С этих позиций особый интерес представляет оценка влияния маргинального фильтра в эстуарии реки Амур, одной из крупнейших по структурным показателям на тихоокеанском побережье Азии, со среднегодовым твердым стоком 25 млн т [11]. Вследствие уникального географического положения на стыке континента и о. Сахалин, разгрузка этой речной системы происходит в два окраинных моря к северу и югу от устья. При этом, объемы переноса амурских вод, включая и твердую составляющую,

неравнозначны по сезонам и направлениям, что повышает значимость выявления характера внутригодовой изменчивости потоков осадочного материала. До 67% водного стока в безледный период осуществляется через Амурский лиман в Сахалинский залив Охотского моря, а оставшийся объем - в вершину Татарского пролива Японского моря. Зимой схема водообмена изменяется на противоположную (табл. 1) [11, 31].

Морская часть эстуария (далее в тексте - морские части) включает весь Амурский лиман и акватории прилегающих морей примерно до 50 м изобаты (рис. 1). Внешние границы, основным критерием для выделения которых является положение изогалины 90‰ солености морских вод [23, 26], определены условно, так как под влиянием синоптических и гидрологических процессов они могут существенно изменяться [14, 27].

Исследования в эстуарии выполнялись различными ведомствами и поэтому не были объединены единой целевой и научной программами. Изучением

Таблица 1. Внутригодовое распределение стока р. Амур и расчетные расходы воды через пр. Невельского.

Параметры стока	Распределение по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Водный сток, % [11]	1.7	1.1	0.8	2.8	3.7	15.0	14.6	18.0	19.1	15.2	5.8	2.2
Твердый сток, % [2,11,13]	1.0	0.5	0.5	1.0	6.0	16.0	15.0	18.0	18.0	17.0	5.0	2.0
Расход воды в пр. Невельского, км ³ [29]	-7.0	-5.3	-3.7	-2.5	-7.9	15.6	15.6	3.8	10.6	-0.9	-13.4	-10.4

Примечание. Знак (-) указывает расход в Японское море. При составлении таблицы использовались результаты наблюдений на гидрологическом посту в устьевом створе р. Амур.

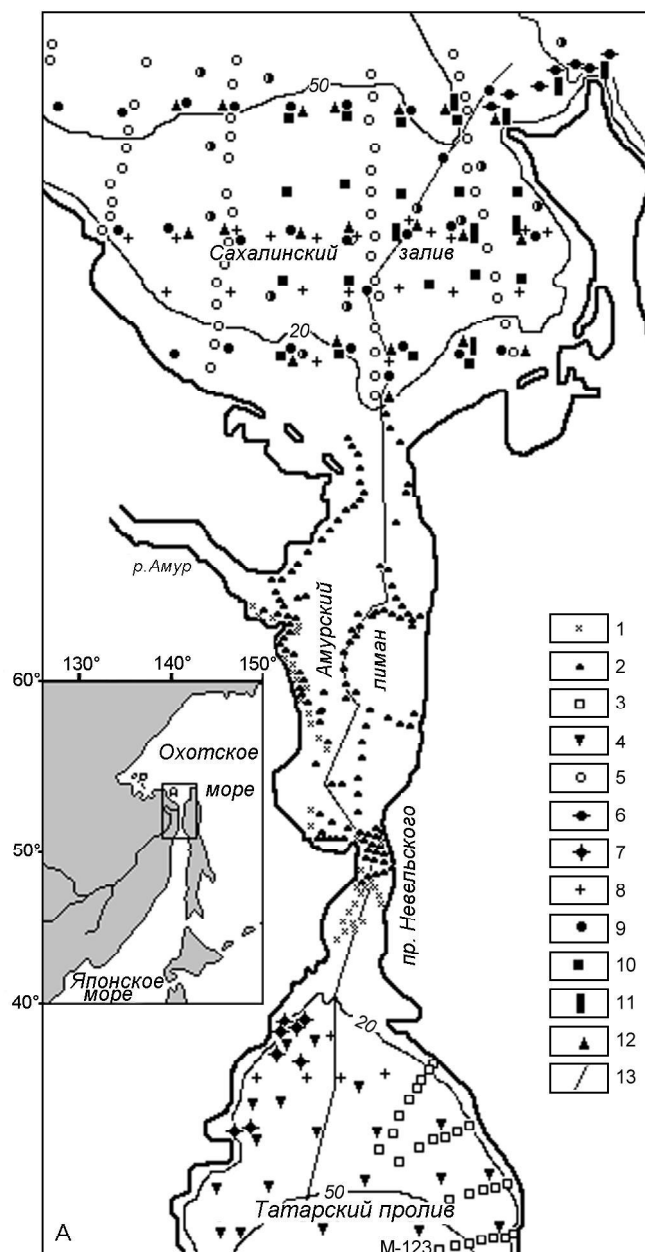


Рис. 1. Схема района исследований со станциями пробоотбора.

1 - станции [23], 2 - станции ДВГУ (1968-1969 г.), 3 - "Витязь" (ДВГУ, 1973 г.), 4 - "Амбон" (ДВГИ, 1973 г.), 5 - "Первенец" (1980 г.), 6 - "Первенец" (1982 г.), 7 - "Бриг" (1983 г.), 8 - "Академик А. Несмеянов" (1985 г.), 9 - "Академик М. Лаврентьев" (1988 г.), 10 - "Академик А. Несмеянов" (1990 г.), 11 - "Академик А. Несмеянов" (1992 г.), 12 - "Академик А. Несмеянов" (1993 г.), 13 - расположение разреза через эстуарий.

донных осадков в Амурском лимане начал заниматься Б.А. Аполлов (1937). По результатам работ в 30-х годах экспедиции Дальневосточного геофизического института М.В.Кленовой составлена первая схема распределения осадков, которая позже была уточнена А.С. Пахомовой [24]. Данные, полученные экспедициями Дальневосточного госуниверситета на 400 грунтовых станциях в лимане и проливе Невельского, позволили Ю.И. Кононову (1975) подготовить наиболее детальную схему этого района. Вопросами динамики взвешенных наносов и осадков в лимане занимался и Л.П. Якунин [11], один из авторов статьи.

Первая схема осадков Сахалинского залива, на которой были выделены пески различной размерности и крупные алевриты, составлена в начале 60-х годов П.Л. Безруковым по материалам экспедиции Института океанологии им. П.П. Ширшова на НИС "Витязь" [6]. Схема, выполненная в Тихоокеанском океанологическом институте (ТОИ) ДВНЦ АН СССР А.С. Астаховым по данным рейса НИС "Первенец" (1980 г.), значительных изменений не претерпела [3].

В связи с участием в ряде национальных и международных программ ("ВЕСТПАК", "Седимент", "Экология России", планы JGOFS, LOICZ проекта JGBP) с 1985 г. ТОИ начал осуществлять планомерные исследования в морских частях эстуариев крупнейших рек западного побережья Тихого океана. Только в эстуарии р. Амур с этого времени и по 1994 г. на НИС "Академик А. Несмеянов", "Академик М.А. Лаврентьев" и "Морской геофизик" в 7 рейсах проведен обширный ряд океанологических наблюдений. Они включали синхронную регистрацию гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик водных масс и геолого-геохимические исследования. Главный объем работ, в которых принимали участие авторы, выполнен в Сахалинском заливе, поэтому полученные здесь данные явились основой при подготовке статьи. Для интерпретации были также привлечены результаты других исследователей [3, 21, 24; Кононов (1975)] (рис. 1).

Осадки отбирались дночерпателями типов "Океан" и Ван Вина (Van Veen). Размерный состав изучался традиционными методами водно-механического анализа. Литологический тип осадка представлен в классификации, учитывающей соотношение содержания фракций псаммит-алеврит-пелит [21]. Пробоотбор воды выполнялся зонд-батометра-

ми системы “Розетта” и батометрами Нискина. Взвесь выделялась фильтрацией через мембраны “Сынпор” с диаметром пор 0,45 мм. Как и в осадках, во взвеси исследовалось содержание $C_{орг}$ (спектрофотометрически, после бихроматного сжигания пробы) и химических элементов (силикатный и нейтронно-активационный методы анализа). Стандартными методами регистрировались параметры гидрохимической и гидробиологической структуры вод, а характеристики поля течений - с помощью оригинального акустического зонда [27].

Имеющийся в распоряжении авторов фактический материал по различным океанологическим дисциплинам позволил на качественно новом уровне оценить направленность современного осадконакопления в эстуарии р. Амур.

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО ОСАДОЧНОГО ПРОЦЕССА

Формирование донных осадков

Вследствие того, что верхняя часть эстуария представляет собою элементарную однорукавную систему, речной поток в ней обладает высокой транспортирующей и эрозивной способностью. По этой причине аккумуляции наносов здесь не происходит, а их приемными бассейнами являются морские части эстуария.

Амурский лиман. Замедление стокового течения при выходе из устья приводит к осаждению в лимане практически всего объема влекомых наносов и крупных фракций взвеси. На речном склоне устьевого бара накапливаются плохосортированные зеленовато-серые псаммиты алевритовые, а на морской стороне - алевриты псаммитовые.

Приливными, стоковыми и разрывными течениями, компенсирующими нагон вод на мелководье [8, 34], поверхность дна лимана расчленена многочисленными эрозивными ложбинами, по которым речные воды распределяются в различных направлениях. Среди них выделяются четыре с преобладающими глубинами 5-20 м, но к наиболее крупным относится Сахалинский фарватер. Он протянулся через весь лиман вдоль его осевой части на 130 км и обеспечивает водообмен между прилегающими морями (см. положение разреза через Сахалинский фарватер на рис. 1, усл. обозн. 13). На дне и склонах эрозивных ложбин в виде узких и меридионально вытянутых полей, совпадающих с направлением мощных струйных течений, залегают псаммитовые и миктитовые (смешанные) осадки; местами обнажаются гравийники и галечники размывающегося базального основания и, вероятно, ледового разноса. В межженные фазы речного стока в западных участках образуются нефелоидные пробки, разрушающиеся

только во время паводков и сизигийных приливов (рис. 2, 3).

По литодинамическим признакам Сахалинский фарватер является мощным гидродинамическим барьером, состав и пространственное распределение осадков по обе стороны от которого существенно различаются. К западу, в приматериковой части за счет аккумуляции речных наносов идет формирование *авандельты*, в группе осадков которой наиболее распространены псаммиты алевритовые. Восточнее фарватера гидродинамический режим активизируется, а суммарная скорость переменных по направлениям течений возрастает до 200 см/с [22]. Среди осадков преобладают хорошо сортированные мелкозернистые псаммиты, желтоватого и буровато-серого цветов. Их источниками являются рыхлые неоген-четвертичные породы островного побережья и золотый материал прибрежных дюн. Плохо сортированные разномышленные псаммиты и псаммитовые миктиты имеют ограниченное распространение (рис. 3).

Сахалинский залив. Пологая и погружающаяся к северу поверхность дна залива в осевой части осложнена субмеридиональным прогибом, заполненным мощной толщей неконсолидированных аллювиальных отложений и простирающимся в северо-восточном направлении до бровки шельфа, где в позднем вюрме находилось устье пра-Амура [3].

По характеру распространения и вещественно-генетической принадлежности в пределах залива выделяются две основные группы терригенных осадков: *аллювиального фона р. Амур и прибрежно-морские*.

Вследствие усиления стокового течения над свалом глубин при отрыве от дна, в вершине залива идет аккумуляция крупных фракций речных наносов и формирование внешнего устьевого бара. Ослабление несущей способности стокового течения сопровождается седиментацией тонких частиц и аккрецией *продельты*. Она прослеживается в северо-восточном направлении от окончания Сахалинского фарватера и сложена следующими литологическими типами осадков: псаммитами алевритовыми, алевритами псаммитовыми, алевритами крупными, алевритами пелитовыми, пелитами алевритовыми и миктитовыми. Как видно, распределение *осадков конуса выноса* р. Амур представляет собой классический пример зональности приустьевого осадконакопления - замещение псаммитовых осадков внешнего устьевого бара и свала глубин тонкими осадками *продельты* (рис. 2-4).

Выполненные авторами расчеты с применением генетической SMd-диаграммы Р.Пассеги, дифференцирующей характер переноса частиц по гидродинамическим процессам [35], показали, что возможным механизмом поступления частиц в осадки *продельты* может быть высаживание из однородной суспензии. При росте солевого фона вследствие процес-

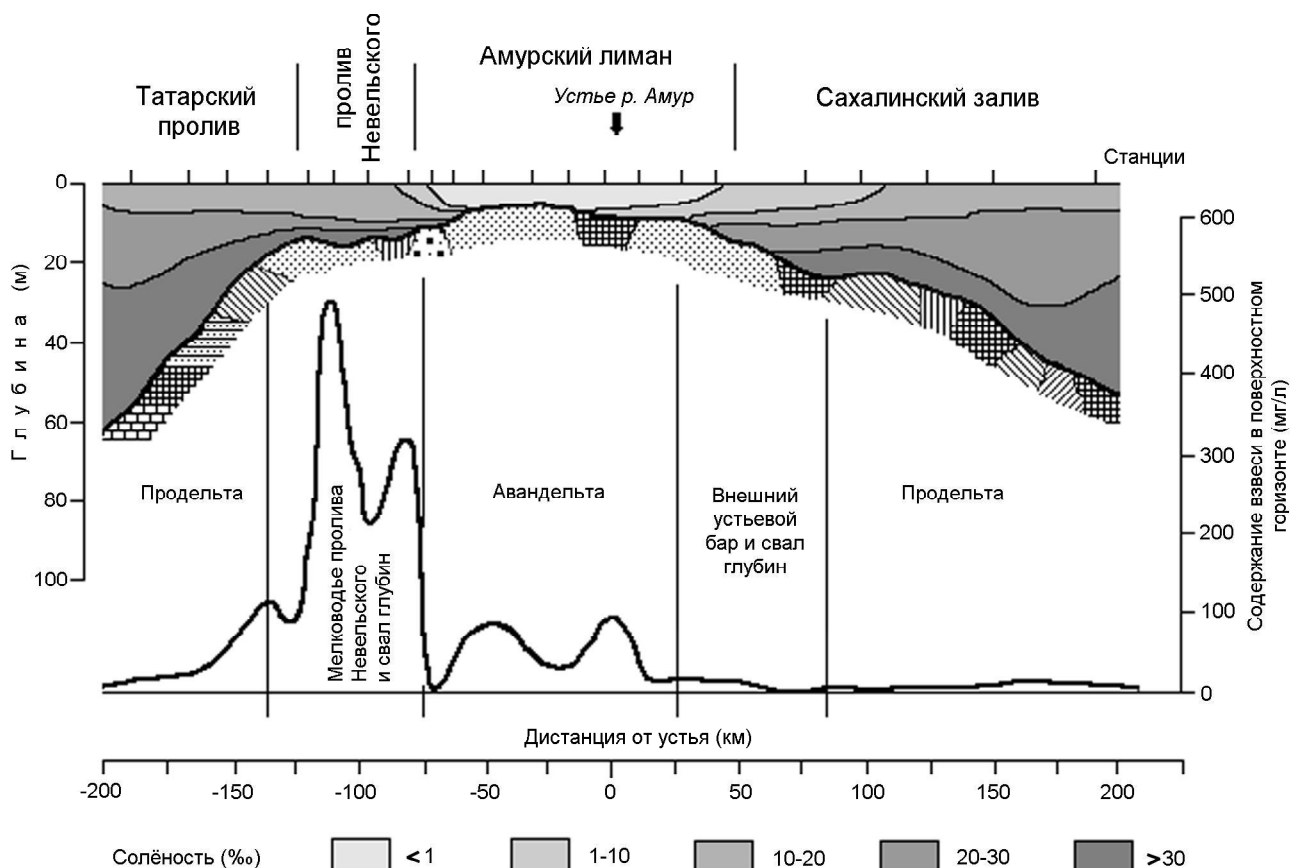


Рис. 2. Литолого-гидрологический разрез через морские части эстуария (условные см. рис. 1,3). Распределение солёности и взвеси приводится для периода осеннего дождевого паводка 1988 г.

сов флокуляции и коагуляции изменяется соотношение между крупно- и мелкодисперсными фракциями взвеси [1, 7, 32]. Мощный слой скачка плотности на горизонте 10-15 м и стабилизирующее действие архимедовых сил, ослабляющих турбулентность [26], подавляют обменные процессы с нижележащими водами. В таких условиях ко дну проникает только крупная взвесь (или агрегаты), в результате ее содержание ко дну постепенно возрастает, о чем свидетельствует экспоненциальный характер распределения взвешенных частиц. Расчеты показали, что взвесь <math><0,05</math> мм при средней глубине в районе продельты 20 м и спокойной гидрометеорологической обстановке может достигать дна всего за один квадратный суточный приливной цикл. Частицы размерами 0,05-0,25 мм транспортируются сальтацией и донным влечением. Согласно [33, 36], это возможно при турбулентном касательном напряжении в придонном слое 2,5 г/(см²); высоте волнения более 3 м и периоде 5 с; скорости постоянного течения у дна не менее 25 см/с. Реальная же величина последней в периоды штормов может превышать критическую, необходимую для срыва и вовлечения частиц в перенос при слабосвязанной структуре осадков [14, 27].

Осадки продельты зеленовато-серого цвета и преимущественно плохо сортированные. Среднее содержание фракций (>0,1 мм) составляет 30,3%, (0,1-0,01 мм) - 54,6%, (<0,01 мм) - 15,1%. Статистические параметры распределения гранулометрического состава приведены в табл.2. Для вертикальной структуры осадков типична стратификация по влажности и цвету. Поверхностный слой 0-1 см сильно обводнен. Ниже, примерно до горизонта 10 см, залегают менее влажные слабовосстановленные осадки, а под ними - черные восстановленные и уплотненные осадки такого же литологического состава. На горизонте 15 см отмечена примесь ракушки и мелкого гравия.

Минеральный состав характеризуется аркозой полевошпат-кварцевой ассоциацией. Кроме них, по содержанию выделяются роговая обманка, слюда и эпидот. Бентосная фауна под воздействием абиотических факторов угнетена: все видовое разнообразие представлено равноногими ракообразными Isopoda и офиурами класса Ophiurozoa.

Проникновение биогенных элементов в верхние слои в области подъема вод у северо-западного побережья о.Сахалин благоприятствует массовому развитию планктонных сообществ и эвтрофикации

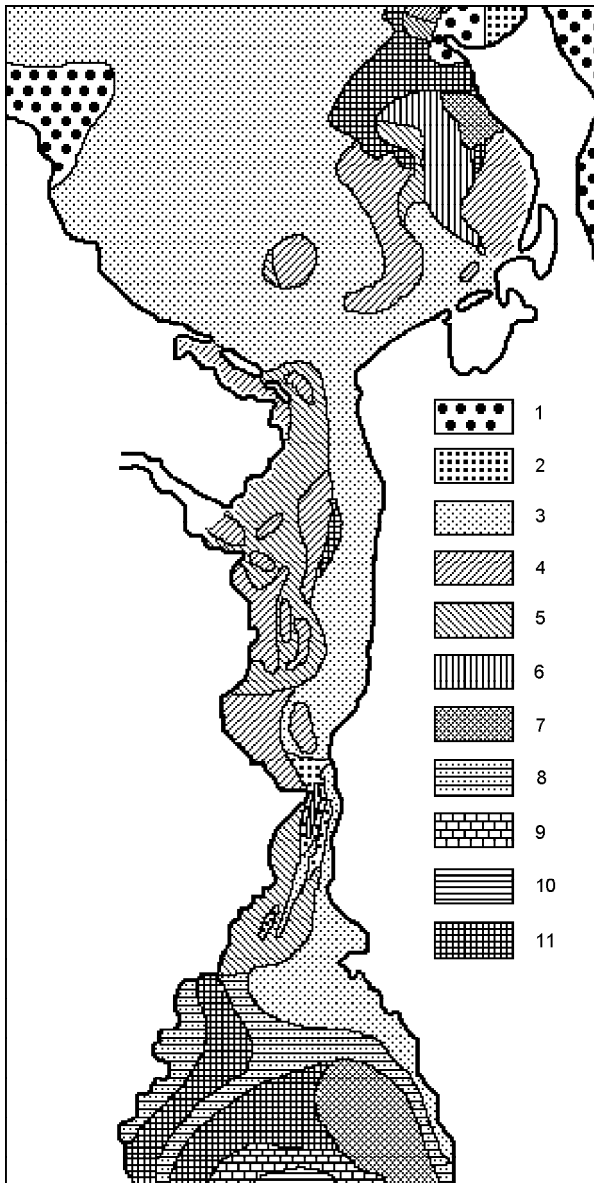


Рис. 3. Литологическая типизация донных осадков.

1 - гравийно-галечные, 2 - псаммит крупно-,среднезернистый, 3 - псаммит мелкозернистый, 4 - псаммит алевритовый, 5 - алеврит псаммитовый, 6 - алеврит крупный, 7 - алеврит пелитовый, 8 - пелит псаммитовый, 9 - пелит алевритовый, 10 - пелит, 11 - миктит.

вод. Качественный состав фитопланктона относительно беден - до 95% биомассы его сообщества в безледный период приходится на неритический бореально-арктический вид *Thalassiosira nordenskioldii* при подчиненной роли перидиниевых водорослей.

Небольшой ареал осадков, блокированных от основного тела проделты, отмечен вблизи вершины Северного фарватера. Их происхождение здесь вероятно обусловлено процессами флокуляции и осаждения речной взвеси в передней части интрузии охото-

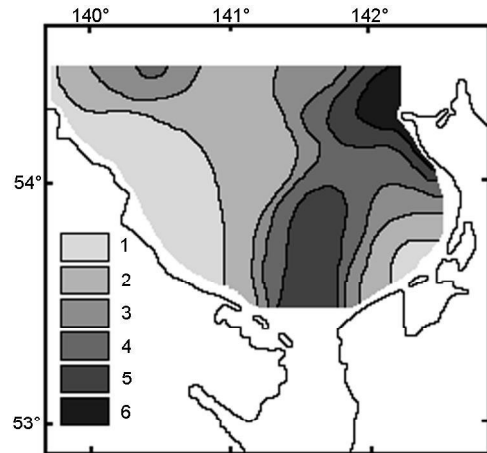


Рис. 4. Содержание фракции <0.01 мм (%).

1 - 0, 2 - 0-5, 3 - 5-10, 4 - 10-15, 5 - 15-20, 6 - >20.

морских вод, а также седиментацией в подледных условиях (рис. 3).

Прибрежно-морские осадки формируются в условиях высокой гидродинамической активности и поэтому - в аседиментогенной для взвешенного материала зоне с равномерным характером его распределения по вертикали водной толщи [14]. Структура ее вертикального распределения по виду приближается к прямой [14]. Генерируемые сгонно-нагонными и приливно-отливными движениями возвратные потоки у дна инициируют сильные градиентные течения, сопровождающиеся интенсивным перемещением осадочного материала. Скорость зарегистрированных здесь течений колебалась от 50 см/с у дна до 100 см/с в верхнем 20-м слое [16, 35]. Результаты интерпретации CМd-диаграммы Р.Пассеги указывают на преимущественный транспорт осадочного материала сольтацией и крипом, что подтверждается наличием на поверхности дна песчаных рифелей типа параболических гряд течения [3].

В приматериковой половине залива по распространенности выделяются псаммиты мелкозернистые, однородные, серого цвета с зеленоватым или буроватым оттенками. От продельтовых они отличаются хорошей сортировкой. Содержание модальной фракции (>0,1 мм) достигает 90%, а оставшаяся часть приходится на алевритовую и пелитовую размерности (табл. 2, рис. 3, 4). Мощность слоя штормовой переработки, под которым залегают грубообломочные осадки с примесью раковинного детрита, в среднем составляет 20 см.

Минеральный состав характеризуется полимиктовостью, с преобладанием кварца, роговой обманки и полевых шпатов. Видовое разнообразие макробентоса в сравнении с продельтой существенно возрастает. По численности наиболее представи-

тельны плоский морской еж *Echinorachnius parma*, целые и деструктурированные раковины двустворчатых моллюсков *Tridonta borealis borealis*, *Yodia amagdalea amagdalea*, полихеты рода *Nephtys* и актинии. Изменяется состав и структура планктонных группировок: в 2 раза уменьшается биомасса планктона, происходит переход от неритических видов к типично морским сообществам. В областях микромасштабной вихревой циркуляции на севере и северо-западе, где воды обогащены биогенами и кислородом, биомасса возрастает до 2000 мг/м³, что по величине сопоставимо с биомассой области приостровного подъема вод. В составе планктона доминируют мелкие фракции (<1 мм) неритических видов *Acartia*

clausi и *Eurytemosa herdmani*. Отмечены и крупные массовые планктеры *Calanus glacialis*.

Мелкозернистые псаммиты и псаммиты алевритовые юго-восточной части залива формируются вследствие поступления осадочного материала с оттоковыми нагонными водами из прибрежной зоны о. Сахалин (в соответствии с диаграммой Р. Пассеги - транспорт в градационной суспензии). В турбулентных водах у материкового побережья и к северу от о.Сахалин осадконакопление в настоящее время замедлено или вообще не происходит. На дне обнажаются промытые и хорошо сортированные псефиты, очевидно реликтовые (рис. 3), с обилием и разнообразием макробентоса.

Таблица 2. Средние характеристики донных осадков Сахалинского залива.

Характеристики	Осадки продельты	Прибрежно-морские осадки	
		Приматериковая часть	Юго-восточная часть
Литологические типы	(35) PsA, APs, A, API, M	(59) Ps ₃	(2) Ps ₃ , PsA
Содержание размерных фракций (%):			
более 0.1 мм	3.80-67.90 / 30.30	70.60-98.80 / 90.00	53.00-88.00 / 70.50
0.1-0.01 мм	18.40-93.00 / 54.60	0.50-21.80 / 6.70	11.00-45.80 / 28.40
менее 0.01 мм	0.20-49.30 / 15.10	0.10-17.70 / 3.30	1.00-1.20 / 1.10
Статистические параметры размерного состава:			
Нг	0.32-0.70 / 0.53	0.10-0.79 / 0.32	0.39 / 0.39
х	3.28-7.15 / 4.59	-0.16-4.05 / 2.66	2.49-3.33 / 2.91
С	-3.61-2.69 / 1.49	-3.83-2.23 / 0.16	1.00-2.23 / 1.62
Md	2.91-6.58 / 4.13	-0.92-3.08 / 2.52	2.45-3.27 / 2.86
Геохимические характеристики	(8)	(11)	(1)
а) Содержание макроэлементов:			
- Si (мкг/г x 10 ⁴)	32.71-35.36 / 34.49	35.38-37.99 / 37.17	40.51
- Ti (мкг/г)	2400-3540 / 3000	1200-3540 / 1980	1440
- Al (мкг/г x 10 ⁴)	5.83-6.89 / 6.41	4.63-5.94 / 5.18	3.32
- Fe (мкг/г x 10 ⁴)	1.60-2.64 / 2.07	0.69-2.51 / 1.25	0.79
- Mn (мкг/г)	310-540 / 423	155-465 / 310	230
- Ca (мкг/г x 10 ⁴)	0.70- 1.42 / 1.16	0.83-1.54 / 1.20	0.66
- Mg (мкг/г x 10 ⁴)	0.68-1.06 / 0.91	0.47-0.74 / 0.62	0.16
- K (мкг/г x 10 ⁴)	2.07-2.60 / 2.20	1.66-2.46 / 2.13	1.67
- C _{орг} (мкг/г x 10 ⁴)	2.00-5.61 / 3.82	0.18-2.84 / 0.99	2.31
б) соотношения:			
- Si/ΣCa, Mg, K, Na / ΣFe, Ti, Al	71:18:11	76:14:10	84:9:7
- Al/Si	0.15-0.21 / 0.18	0.08-0.14 / 0.12	0.08
- Si/Al	2.00-5.61 / 3.82	0.18-2.84 / 0.99	2.31
д) K _p донные осадки / осадочные породы			
K _p < 1	Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Mg	Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K	Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Mg, K
K _p = 1	K	-	-
K _p > 1	Si	Si	Si

Примечание. В скобках - количество анализируемых образцов; Нг - сортировка по значению нормированной энтропии (в долях единицы); х - среднеарифметическое, С - 1% -ный квантиль, Md - 50%-ный квантиль (в единицах φ); PsA - псаммит алевритовый, APs - алеврит псаммитовый, A - алеврит, API - алеврит пелитовый, M - миктит, Ps₃ - псаммит мелкозернистый.

Вершина Татарского пролива. Как и в водах охотоморской части эстуария, в безледный период в вершине пролива формируется квазиустойчивая суб-меридиональная структура гидрологического фронта, определяющего различия осадочного процесса по обе стороны от него. В самом узком месте в проливе Невельского в течение всего года доминируют интенсивные турбулентные процессы [11], поэтому стокое течение здесь обладает высокой размывающей и транспортирующей способностью. По мере увеличения глубины при выходе в расширяющийся к югу Татарский пролив энергия взвешенного потока быстро снижается, что сопровождается лавинной седиментацией взвеси и аккумуляцией осадков проделты [2, 14]. К ним относятся алевриты псаммитовые и пелиты псаммитовые, а к прибрежно-морским осадкам, распространенным к востоку от плотного гидрологического фронта, - мелкозернистые псаммиты и псаммиты алевритовые. На дне стокового фарватера залегают гравийные отложения и разнозернистые псаммиты (рис. 2, 3).

Закономерности распределения макроэлементов в донных осадках

Для выявления закономерностей распределения химических элементов в осадках аллювиального фена и в прибрежно-морских Сахалинского залива изучено 8 элементов основного химического состава. Их ряд по среднему содержанию имеет следующий вид: $Si > Al > K > Fe > Ca > Mg > Ti > Mn$. Среднее значение для Na находилось на пределе аналитического обнаружения и поэтому при расчетах ориентировочно принято за 3%.

В химическом составе донных осадков преобладают Si (77%), щелочные и щелочно-земельные Ca, Mg, K, Na ($\Sigma=14\%$) и наименее подвижные в процессе миграции Fe, Ti, Al ($\Sigma=9\%$). Подобное соотношение этих групп элементов и кремния в целом характерно для умеренно-холодного гумидного климата и свидетельствует о невысоких темпах выветривания в области питания [9, 20]. На это же указывают невысокое содержание тонких частиц в речной взвеси, донных осадках и гидрослюдисто-хлорит-каолининовая ассоциация глинистых минералов.

Область питания осадочным материалом Сахалинского залива включает обширные территории с неодинаковыми геолого-геоморфологическим строением, степенью увлажнения и температурным режимом. По этим причинам, как отмечали Н.М. Страхов с соавторами, элювий в пределах такой области затронут процессами выветривания в различной степени, что приводит к существенным вариациям содержания в осадках химических элементов [29]. Действительно, согласно рис. 5, распределение элементов характеризуется высокой степенью пространственной неоднородности, в формировании ко-

торой непосредственно в водах залива ведущая роль принадлежит биогеохимической и седиментационной функциям маргинального фильтра (табл. 2). С целью количественной оценки характера геохимической миграции в зоне гипергенеза и в водной среде, для каждого элемента рассчитан коэффициент распределения K_p . Численно он выражается величиной отношения средних содержаний элемента в сравниваемых объектах [25, 28].

Расчеты относительно осадочных пород континентов [9] показали, что донные осадки обогащены Si ($K_p=1,6$) и обеднены Ti, Al, Fe, Mn, Ca, Mg ($K_p=0,4\div 0,5$) при величине $K_p=0,98$ для калия.

Особенности миграции более детально проявляются при сопоставлении значений K_p в различных осадках. Так, максимальное обогащение Si характерно для псаммитов юго-восточной части залива ($K_p=1,8$), что может связываться с поступлением материала из легко разрушаемых пород побережья. Более низкие величины коэффициента ($K_p=1,4$) установлены для осадков проделты. Для них характерны высокие значения отношения Al/Si, достигающие 0,21 (в осадках юго-восточной части до 0,08) (табл. 2; рис. 6).

Причины формирования таких отличий обусловлены изменениями соотношения вклада обломочной кварцевой и алюмосиликатной глинистой форм SiO_2 в терригенном материале из разных источников, а также разбавляющим влиянием аморфной биогенной модификации SiO_2 . Наблюдается корреляция роста содержания Si, вклада крупных фракций и значений показателя кремнистости Si/Al (табл. 2; рис. 4-6).

Для K, основным источником которого в осадках проделты могут являться гидрослюды [13, 25], характерно циркумконтинентальное распределение с максимальными значениями в вершине залива. На диагенетические преобразования гидрослюды в придонной физико-химической обстановке возможно указывает незначительное присутствие в составе глинистых минералов смектита, как это отмечалось в других работах [28]. В прибрежно-морских осадках с низким содержанием глинистых частиц поведение K вероятно определяется составом обломочных минералов, например калийсодержащих полевых шпатов (табл. 2; рис. 4, 5).

Обогащение осадков аллювиального фена Ti вероятно зависит от вклада тонкодисперсных гидроксидов данного элемента, а в прибрежно-морских - от его диоксидной формы, входящей в состав некоторых акцессорных минералов (таких как, например, рутил, анатаз и других). Влияние речного стока прослеживается и в распределении Al, о чем свидетельствует корреляция с содержанием глинистых минералов (табл. 2; рис. 4, 5).

Особые физико-химические и седиментационные условия, связанные с опусканием вод у фронта прибрежного апвеллинга [30] и быстрым осаждением

биогенной взвеси, формируются на северо-востоке залива. Воды у дна также имеют щелочную реакцию ($pH > 8$), повышенное содержание минерального фосфора и высокое содержание в осадках $C_{орг}$ (до $5,61 \times 10^4$ мкг/г) (рис. 5). При окислении растворенные формы Fe(II) и Mn(II) осаждаются в виде гидроксидов и в дальнейшем проявляют себя как активные сорбенты. Затем эти гидроксиды в результате диагенетических процессов восстанавливаются, а железо и марганец в виде соединений Fe(II) и Mn(II) переходят в поровые воды. Так как окисленный слой в осадках практически отсутствует, они диффундируют в придонную воду, где окисляются с образованием гелей гидроксидов этих металлов [12]. Этими процессами объясняется понижение значений содержания железа в осадках по сравнению с таковыми для придонной взвеси ($Kp=0,58$). Для марганца эти различия менее выражены; кроме того, увеличение его содержания (как и у некоторых других элементов) может зависеть от процессов разложения кремнистого фитопланктона [13]. Вариации же содержания Fe и Mn в прибрежно-морских осадках регулируются гидрофизическими и гидробиологическими процессами, а главными формами их существования здесь являются обломочная и сорбированная.

Рост значений Ti, Al и Mg может объясняться их соосаждением с глинистыми частицами при ассоциировании с органическим веществом вследствие процессов ионообменной адсорбции [16] (табл. 2; рис. 5).

При высоком содержании $C_{орг}$ диагенетические преобразования в илистых осадках вблизи островного побережья определяются процессами редукции сульфатов. В поверхностном слое в аэробной обстановке они протекают слабо, но уже на горизонте 5-10 см под влиянием продуктов жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий идет восстановление окисных форм Fe до образования метастабильной модификации сульфида железа - гидротроилита, встречающегося в виде небольших линз пластичного черного гидрогеля.

Интенсивное новообразование газов при разложении органического вещества сульфатредуцирующими и метанобразующими бактериями на ранней стадии диагенеза общеизвестно [12, 15]. Часть освобожденного CO_2 восстанавливается до CH_4 ; в результате миграции из осадков эти газы создают в придонной воде аномальные концентрации. Насыщение CO_2 достигает 125%, CH_4 - 1200 нл/л (определения О.Ф. Верещагиной), что соответственно в 2 и 6 раз выше в отличие от приматериковых вод. Рост концентрации углекислого газа приводит к понижению значений pH, т.е. вызывает подкисление водной среды. Выделяющийся CO_2 агрессивен по отношению к карбонатам; их устойчивость к растворению

снижает и присутствие Mg [18]. Из-за этого осадки имеют невысокое содержание Ca и повышенное Mg, что подтверждается величиной показателя биогенности $Ca/Mg < 1$ и низким значением $Kp=0,47$ для отношения осадки/придонная взвесь. В то же время, распределение Ca в прибрежно-морских осадках регламентируется биогенными процессами, на что указывает аналогичное распределение Sr (в статье не рассматривается), обычно с ним ассоциирующего из-за вхождения в состав кальцийобразующих организмов и являющегося антагонистом Mg [15, 18] при величине отношения $Ca/Mg > 3$ (табл. 2; рис. 5, 6).

В районе субмеридионального гидрологического раздела, поперечный масштаб которого для эстуарии р. Амур составляет несколько сотен метров и более [27], содержание большинства изученных элементов близко к среднему для залива, что считается нормальным для градиентных зон [7, 25].

При сравнении величин Kp для отношения осадки / придонная взвесь оказалось, что первые обогатены в 2-4 раза Si, Ti, Al, Mg и K ($Kp=2,2 \div 4,3$), а обеднены, как уже отмечалось, Fe и Ca ($Kp=0,7 \div 0,8$).

СОВРЕМЕННЫЕ ПОТОКИ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

Внутригодовое распределение твердого стока р. Амур характеризуется максимумом в безледный период, когда за 6 месяцев в эстуарий поступает до 90% годового объема речных наносов [11, 14]. Минимум стока приходится на зимнюю межень в феврале-марте, а затем начинается постепенное увеличение расходов до максимальных во время летнего половодья и осенних дождевых паводков (табл. 1). В весеннее половодье основной объем стока направлен в пролив Невельского, причина чего заключается в существовании в этот период мощных ледовых заторов на северном выходе из лимана [31] (табл. 1).

Основываясь на данных по распределению взвеси при в различных фазах водного стока [2, 11, 14], рассчитано, что при безледном режиме седиментации в *Амурском лимане* может аккумулироваться весь влекомый сток (2,5 млн т) и 8,3 млн т взвешенного (40% от всего объема). За его пределами приходную часть баланса вещества составляют 12,4 млн т взвеси. Из 8,9 млн т, поступивших в *охотоморскую часть эстуарии*, примерно 5,6 млн т (63%) расходуются на аккумуляцию внешнего устьевого бара и мелководья в вершине Сахалинского залива; 2,7 млн т (30%) - на формирование проделты и 0,6 млн т (7%) выносятся в открытое море. Среднесуточное поступление взвеси в залив равняется 49,4 тыс.т, что соответствует расходу (R) в 570 кг/с. Верификация оценки R амурской взвеси может быть выполнена следующим образом. При взвешенном стоке за безледный период 20 млн т среднесуточная величина $R=1290$ кг/с. Близкие значения

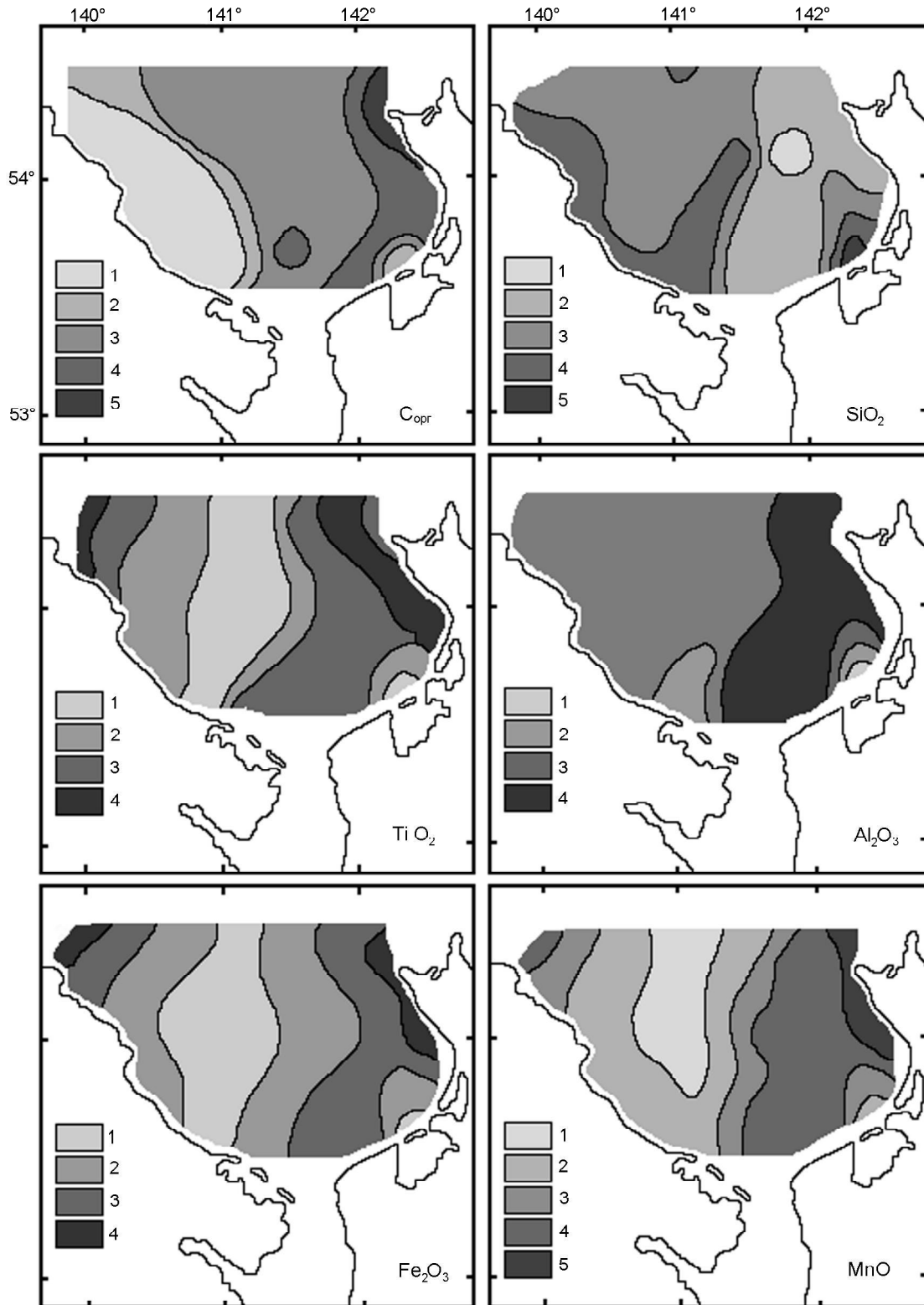
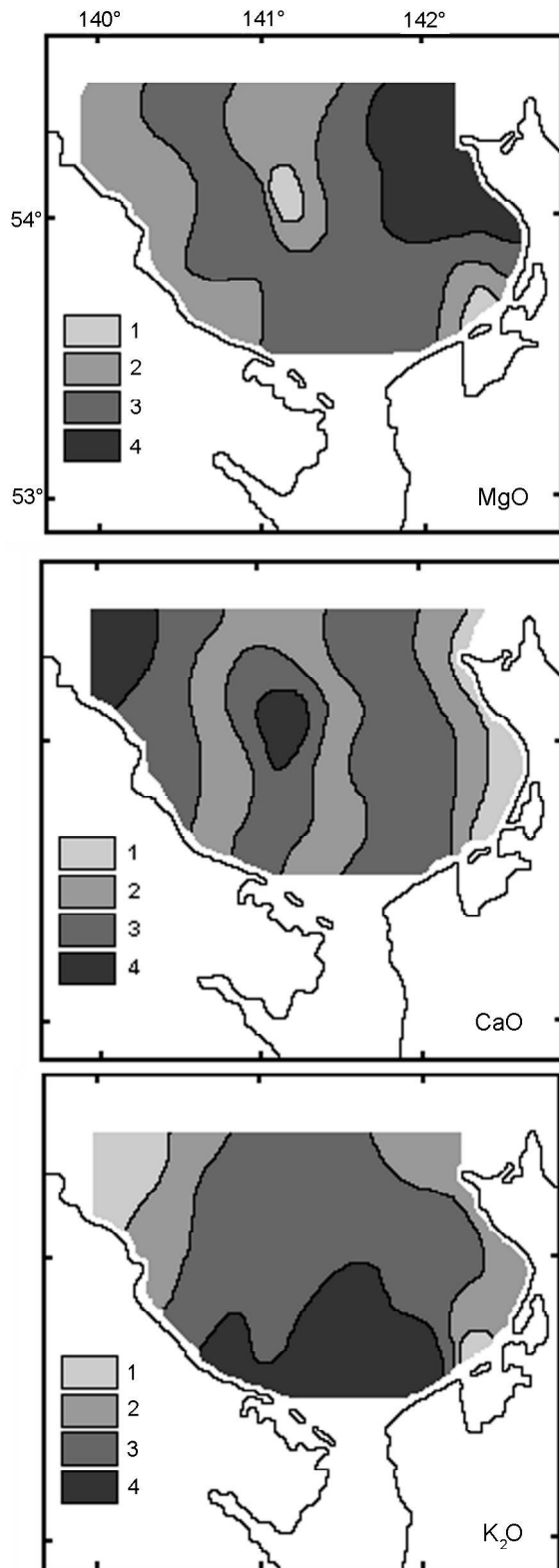


Рис. 5. Распределение химических элементов.

$C_{\text{орг}}$ (%) : 1 - <1, 2 - 1-2, 3 - 2-3, 4 - 3-5, 5 - >5; ($\text{мкг/г} \times 10^3$) SiO_2 : 1 - <700, 2 - 700-750, 3 - 750-800, 4 - 800-850, 5 - >850; TiO_2 : 1 - <3, 2 - 3-4, 3 - 4-5, 4 - >5; Al_2O_3 : 1 - <70, 2 - 70-90, 3 - 90-110, 4 - >110; Fe_2O_3 : 1 - <15, 2 - 15-25, 3 - 25-35, 4 - >35; MnO : 1 - <0.3, 2 - 0.3-0.4, 3 - 0.4-0.5, 4 - 0.5-0.6, 5 - >0.6; MgO : 1 - <5, 2 - 5-10, 3 - 10-15, 4 - >15; CaO : 1 - <10, 2 - 10-15, 3 - 15-20, 4 - >20; K_2O : 1 - <23, 2 - 23-26, 3 - 26-29, 4 - >29.



Продолжение рис. 5.

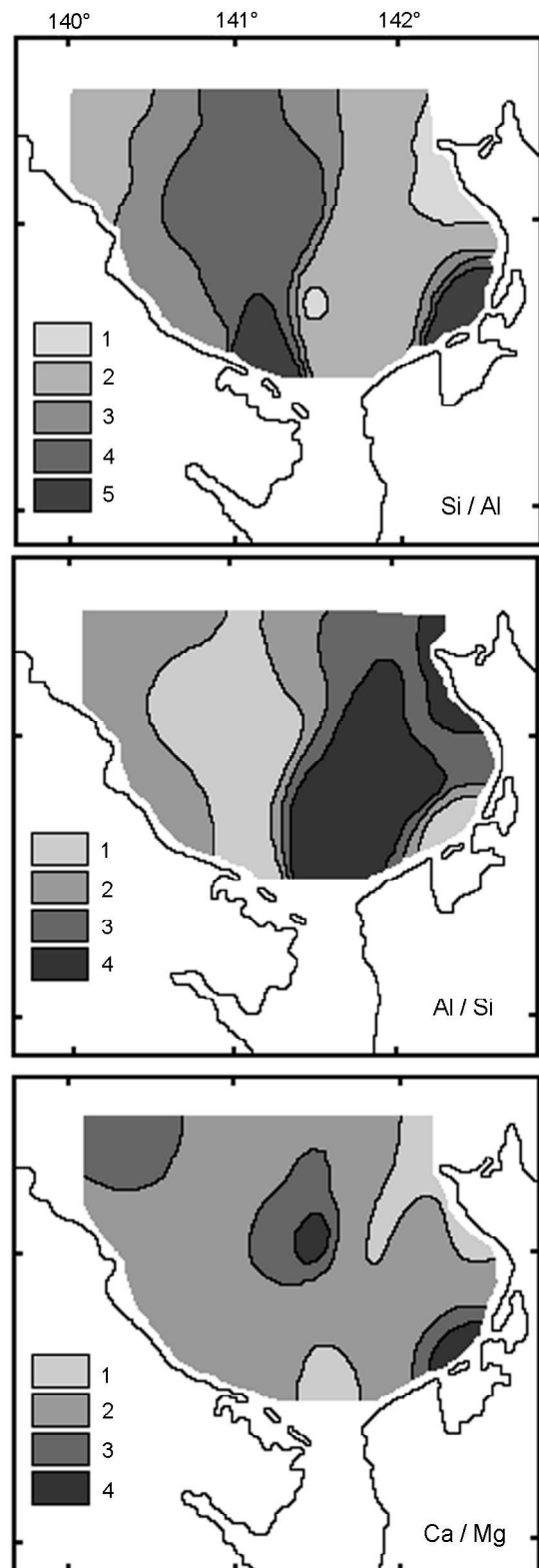


Рис. 6. Распределение значений геохимических коэффициентов.

Si/Al: 1 - <6, 2 - 6-7, 3 - 7-8, 4 - 8-9, 5 - >9; **Al/Si:** 1 - 0.08-0.11, 2 - 0.11-0.14, 3 - 0.14-0.17, 4 - >0.17; **Ca/Mg:** 1 - <1, 2 - 1-2, 3 - 2-3, 4 - >3.

(1150 кг/с при диапазоне 200÷2800 кг/с) дают и результаты гидрологических наблюдений в устьевом створе. Взяв за основу $R=1290$ кг/с, вынос взвеси составит 111,5 тыс. т. В соответствии со схемой водообмена [31] 78 тыс. т (900 кг/с) распределяются в северном направлении, но только половина от этого объема, оставшаяся в транзите после седиментации в лимане, транспортируется в залив, что в целом соответствует расчетным значениям. В япономорскую часть эстуария поступает 3,5 млн т взвеси, из которых на глубинах до 10 м аккумулируется 2,5 млн т (71%); между 10-50 м - 0,9 млн т (26%), а 0,1 млн т (3%) уходят из эстуария.

Таким образом, в результате последовательной разгрузки взвесенесущего потока на аккрецию мелководья и баров в среднем за безледный период расходуется 67% речной взвеси, 28% идет на приращение проделты, 5% транспортируется за границы эстуария. Учитывая, что среднегодовой взвешенный сток р. Амур изменяется в пределах 15÷25 млн т от среднегодового 23 млн т [11], расчетные величины могут варьировать в диапазоне от ± 35 до $\pm 10\%$.

При высоких градиентах плотности речные воды не успевают полностью перемешаться с морскими непосредственно в эстуарии, вследствие чего в открытом море они поступают в виде распресненного и относительно тонкого шлейфа стоковых вод (ШСВ), мезомасштабного по размерам и временной устойчивости (рис. 2, 7). Сезонный наклон водной поверхности и доминирующий ветровой режим вызывают миграцию внешних границ эстуария и распространению ШСВ во время паводков далеко от

своего обычного положения. В такие периоды ШСВ отмечался в 200 км к северу от границы эстуария в Охотском море (почти до подножья банки Кашеярова); в 150 км к востоку от о.Сахалин над западным бортом впадины Дерюгина и в 300 км к югу в струе вод Восточно-Сахалинского течения. В Татарском проливе под влиянием силы Кориолиса и циклонической циркуляции воды шлейфа распространяются в юго-западном направлении на расстояние до 100 км от внешней границы эстуария (рис. 7). В летнюю межень ШСВ не удаляется за пределы 50-м изобаты в охотоморской части, а в япономорской - мористее пролива Невельского. Выявленная изменчивость размеров и положения шлейфа подтверждается данными анализа спутниковых ИК-снимков [27].

Во время **ледового режима седиментации** балласт вещества складывается из твердого стока р.Амур (10% годового объема или 2,5 млн т, табл. 1), биогенного материала и криозоля, захваченного со дна и из водной толщи в процессе льдообразования. Из поступивших 2,28 млн т взвеси за границы лимана транспортируются 0,48 млн т (21%). Соответственно, из этого количества 0,14 млн т (30%) распределяются на север, а 0,34 млн т (70%) - в южном направлении. При отсутствии вертикальной плотностной стратификации и низком водном стоке поступивший материал аккумулируется вблизи границ лимана.

Вклад криозоля можно оценить на примере Амурского лимана с наиболее суровым в эстуарии ледовым режимом. За основу при расчетах взяты следующие данные: площадь контакта льда со дном 2,9 тыс. м² (при площади дна лимана 4,2 тыс. км²); толщина льда 1 м; максимальная величина сизигийного прилива подо льдом 2 м; пределы содержания криозоля в зависимости от гранулометрического состава осадков от 6 до 21 кг/м³ [11, 17, 22]. Отсюда, даже при объеме 10 кг/м³ с мелководья может захватываться до 29 млн т осадочного материала, что соизмеримо с величиной максимального твердого стока р. Амур. Так как в лимане разрушается до 80% льда [22], в этом случае ежегодно в морские части эстуария дополнительно поступает около 6 млн т материала ледового разноса.

Низкий взвешенный сток и разбавляющее влияние доминирующих в фитоценозе толстопанцирных (и поэтому относительно тяжелых) неритических видов диатомей способствуют формированию подо льдом сезонного слоя биогенно-терригенных осадков. После разрушения льда развитие планктона лимитируется существенным увеличением мутности, и в эстуарии вновь начинает преобладать терригенная направленность осадконакопления.

Величины потоков осадочного материала (ПОМ) в районе проделты в Сахалинском заливе

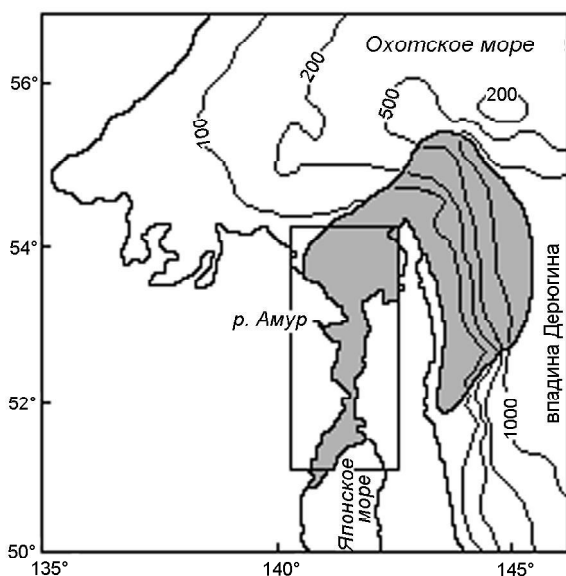


Рис. 7. Пространственное положение шлейфа стоковых вод р.Амур в период летне-осенних дождевых паводков.

Таблица 3. Современные потоки осадочного материала (взвешенная / влекомая фазы твердого стока).

Район эстуария	Безледный режим седиментации			Ледовый режим седиментации			Скорость седиментации, мм/год
	тыс.т/км ²	г/м ² /сут	мм за безледный период	тыс.т/км ²	г/м ² /сут	мм за ледовый период	
Амурский лиман	1.98/0.54	11 / 3	0.14 / 0.29	1.64 / 0.2	9.2 / 1,1	0.90 / 0.2	1.35
Охотоморская часть	1.19/-	6.6 / -	0.68 / -	0.02 / -	0.12 / -	0.01 / -	0.69
Япономорская часть	0.63/-	3.5 / -	0.34 / -	0.06 / -	0.35 / -	0.04 / -	0.38

Таблица 4. Потоки химических элементов в донные осадки Сахалинского залива при безледном режиме седиментации (г/м²/сут).

Объекты	Потоки осадочного материала	Потоки химических элементов									
		Si	Ti	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	C _{орг}
Продельта:											
- взвесь придонного горизонта	7.5	0.71	0.006	0.17	0.15	0.005	0.17	0.033	0.041	0.20	0.30
- донные осадки	6.6	2.28	0.02	0.42	0.14	0.003	0.08	0.06	0.15	-	0.25
Приматериковая часть:											
- донные осадки	0.7	0.26	0.0014	0.036	0.009	0.0002	0.008	0.004	0.015	-	0.007

при безледном режиме оцениваются в 6,6 г/м²/сут или 1,19 тыс. т/км², а темпы седиментации за безледный период - 0,68 мм. Близкие значения (7,5 г/м²/сут) получены и по результатам экспозиции у дна седиментационных ловушек [14]. В западной части залива, где распространены прибрежно-морские осадки, эти показатели на порядок ниже (0,7 г/м²/сут) (табл. 3). Соответственно по обе стороны от плотностного раздела отличаются и потоки химических элементов (табл. 4).

При ледовом режиме значение ПОМ в охотоморской части эстуария снижается до 0,12 г/м²/сут при темпах седиментации за ледовый период всего 0,1 мм. Результирующее значение скорости последней составляет 0,69 мм/год (табл. 3), что по величинам соизмеримо с определенной для последних 1000 лет радиоуглеродным методом и рассчитанной по физико-механическим свойствам осадков [3-5].

ВЫВОДЫ

1. Уникальное положение эстуария на стыке двух морей предопределило особый характер происходящих здесь гидролого-морфологических процессов.

2. В результате взаимодействия амурских, охотоморских и япономорских водных масс в морских частях эстуария формируется субмеридиональная структура гидрологического фронта и обусловленная им подобная структура распределения донных осадков. Последняя характеризуется симметрией пространственного расположения полей осадков аллюви-

альных фенот и прибрежно-морских в Сахалинском заливе относительно вершины Татарского пролива.

3. Осадки конусов выноса характеризуются повышенным содержанием фракций алеврита-пелита и плохой сортировкой. Хорошо и умеренно сортированные прибрежно-морские осадки образуются в результате волнового и вдольберегового перемещения осадочного материала при достаточно турбулентном состоянии водной толщи.

4. Типичная для большинства эстуариев циркумтерральная зональность распределения литологических типов осадков, проявляющаяся в последовательном увеличении содержания тонких фракций от устьевых баров к свалу глубин, сохраняется и здесь.

5. Факторами, регулируемыми пространственное распределение главных химических элементов являются:

- химическое и биологическое фракционирование (перераспределение форм миграции элементов вследствие процессов сорбции-десорбции при участии глинистых частиц и органического вещества);

- гравитационное фракционирование (осаждение из водной толщи минеральных частиц и органоминеральных агрегатов в соответствии с их гидравлическими характеристиками);

- механическое фракционирование (изменение гранулометрического и минералогического составов под влиянием литодинамических процессов).

6. По вещественному составу осадки Сахалинского залива (очевидно, как и вершины Татарского

пролива), являются бескарбонатными ($\text{CaCO}_3 < 10\%$) и бескремнистыми (аморфного $\text{SiO}_2 < 10\%$) *терригенного обломочного типа*. По содержанию Fe ($< 5\%$) и Mn ($< 0,2\%$) они не относятся даже к подгруппам слабозелезистых и слабомарганцовистых. Содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ выше, чем в других эстуариях, но в целом типично для высокопродуктивных морских акваторий.

7. По морфологическим признакам морские части эстуария могут быть классифицированы как *дельта выполнения*, принимающая до 95% объема твердого стока р.Амур.

Только внутри полуизолированного Амурского лимана ежегодно аккумулируется до половины объема стока речных наносов или $0,02 \text{ км}^3$. При указанных темпах, стабильных уровне Мирового океана и тектоническом режиме, лиман должен был заполниться аллювием менее чем за 1000 лет. Между тем, этого не происходит, так как высокая скорость осадконакопления, вероятно, компенсируется прогибанием дна. Тенденцию к погружению в настоящее время испытывает дно не только лимана, но и прилегающих морей [10].

В результате осаждения речных наносов из взвесенесущего потока и их аккумуляции, продельта в Сахалинском заливе выдвигается в северо-восточном направлении, а в Татарском проливе - в юго-западном.

Всего 5% терригенного материала, прошедшего через маргинальный фильтр, транспортируется в шлейфе стоковых вод в прилегающие моря. Здесь терригенная направленность осадочного процесса нивелируется увеличением вклада биогенной составляющей, что обусловлено повышенной концентрацией в водах шлейфа стоковых вод биогенных элементов и связанной с данным обстоятельством ростом биопродуктивности. Так, например, происходит в Охотском море, где наблюдается корреляция пространственного положения шлейфа и максимального распределения биомассы фито-зоопланктона и бентоса.

8. Таким образом, эстуарий р.Амур представляет собой транзитно-аккумулятивную систему для большей части поступивших из области питания продуктов выветривания, седиментогенез в которой является ведущим звеном *терригенного приконтинентального и циклического по характеру осадочного процесса*.

Практические результаты исследований могут быть рекомендованы для использования при обосновании возможностей прокладки подводных коммуникаций, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, судоходных фарватеров и других целей.

Работа подготовлена в рамках проекта 4.2.2 подпрограммы "Исследование природы Мирового океана" ФЦП "Мировой океан".

Авторы признательны А.Н.Деркачеву, Т.А.Задонской, А.В.Можеровскому (ТОИ ДВО РАН), Н.Н.Завадской (ИО РАН им.П.П.Ширшова) за предоставленные фактический материал и результаты аналитических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аникеев В.В. Короткопериодные геохимические процессы и загрязнение океана. М.: Наука, 1987. 192 с.
2. Аникеев В.В., Дударев О.В. Оценка влияния динамического режима вод и седиментационного барьера на распределение и баланс взвешенного вещества в эстуарии р. Амур - Охотское и Японское моря // Докл. АН СССР. 1991. Т. 316, №5. С. 1223-1226.
3. Астахов А.С., Бадюков Д.Д., Букин В.М., Вербицкий В.Л., Демиденко Е.Л. Новые данные о строении и вещественном составе верхней части осадочного чехла шельфа Охотского моря // Современное осадконакопление и четвертичный морфолитолиз Дальнего Востока / ДВНЦ АН СССР. Владивосток, 1982. С. 178-190.
4. Астахов А.С., Вагина Н.К., Горбаренко С.А., Демиденко Е.Л., Шаповалов В.В., Бирюлина М.Г. Скорости голоценового осадконакопления в Охотском море // Тихоокеан. геология. 1988. № 4. С. 3-14.
5. Астахов А.С. Физико-механические свойства и абсолютные массы голоценовых отложений Охотского моря // Тихоокеан. геология. № 2. 1991. С. 50-55.
6. Безруков П.Л. Донные отложения Охотского моря // Тр. ИОАН СССР. 1960. Т. 32. С. 15-97.
7. Биогеохимия океана. М.: Наука, 1983. 283 с.
8. Боуден К.Ф. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Наука, 1988. 324 с.
9. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
10. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых (Восток Азии). Л.: Недра, 1984. Т. 8. 557 с.
11. Гидрология морских устьев рек Дальнего Востока // Тр. ДВНИГМИ. 1989. Вып. 38. 183 с.
12. Грамм-Осипов Л.М., Тищенко П.Д., Стащук М.Ф. и др. Железо-марганцевая система // Химия морской воды и аутигенное минералообразование (п/р В.И. Ильичева). М.: Наука, 1989. С. 112-203.
13. Дегенс Э. Геохимия осадочных образований. М.: Мир, 1967. 299 с.
14. Дударев О.В. Пространственно-временная изменчивость характеристик взвеси в приустьевых зонах рек различных климатических обстановок // Современное осадкообразование в окраинных морях Востока Азии (статистические модели). Владивосток: Дальнаука, 1997. С. 45-89.
15. Иванов М.В., Лейн А.Ю., Кашпарова Е.В. Интенсивность образования и диагенетического преобразования восстановленных соединений серы в осадках Тихого океана // Биогеохимия диагенеза осадков океана. М.: Наука, 1976. С. 171-178.
16. Капченко Л.Н. Роль ионообменной адсорбции в формировании глубокозалегающих подземных вод // Лито-

- логия и полез. ископаемые. 1972. № 6. С. 95-107.
17. Кононов Ю.И., Морик В.А., Петрик Н.С. Роль льда в формировании осадков пролива Невельского // Вопросы географии Тихого океана и притихоокеанских районов. Владивосток, 1975. С. 39-45.
 18. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
 19. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735-747.
 20. Лисицына Н.А. Поступление осадочного материала в океаны из кор выветривания разных климатических зон // Проблемы литологии и геохимии осадочных пород и руд. М.: Наука, 1975. С. 67-84.
 21. Лихт Ф.Р., Астахов А.С., Боцул А.И. и др. Структура осадков и фации Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 287 с.
 22. Лоция Японского моря. М.: ГУНИО СССР, 1977. Ч. II. 392 с.
 23. Михайлов В.Н., Рогов М.М., Чистяков А.А. Речные дельты. Гидролого-морфологические процессы. М.: Гидрометеиздат, 1986. 280 с.
 24. Пахомова А.С. Влияние выносов р.Амур на осадкообразование в Татарском проливе // Тр. ГОИН. Л.: Гидрометеиздат, 1953. Вып. 013. С. 107-166.
 25. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1979. 423 с.
 26. Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза). СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 382 с.
 27. Ростов И.Д., Жабин И.А. Гидрологические особеннос-
ти приустьевой области р.Амур // Метеорология и гидрология. 1991. №7. С. 94-99.
 28. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
 29. Страхов Н.М., Нестерова И.Л. О влиянии вулканизма на геохимию морских отложений на примере Охотского моря // Геохимия осадочных пород и руд. М.: Наука, 1968. С. 223-252.
 30. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 295 с.
 31. Якунин Л.П. К обоснованию пропуска вод р.Амур по новому руслу // Тр. ДВНИГМИ. 1975. Вып.55. С. 61-65.
 32. Eisma D. Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries // Neth. J. of Sea Res. 1986. V. 20, N 2/3. P. 183-199.
 33. Komar D., Miller M.C. On the comparison between the threshold of sediment motion under water and unidirectional currents with a discussion of the practical evaluation of the threshold // J. Sedim. Petrol. 1975. V. 45, N 1. P. 362-367.
 34. Mulder Thierry, Syvitsky P.M. Turbidity currents generated at river mouths during exceptional discharges to the World Oceans // J.Geol. 1995. 103, N3. P. 285-299.
 35. Passega R., Byramjee R. Grain-size image of clastic deposits // Sedimentology. 1969. V.13, N3-4. P.233-252.
 36. Sternberg R.V. Predicting initial motion and bed load transport of sediment particles in the shallow marine environment // Shelf Sediment Transport: Process and Pattern. Stroudsburg (Penn). 1972. P. 61-82.

Поступила в редакцию 15 сентября 1999 г.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

O. V Dudarev, A. I. Botsul, V. V. Anikeev, L. P. Yakunin, G. M. Kolesov

Modern sedimentation in the estuary of the Amur River

The unique geographical position of the Amur River estuary (at the junction of the Asian continent and Sakhalin Island) is responsible for the discharge of the water stream-flow and sediment discharge into the areas located to the north and south of the mouth. Incidentally, annual distribution of distribution of the stream-flow in the near-estuary areas in the Sea of Okhotsk and Sea of Japan is not equal in volume. As a result of interaction between river and seawater masses, a submeridional structure of hydrological fronts is formed there and also an analogous structure of the bottom sediment distribution. The latter is characterized by symmetry of spatial arrangement of the sediment fields, namely, areas of alluvial fans and near-coastal sediments within the Sea of Okhotsk part of the estuary in comparison with the analogous part of the Sea of Japan. The sediments are carbonate- and silica-free, they are assigned to the terrigenous clastic type. According to their Fe and Mn content, they cannot be assigned to the subgroups of weakly ferriferous or weakly manganese sediments; however, their organic carbon content is higher than in other estuaries, but generally still typical of high-productive marine areas. Hydrological and morphological features can classify marine parts of the estuary as fill delta, because it takes up to 95% of the annual sediment discharge volume of the Amur River. As a result, this estuary is defined as a transitive accumulative system for supplied weathering products; the sedimentogenesis in this system is the key part of the total near-continental sedimentary process with its cyclic character. The vast authors' material from different oceanological scientific disciplines allows us to estimate (on a new qualitative level) the trends of the recent sediment accumulation within the estuary of the Amur River, which is one of the great rivers on the western coast of the Pacific Ocean.