

ДИНАМИКА БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОСАДКОВ МОРСКОЙ ЧАСТИ МАРГИНАЛЬНОГО ФИЛЬТРА ПОД ВЛИЯНИЕМ СТОКА РЕКИ РАЗДОЛЬНАЯ (АМУРСКИЙ ЗАЛИВ, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

© 2021 г. Д. М. Поляков*

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
ул. Балтийска, 43, Владивосток, 690041 Россия*

**e-mail: dmpol@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 08.05.2020 г.

После доработки 12.09.2020 г.

Принята к публикации 25.09.2020 г.

Исследовано содержание элементов (Si, Fe, Mn, K, P, V, Cr, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Sn, Mo, Li, Rb, Cs, Sc, Ga, Y, Hf, Ta, Nb, Th, U), органического углерода (C_{org}) и глинистых минералов (гидро-слюды–ГС, хлоритов–ХЛ, смектитов–СМ) в субколлоидной фракции донных осадков (ДО) морской части маргинального фильтра р. Раздольная, отобранных при среднем многолетнем речном (2014 г.) и повышенном речном стоках (тайфун, 2015 г.). Выявлено, что взвесь, питающая Амурский залив, поступает из реки с повышенным количеством гидрослюды (после тайфуна) и смектитов из з. Угловой (при среднегодовом речном стоке). В результате тайфуна в залив выносятся в 2 раза больше гидрослюды по сравнению со средним многолетним речным стоком. Показано увеличение содержания элементов благодаря сорбции на глинистых минералах (гидрослюды, смектиты), вновь образованных оксигидроксидах Fe, Mn (тяжелые металлы–ТМ, U, Th) и связанное с прижизненным накоплением морским фито-, зоопланктоном (Mo, As, P) в донных осадках центральной части залива.

Ключевые слова: глинистые минералы, сорбция на оксигидроксидах Fe, Mn, бионакопление элементов

DOI: 10.31857/S0016752521120049

ВВЕДЕНИЕ

В северо-западную часть Амурского залива впадает вторая по величине река Южного Приморья – Раздольная, которая оказывает существенное влияние на накопление различных элементов донными отложениями (ДО). В отдельные годы речной сток может достигать $782 \text{ м}^3/\text{с}$ (август–сентябрь) по сравнению со средним многолетним $72 \text{ м}^3/\text{с}$. Суммарный твердый сток реки составляет 462 тыс. т, из которого на взвешенную и влекомую фазы приходится 451 тыс. т при величине ионного стока 157 тыс. т (Дударев и др., 2005).

Эта акватория залива соответствует морской части маргинального фильтра (Поляков, Аксентов, 2013), северная часть которой находится под непосредственным влиянием р. Раздольная, где продолжают процессы слияния пресных речных и соленых морских вод, взаимное разбавление, физико-химическое взаимодействие (флокуляция, сорбция, образование оксигидроксилов Fe и Mn) и развитие биологических процессов (морского фито- и зоопланктона).

Биогеохимический состав ДО морской части маргинального фильтра формируется в результа-

те выветривания пород, смыва почвы, химических и биохимических процессов и наилучшим образом может быть исследован на примере субколлоидной фракции, как наиболее реакционно-способной.

Впервые изучено влияния повышенного речного стока на геохимический состав ДО Амурского залива.

Цель работы состояла в изучении динамики биогеохимического состава субколлоидной фракции ДО морской части маргинального фильтра под влиянием стока р. Раздольная (Амурский залив).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ

ДО отобрали из верхнего слоя (1–2 см) с помощью дночерпателя в северной и центральной части (август 2014 и июль 2015 гг.) Амурского залива (рис. 1). Отбор провели через 10 дней после прохождения тайфуна "Чан–Хом" (2015 г.), в результате которого, за короткий промежуток времени, выпало до 67 мм осадков. После отбора ДО упаковали в полиэтиленовую тару и поместили на хранение в холодильник до момента обработки.

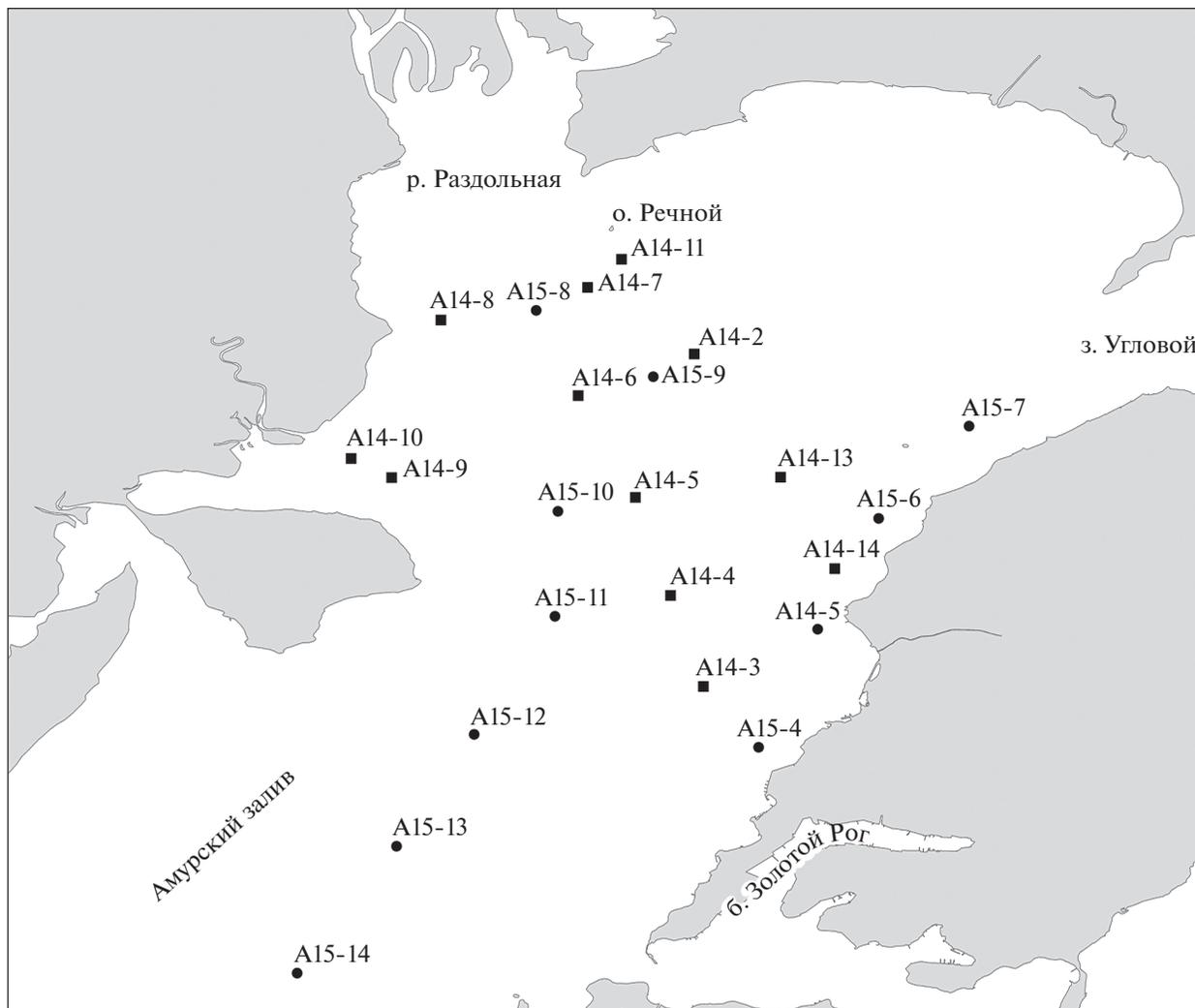


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб ДО в Амурском заливе (2014, 2015 гг.).

Методом водно – механического анализа (Петелин, 1967) с использованием дистиллированной воды выделили субколлоидную (<0.001 мм) фракцию ДО.

Минеральный состав и содержание органического углерода исследовали по методике (Поляков и др., 2014).

Субколлоидную фракцию ДО подвергли химической обработке (Поляков, Зарубина, 2017) для последующего определения содержания исследуемых элементов методом плазменной спектрометрии.

Содержание макро – (Si, Fe, Mn, K, P) и микроэлементов (V, Cr, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Ag, Sn, Mo, Li, Rb, Cs, Sc, Ga, Y, Hf, Ta, Nb, Th, U) определили методом индуктивной плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS, Agilent 7500с, США). Правильность определения содержания исследованных элементов подтверждена анали-

зом стандартного образца MAG-1 (глинистый ил из зал. Мэн) Геологической службы США. Точность анализа составила для ТМ и микроэлементов 10%, для макроэлементов 4%.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для удобства сравнения полученных результатов создали некую последовательность станций A15-8, A15-9, A15-10, A15-11, A15-12, A15-13, A15-14, A15-5, A15-6, A15-7 (отобраны в 2015 г.) и A14-11, A14-7, A14-8, A14-6, A14-12, A14-13, A14-5, A14-3, A14-4, A14-14 (отобраных в 2014 г.), которая связана с предполагаемым распределением вод реки в Амурском заливе (рис. 1).

Минеральный состав осадков

Субколлоидная фракция морских ДО сформирована гидрослюдами (ГС), смектитами (СМ),

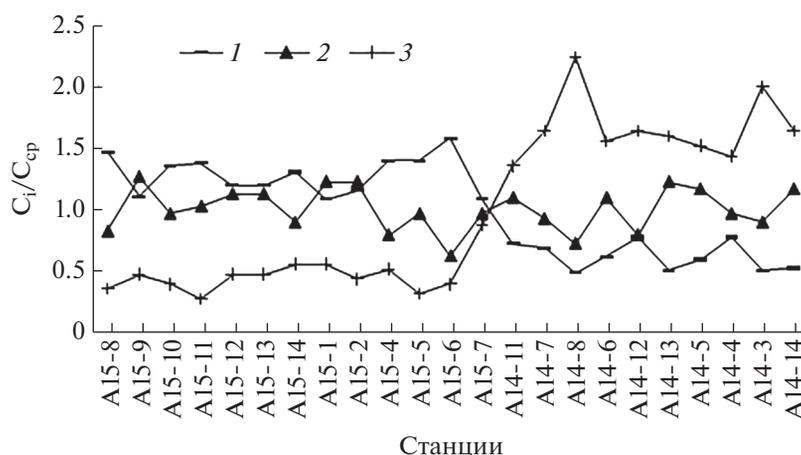


Рис. 2. Распределение отношений C_i/C_{cp} для ГС (1), ХЛ (2) и СМ (3) в ДО Амурского залива.

хлоритами (ХЛ), кварцем и плагиоклазом. Количество ГС в ДО (2014 г.) изменяется от 22 до 35, СМ от 36 до 56 и ХЛ от 22 до 35 при среднем количестве 28, 42 и 30% соответственно. Количество глинистых минералов в ДО залива (2015 г.) представлено в диапазоне: ГС 49–71, СМ 7–22, ХЛ 19–38 при среднем количестве 58, 12, 30% соответственно. Повышенный речной сток (2015 г.) способствовал увеличению количества ГС в составе речной взвеси, о чем свидетельствует минеральный состав ДО, в котором количество этого глинистого минерала составило в среднем 58%, что в 2.1 раза больше по сравнению со средним количеством (28%) в ДО 2014 года (рис. 2). Количество ХЛ в ДО Амурского залива примерно постоянно и не зависит от величины речного стока. Среднее количество СМ (42) в ДО (2014 г.) в 3.5 раза больше по сравнению со средним количеством (12%) в ДО (2015 г.). Количество СМ (43–56, 43–50), выше среднего (42%) определено в ДО станций А14-6–А14-8, А14-12–А14-14, А14-3, что косвенно подтверждается присутствием повышенного количества Si (Самофалова, 2009). При среднегодовом уровне речного стока в заливе формируется циркуляция вод, способствующая поступлению взвеси с повышенным количеством СМ из з. Угловой (Можеровский и др., 1983) в Амурский залив.

Биогеохимический состав осадков

Для удобства построения графиков, содержание элементов представили в виде отношения C_i/C_{cp} , где C_i содержание элемента в осадках i станции и C_{cp} среднее содержание элемента в отложениях залива (2014–2015 гг.).

Исследованные ДО условно разделили на группы: А1—центральная часть Амурского залива вблизи з. Угловой, А2—непосредственно подверженные влиянию р. Раздольная (2014 г.), В1—цен-

тральная часть залива, В2—подверженные влиянию повышенного речного стока (2015 г.) (рис. 1, табл. 1).

Среднее содержание Fe в осадках станций А2, В1, В2 больше по сравнению со средним содержанием (6.0%) в исследованных ДО при аналогичном распределении среднего содержания Mn (табл. 1), что связано с проникновением речной воды в северную (А2, В2—2014, 2015 гг.) и центральную (В1—2015 г.) части Амурского залива при повышенном речном стоке (тайфун) и формированием оксигидроксидов Fe и Mn (Поляков, 2017; Поляков, Зарубина, 2017). При среднегодовом уровне речного стока пресная вода не проникает в центральную часть залива, в результате чего среднее содержание Fe и Mn (5.6%, 0.022%) в ДО станций А1 (2014 г.) меньше среднего содержания в ДО (2014–2015 гг.). Формирование оксигидроксидов Fe и Mn привело к сорбции ионов некоторых элементов из раствора, что отразилось на увеличении содержания ТМ, U, Th в ДО станций А2 по сравнению со станциями А1 и соответствующими группами ДО 2015 г. (табл. 1). Содержание Fe (6.4–6.9%) и Mn (0.022–0.028%) больше среднего содержания (Fe – 6.0%, Mn – 0.021%) определено в отложениях станций А15-8, А15-13, А15-7, А14-6, А14-7, А14-13. Наиболее значимые содержания элементов определены в осадках ст. А15-7, которым соответствует величина отношения C_i/C_{cp} : Fe, Ni—1.2, Mn—1.1, Co—1.4, Cd, Pb—1.3, U—1.7 (рис. 3). Наибольшее различие в накоплении среднего содержания элементов в ДО станций А2 и А1 (2014 г.) свойственно U, Th и Y, а в отложениях станций В2 и В1 (2015 г.) — Th и Y (табл. 1).

В гипергенных условиях Mo сравнительно легко переходит в раствор и преобладающей формой переноса в речных водах является растворенная (Лубченко, Белова, 1973). Среднее содержание Mo в субколлоидной фракции взвесей рек 1.4 мкг/г. В со-

Таблица 1. Среднее содержание химических элементов, $C_{\text{орг}}$ и количества глинистых минералов в субколлоидной фракции ДО Амурского залива

Элементы	Среднее содержание химических элементов, $C_{\text{орг}}$ и количества глинистых минералов в субколлоидной фракции групп (A1, A2, B1, B2) ДО Амурского залива, отобранных в различные годы					
	2014 год			2015 год		
	A1***	A2***	$\Delta A2 - A1, \% *$	B1***	B2***	$\Delta B2 - B1, \% **$
Fe, %	5.6	6.3	11	6.2	6.5	5
Mn, %	0.0221	0.0231	4	0.0213	0.0239	11
Si, %	23.7	23.0	-3	23.3	22.6	-2
P, %	0.029	0.029	0	0.12	0.092	-23
K, %	1.88	1.88	0	1.72	1.78	3
$C_{\text{орг}}, \%$	3.5	2.6	-26	3.8	2.8	-26
ГС, %	28 (23-35)	29 (34-56)	-	58 (54-62)	60 (49-71)	-
ХЛ, %	31 (24-37)	29 (22-33)	-	31 (27-34)	28 (19-38)	-
СМ, %	41 (36-50)	42 (34-56)	-	11 (7-14)	12 (8-22)	-
V, мкг/г	93.1	99	6	113.6	118.6	4
Cr	88.1	92.8	5	104.4	115.1	9
Co	9.0	10.2	12	9.6	11.5	17
Ni	36.9	40.6	9	37.2	41.0	9
Cu	23.7	20.6	-13	30.2	35.1	14
Zn	108.3	114.3	5	109.9	121.6	10
As	13.6	15.4	12	15.6	13.8	-12
Cd	0.13	0.11	-15	0.16	0.18	11
Sn	5.9	4.7	-20	5.2	5.6	7
Pb	14.6	17.8	18	22.3	25.1	11
Mo	4.7	2.6	-45	7.7	6.2	-20
Li	58.6	62.4	6	59.4	71.3	17
Cs	13.7	14.2	4	13.6	14.9	9
Rb	154.4	159.8	3	134.7	150.7	11
Sc	14.9	16.3	9	15.5	18.2	15
Ga	25.5	27.2	6	23.9	27.1	12
Y	12.6	16.9	25	16.0	24.0	33
Hf	3.5	3.7	5	2.5	2.8	11
Ta	0.92	0.99	7	0.73	0.84	13
Nb	11.7	12.2	4	13.5	15.2	11
U	2.1	2.5	18	3.7	4.7	21
Th	14.6	17.9	18	18.3	22.6	19

* Различие между содержанием элементов в A2 и A1 ($\Delta A2 - A1$). %;** различие между содержанием элементов в B2 и B1 ($\Delta B2 - B1$). %;

*** группы станций: A1: A14-3, A14-4, A14-5, A14-12, A14-13, A14-14. A2: A14-6, A14-7, A14-8, A14-11; B1: A15-10, A15-11, A15-12, A15-13, A15-14; B2: A15-5, A15-6, A15-7, A15-8, A15-9.

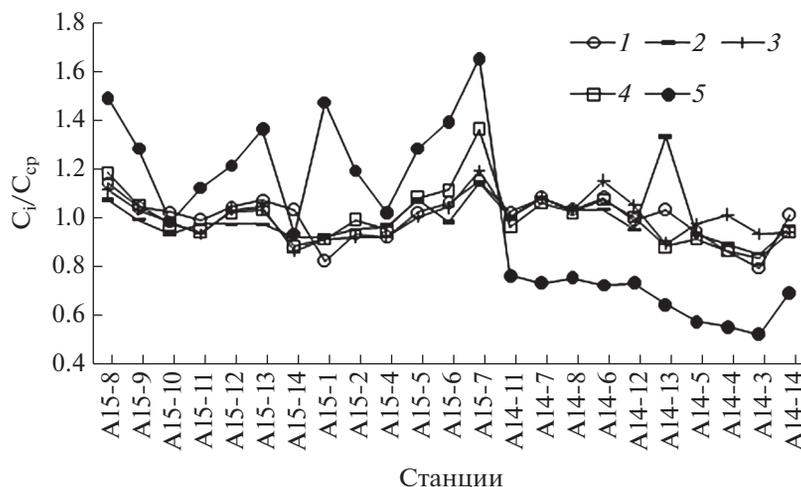


Рис. 3. Распределение отношений $C_i/C_{ср}$ для элементов Fe (1), Mn (2), Ni (3), Co (4), U (5) в ДО залива.

ставе взвеси мигрирует от 33.1 до 75.0%, а в растворе от 25 до 66.9% от его общего содержания (Мизенс и др., 2006).

При среднем многолетнем речном стоке Mo поступает в незначительном количестве, что отражается в малом содержании в ДО группы станций A2 (2.6 мкг/г). Его содержание увеличивается на 55% в отложениях центральной части залива (станции A1—4.7 мкг/г). Содержание Mo больше в отложениях 2015 г. (B1, B2), что свидетельствует о его нахождении в составе ГС речной взвеси (табл. 1). При повышенном речном стоке среднее содержание Mo больше на 39 и 58% в ДО станций B1 и B2 по сравнению со средним содержанием в ДО станций A1 и A2. Высокое содержание этого элемента и $C_{орг}$ (5.5–9.7 мкг/г и 3.5–4.9% при среднем содержании 6.6 мкг/г и 3.6% соответственно) в ДО центральной части залива (станции B1) свидетельствуют о прижизненном накоплении его морским фитопланктоном (Аллауэй, 1967; Демина, 2015) из раствора и процессах биофильтрации — неселективного отделения взвешенных частиц из воды организмами зоопланктона (Лисицын, 1994), о чем косвенно свидетельствует коэффициент корреляции 0.682 Mo и $C_{орг}$. Дополнительным подтверждением является увеличение содержания гуминовой кислоты и величины $C_{п}$ (биохимически слабо переработанная органика) в ДО центральной части залива (Поляков и др., 2012).

Среднее содержание $C_{орг}$ (3.5 и 3.8%) больше в ДО (2014 и 2015 гг.) центральной части залива по сравнению со средним содержанием в ДО примыкающих к выходу реки (2.6, 2.8%). Накопление $C_{орг}$ связано с содержанием фракции P13, количество которой больше в ДО центральной части залива по сравнению с ДО, прилегающими к выходу реки (Polyakov, 2009).

В форме взвеси переносится 92.8% P_2O_5 , содержание фосфора в которой составляет 0.06–0.07% (Батурин, Савенко, 1997) и только 7.4% мигрирует в растворе (Гордеев, 1983). Значительная часть P в речной взвеси, поступающей в залив, связана с силикатами (Холодов, 2003а), что отразилось на содержании в ДО 2015 г. (0.12%) по сравнению с отложениями 2014 г. (0.03%). Содержание P (0.1–0.16%) и As (13.4–21.8 мкг/г) в ДО центральной части залива (станции A15-10–A15-14) больше на 0.041–0.091% (P) и 2.2–7.2 мкг/г (As) по сравнению со средним содержанием в исследованных ДО (P— 0.07%, As—14.6 мкг/г). Увеличение содержания этих элементов в ДО богатых $C_{орг}$ связано с накоплением в процессе жизнедеятельности морским фито- и зоопланктоном (Холодов, 2003b), что косвенно подтверждается коэффициентом корреляции As, P и $C_{орг}$ 0.632 и 0.814. Диапазон величины $C_i/C_{ср}$ для рассматриваемых ДО центральной части залива 1.2–1.5 (As) и 1.6–2.3 (P) при средней величине отношения в ДО 2014—1.0 и 0.4 соответственно (рис. 4).

Микроэлементы Sc, Ga, Li, Cs, Rb, Nb, Hf, Ta, U, Th входят в состав глинистых минералов (Геохимия ..., 1964). Высокое среднее содержание (табл. 1) определено в осадках, непосредственно подверженных влиянию реки (станции A2, B2), что объясняется их входением, в основном, в состав ГС (29, 60) и СМ (42, 12%). Косвенно это подтверждается малым содержанием K в ГС и ХЛ (Хажеева, Тулохонов, 2007). Содержание K больше (табл. 1) среднего содержания (1.80%) выявлено в ДО примыкающих к з. Угловой (станции A14-8, A14-12, A14-13, A14-14), которым свойственно повышенное количество СМ (56, 41, 40, 41, 50%) соответственно. Показательными являются ДО ст. A14-12, в которых выявлено наиболее высокое содержание Cs (15.7), Rb (174.3), Sc

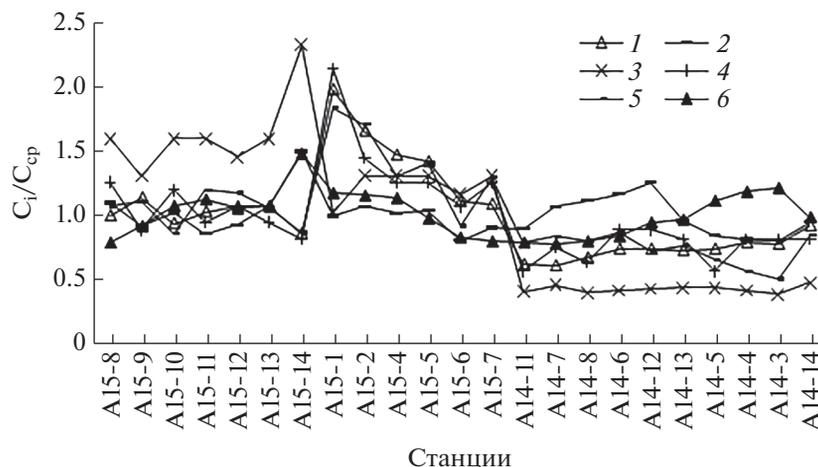


Рис. 4. Распределение отношений C_i/C_{cp} для элементов Cu (1), As (2), P (3), Cd (4), Pb (5), $C_{орг}$ (6) в ДО залива.

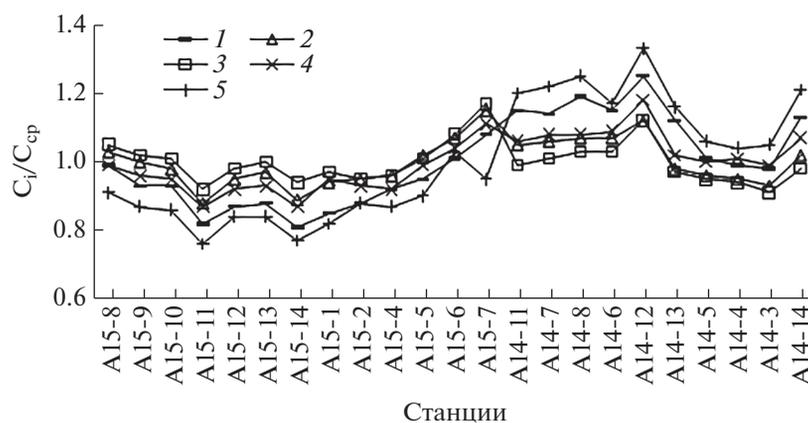


Рис. 5. Распределение отношений C_i/C_{cp} для элементов Ta (1), Ga (2), Cs (3), Rb (4), Hf (5) в ДО залива.

(16.7), Ga (28.7), Th (19.0), Hf (4.1), Ta (1.1 мкг/г) и СМ (41%) по сравнению с их средним содержанием (13.9, 156.6, 15.5, 26.2, 16.0, 3.6, 0.9 мкг/г соответственно) в ДО 2014 г. Это свидетельствует о вхождении микроэлементов в состав ГС и СМ. Величина отношения C_i/C_{cp} для ДО этой станции равна 1.1 (Cs, Ga), 1.2 (Rb), 1.3 (Ta, Hf), а для ДО 2015 года меньше единицы (рис. 5). Содержание микроэлементов, входящих в состав глинистых минералов (ГС, СМ), определяется минеральным составом взвеси, поступающей в осадки залива из реки (ГС—2015 г.) и з. Угловой (СМ—2014 г.).

Методом R кластерного анализа (рис. 6) выявили границы ассоциации элементов первого порядка (А, В). Первая характеризуется повышенным содержанием элементов способных сорбироваться на оксигидроксидах Fe, Mn и входящих в состав гидрослюдов. Вторая определяется повышенным содержанием элементов способных накапливаться благодаря прижизненному накоплению фито- и зоопланктоном ($C_{орг}$, Cu, Mo).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Увеличение речного стока способствует выносу в залив ГС в составе взвеси, которой в 2 раза больше в ДО 2015 г. по сравнению с 2014 г. При ослаблении речного потока (средний многолетний сток) взвесь из з. Угловой поступает в Амурский залив, увеличивая количество СМ в 3.5 раза в ДО залива (2014 г.). Содержание микроэлементов (Rb, Ga, Hf, Ta, Li, Cs, Rb, Sc) в субколлоидной фракции ДО залива определяется минеральным составом взвеси, поступающей из реки (ГС—2015 г.) и з. Угловой (СМ—2014 г.).

Увеличение речного стока обеспечивает проникновение речной воды к северо-восточному побережью и центральной части Амурского залива (2015 г.), расширяя акваторию смешения вод и образования оксигидроксилов Fe, Mn, на поверхности которых происходит сорбция элементов, которая проявляется в увеличении содержания ТМ, U, Th в ДО морской части маргинального фильтра.

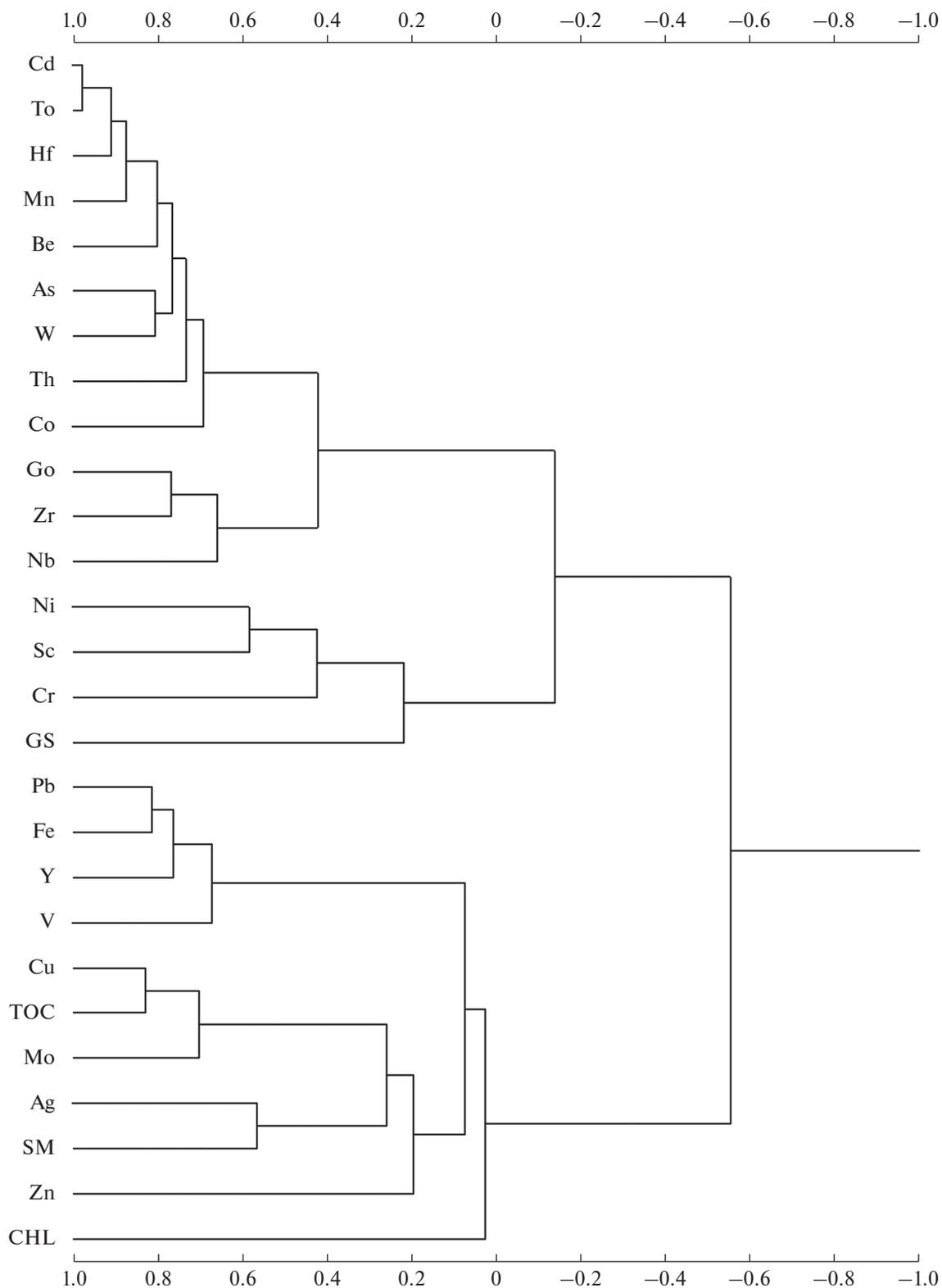


Рис. 6. Результаты статистической обработки данных. Диаграмма связей между элементами и глинистыми минералами (GS-гидрослюда, SM-сметиты, CHL-хлорит). По горизонтальной оси – значения коэффициентов корреляции.

Высокое содержание $C_{\text{орг}}$ соответствует ДО центральной части залива, независимо от уровня речного стока, где выявлено повышенное содержание Mo, As, P, благодаря прижизненному накоплению морским фито- и зоопланктоном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аллауэй В.Х. (1967) *Микроэлементы в биологических системах. Физические методы анализов следов элементов*. М.: Мир, 268 с.
- Батурин Г.Н., Савенко В.С. (1997) Фосфор в океанском седиментогенезе. *Океанология*. 37(1), 115-122.
- Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. (1964) Т. 1. Геохимия редких элементов. М.: Наука, 686 с.
- Гордеев В.В. (1983) *Речной сток в океан и черты его геохимии*. М.: Наука, 158 с.
- Демина Л.Л. (2015) Количественная оценка роли живого вещества в геохимической миграции микроэлементов в океане. *Геохимия*. (3), 234-251.
- Demina L.L. (2015) Quantification of the role of organisms in the geochemical migration of trace metals in the ocean. *Geochem. Int.* 53(3), 224-240.
- Дударев О.В., Боцул А.И., Савельева Н.И., Чаркин А.Н., Дубина В.А., Аникиев В.В. (2005) Масштабы изменчивости литолого-биогеохимических процессов в эстуарии реки Раздольная (Японское море): потоки терригенного материала и формирование донных осадков. Состояние морских экосистем, находящихся под влиянием речного стока. Владивосток; Дальнаука, 7-40.
- Лисицын А.П. (1994) Маргинальный фильтр океанов. *Океанология*. 34(5), 735-747.
- Лубченко И.Ю., Белова И.В. (1973) Миграция элементов в речных водах. *Литология и полезные ископаемые*. (2), 23-29.
- Мизенс Г.А., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2006) Редкие и редкоземельные элементы в девонских обломочных комплексах магнитогорской мегазоны южного Урала. *Геохимия*. (5), 501-521.
- Mizens G.A., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2006) Trace elements and REE in the Devonian clastic complexes of the magnitogorsk megazone, Southern Urals. *Geochem. Int.* 44(5), 456-474.
- Можеровский А.В., Плисс С.Г., Сорочинская А.В., Толок К.П., Грамм-Осипов Л.М., Гусев В.В. (1983) Особенности формирования донных отложений залива Угловое. *Тихоокеанская геология*. (2), 93-96.
- Петелин В.П. (1967) *Гранулометрический анализ морских донных осадков*. М.: Наука, 128 с.
- Поляков Д.М., Ходоренко Н.Д., Марьяш А.А. (2012) Некоторые аспекты накопления органического вещества субколлоидной фракцией донных осадков на барьере "река-море" (р. Раздольная – Амурский залив). *Вестник ДВО РАН*. (6), 89-93.
- Поляков Д.М., Аксентов К.И. (2013) Динамика накопления Fe, Mn и других тяжелых металлов субколлоидной фракцией донных осадков – результат биохимических процессов, протекающих в маргинальном фильтре р. Раздольная (Амурский залив, Японское море). *Метеорология и гидрология*. (11), 79-86.
- Поляков Д.М., Можеровский А.В., Марьяш А.А. (2014) Геохимические аспекты накопления макроэлементов субколлоидной фракцией донных осадков на разрезе р. Раздольная-Амурский залив (Японское море). *Метеорология и гидрология*. (10), 79-88.
- Поляков Д.М. (2017) Динамика содержания микроэлементов в донных отложениях маргинального фильтра (река Раздольная – Амурский залив) – результат биогеохимических процессов. *Водные ресурсы*. 44(4), 485-492.
- Поляков Д.М., Зарубина Н.В. (2017) Геохимические особенности накопления P3Э и Y субколлоидной фракцией осадков северной части Амурского залива (Японское море). *Геохимия*. (5), 463-469.
- Polyakov D.M., Zarubina N.V. (2017) Geochemical features of REE and Y accumulation in the subcolloid fraction of sediments from the northern part of Amur Bay (Sea of Japan). *Geochem. Int.* 55(5), 489-495.
- Самофалова И.А. (2009) Химический состав почв и почвообразующих пород. Пермь, ФГОУ ВПО "Пермская ГСХА", 132 с.
- Хажеева З.И., Тулохонов А.К. (2007) Распределение металлов в донных отложениях проток дельты о. Селенга. *Геохимия*. (2), 216-223.
- Khazheeva Z.I., Tulokhonov A.K. (2007) Distribution of metals in bottom deposits in the branches of Selenga river delta. *Geochem. Int.* 45(2), 185-192.
- Холодов В.Н. (2003а) Геохимия фосфора и происхождение фосфоритов. Сообщение 1. Роль терригенного материала в гипергенной геохимии фосфора. *Литология и полезные ископаемые*. (4), 370-390.
- Холодов В.Н. (2003б) Геохимия фосфора и происхождение фосфоритов. Сообщение 2. Источники фосфора на континенте и генезис морских фосфоритов. *Литология и полезные ископаемые*. (6), 563-583.
- Polyakov D.M. (2009) Geochemical aspects of the accumulation of chemical elements in various fractions of bottom sediments of the Razdolnaya River Amursky Bay marginal filter. Ecological studies and the state of the ecosystem of Amursky Bay and the estuarine zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan). Vladivostok; *Dal'nauka*. 2, 55-76.