

Д.М. ПОЛЯКОВ

Природные и антропогенные факторы накопления химических элементов в донных осадках Амурского залива (Японское море) при изменении режима стока реки Раздольная

Определено содержание элементов (Si, Fe, Mn, Na, Ca, K, P, V, Cr; Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Sn, Mo, Li, Rb, Cs, Sc, Ga, Y, Hf, Ta, Nb, Th, U), $C_{орг}$ и глинистых минералов (ГС, ХЛ, СМ) в субколлоидной фракции донных осадков Амурского залива, отобранных при среднемноголетнем речном стоке (2014 г.) и повышенном речном стоке (тайфун, 2015 г.). Взвесь поступает в залив с большим количеством ГС из реки (повышенный сток) и СМ из зал. Угловое (среднемноголетний сток). Показано увеличение содержания элементов в донных осадках, подверженных влиянию реки и центральной части залива, в результате природных (сорбции на оксидгидроксидах Fe, Mn и прижизненное накопление морским фито-, зоопланктоном) и антропогенных процессов (выход из бухты Золотой Рог).

Ключевые слова: субколлоидная фракция, глинистые минералы, повышенный речной сток, сорбция.

Environmental and anthropogenic factors of the chemical elements accumulation in the bottom sediments of the Amur Bay (the Japan Sea) at the change in the runoff regime of the Razdolnaya River. D.M. POLYAKOV (V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok).

The contents of some elements (Si, Fe, Mn, Na, Ca, K, P, V, Cr; Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Sn, Mo, Li, Rb, Cs, Sc, Ga, Y, Hf, Ta, Nb, Th, U), C_{org} and clay minerals (HS, CL, SM) in the subcolloidal fraction of the Amur Bay sediments, being selected both with the mean long-term river runoff (2014) and its increase (typhoon 2015), have been determined. The suspension enters the bay with a large number of HS from the river (after the typhoon) and with SM from the Uglovoe Bay (the mean annual runoff). The increase in element contents in the bay sediments (being subjected to the influence of the river and the central part of the bay) is shown as a result of ongoing environmental processes (the sorption on Fe, Mn oxyhydroxides and the lifetime accumulation by marine phytoplankton and zooplankton) and anthropogenic factors (the escape from the Golden Horn Bay).

Key words: subcolloidal fraction, clay minerals, increased river runoff, sorption.

Введение

Крупнейшая в Южном Приморье р. Раздольная, впадающая в северную часть Амурского залива, существенно влияет на его экологическое состояние. В отдельные годы расход воды в августе–сентябре достигает 782 м³/с (средний многолетний – 72 м³/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 [6].

ПОЛЯКОВ Дмитрий Михайлович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток). E-mail: dmpol@poi.dvo.ru

Работа выполнена в соответствии с Госзаданием (бюджетная тема № АААА-А17-030110033-0).

Эта часть залива находится под непосредственным влиянием р. Раздольная [16], где продолжают процессы смешения, разбавления пресной речной воды солеными морскими водами, физико-химические взаимодействия (флокуляция, сорбция, образование оксигидроксида Fe и Mn) и бурное развитие биологических процессов (образование морского планктона и зоопланктона).

Химический состав донных осадков (ДО) Амурского залива формируется в результате выветривания пород, смыва почвы, биохимических (влияние биоты) и антропогенных факторов, в частности бытовых, промышленных стоков из бухты Золотой Рог, где находится морской порт г. Владивостока.

Субколлоидная фракция ДО наилучшим образом подходит для изучения содержания элементов как наиболее реакционноспособная.

Ранние исследования по определению содержания элементов проведены в периоды накопления ДО залива при среднем многолетнем речном стоке [14–17].

Цель работы – изучение влияния природных (изменение речного стока, минеральный состав, сорбция на оксигидроксидах Fe, Mn, биота) и антропогенных факторов на распределение элементов в субколлоидной фракции ДО Амурского залива.

Материал и методика

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



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

Методом водно-механического анализа [13] с использованием дистиллированной воды выделили субколлоидную ($< 0,001$ мм) фракцию ДО.

Минеральный состав и содержание органического углерода исследовали по методике, изложенной в работе [14].

Субколлоидную фракцию ДО подвергали химической обработке [19] для последующего определения содержания исследуемых элементов методом плазменной спектromетрии.

Содержание макро- (Si, Fe, Mn, Ca, Na, K, P) и микроэлементов (V, Cr, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cd, As, Sn, Mo, Li, Rb, Cs, Sc, Ga, Y, Hf, Ta, Nb, Th, U) определили методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Agilent 7500 – AgilentTechnologies, США). Правильность определения содержания исследованных элементов подтверждена анализом стандартного образца МАG-1 (глинистый ил из зал. Мэн) Геологической службы США. Точность анализа составила от 0,2 % (Co) до 4 % (макроэлементы).

Результаты

Исследованные осадки условно разделили на группы: А1 – осадки из центральной части Амурского залива вблизи зал. Угловое, А2 – непосредственно подверженные влиянию р. Раздольная (2014 г.), В1 – из центральной части залива, В2 – подверженные влиянию повышенного речного стока, В3 – отложения станций А15-1–А15-4 (2015 г.) (см. таблицу).

Для удобства сравнения полученных результатов создали некую последовательность станций А15-8, А15-9, А15-10, А15-11, А15-12, А15-13, А15-14, А15-1, А15-2, А15-4, А15-5, А15-6, А15-7, А14-11, А14-7, А14-8, А14-6, А14-12, А14-13, А14-5, А14-4, А14-3, А14-14 (рис. 1).

Минеральный состав осадков. Субколлоидная фракция ДО залива сформирована гидрослюдой (ГС), смектитами (СМ), хлоритом (ХЛ), кварцем и плагиоклазом. Количество ГС в ДО (2014 г.) изменяется от 22 до 35, СМ – от 36 до 56, ХЛ – от 22 до 35 при среднем количестве 28, 42 и 30 % соответственно. Количество глинистых минералов в ДО (2015 г.) представлено в диапазоне ГС 49–71, СМ 7–22, ХЛ 19–38 при среднем количестве 58, 12, 30 % соответственно (рис. 2). Повышенный речной сток (2015 г.) способствовал выносу значительного количества ГС в составе взвеси, что подтверждается минеральным составом исследуемой фракции ДО, в которой среднее количество ГС составило 58 %, что в 2,1 раза больше по сравнению со средним ее количеством (28 %) в ДО 2014 г. 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 его 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. Это косвенно подтверждается наибольшим количеством Si (23,7 %) в осадках станций А1 (см. таблицу) [18]. При среднегодовом уровне речного стока СМ поступает в Амурский залив из зал. Угловое [12] в соответствии со схемой течений [24].

Природные факторы накопления элементов. Для удобства построения графиков содержание элементов представили в виде отношения Me_i/Me_{cp} , где Me_i – содержание элемента в осадках *i*-й станции, Me_{cp} – среднее содержание элемента в отложениях Амурского залива (2014–2015 гг.).

Среднее содержание Fe в осадках станций А2, В1 и В2 (6,3 – 2014 г., 6,2–6,5 – 2015 г.) больше по сравнению со средним содержанием (6,0 %) в ДО 2014–2015 гг. при аналогичном распределении среднего содержания Mn (см. таблицу). Это связано с проникновением пресной речной воды в северную и центральную части Амурского залива в 2015 г. (В1) под влиянием повышенного речного стока (тайфун) и с формированием оксигидроксидов Fe и Mn [15, 17]. При среднегодовом уровне речного стока пресная вода не проникает в центральную часть залива (станции А1), в результате чего среднее содержание Fe и Mn

Содержание элементов в донных осадках Амурского залива

Элементы	Среднее содержание химических элементов, $C_{ор}$ и количество глинистых минералов в субколлоидной фракции (группы А1, А2, В1, В2)					
	2014 г.		2015 г.		2014–2015 гг. n = 23	Станция А15-1
	А1: А14-3, А14-4, А14-5, А14-12, А14-13, А14-14 n = 6	А2: А14-6, А14-7, А14-8, А14-11 n = 4	В1: А15-10, А15-11, А15-12, А15-13, А15-14 n = 5	В2: А15-5, А15-6, А15-7, А15-8, А15-9 n = 5		
Fe, %	5,6	6,3	6,2	6,5	6,0	4,9
Mn	0,0221	0,0231	0,0213	0,0239	0,0224	0,0205
Si	23,7	23,0	23,3	22,6	23,2	23,8
Na	0,27	0,23	0,34	0,46	0,38	0,85
Ca	0,091	0,086	0,12	0,12	0,11	0,16
P	0,0290	0,0290	0,12	0,092	0,069	0,07
K	1,88	1,88	1,72	1,78	1,8	1,84
$C_{ор}$	3,5	2,6	3,8	2,8	3,2	3,9
ГС	28	29	58	60	43	49
ХЛ	31	29	31	28	30	37
СМ	41	42	11	12	28	14
V, мкг/г	93,1	99	113,6	118,6	106,2	109,3
Cr	88,1	92,8	104,4	115,1	101,1	113,2
Co	9,0	10,2	9,6	11,5	9,9	9,1
Ni	36,9	40,6	37,2	41,0	38,3	34,7
Cu	23,7	20,6	30,2	35,1	30,7	60,5
Zn	108,3	114,3	109,9	121,6	113,9	119,2
As	13,6	15,4	15,6	13,8	14,6	14,5
Cd	0,13	0,11	0,16	0,18	0,16	0,34
Sn	5,9	4,7	5,2	5,6	6,1	8,9
Pb	14,6	17,8	22,3	25,1	21,8	39,8
Mo	4,7	2,6	7,7	6,2	6,2	26,4
Li	58,6	62,4	59,4	71,3	63,0	66,4
Cs	13,7	14,2	13,6	14,9	14,0	13,6
Rb	154,4	159,8	134,7	150,7	148,1	139,9
Sc	14,9	16,3	15,5	18,2	16,1	15,5
Ga	25,5	27,2	23,9	27,1	25,7	24,1
Y	12,6	16,9	16,0	24,0	17,2	17,3
Hf	3,5	3,7	2,5	2,8	3,1	2,5
Ta	0,92	0,99	0,73	0,84	0,85	0,72
Nb	11,7	12,2	13,5	15,2	13,2	13,3
U	2,1	2,5	3,7	4,7	3,3	4,9
Th	14,6	17,9	18,3	22,6	17,9	15,8

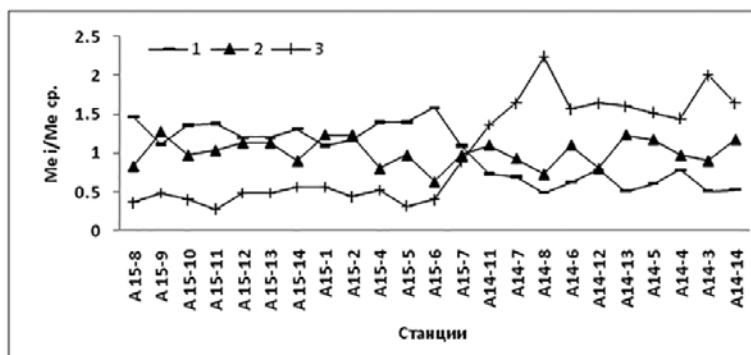


Рис. 2. Распределение отношений Me_i/Me_{cp} для ГС (1), ХЛ (2) и СМ (3) в ДО Амурского залива

(5,6 и 0,0221 % – 2014 г.) в ДО меньше среднего содержания в ДО (2014–2015 гг.). Формирование оксигидроксидов Fe и Mn ведет к сорбции ионов некоторых элементов, в результате которой наблюдается увеличение содержания Tm, U, Th в ДО станций A14-6, A14-7, A14-13, A15-8, A15-13, A15-7 по сравнению со средним содержанием в ДО станций A1 и соответствующих группах ДО 2015 г. Содержание Fe (6,4–6,9 %) и Mn (0,0229–0,0277 %) в отложениях этих станций больше среднего (6,0 и 0,0224 %), причем наибольшие значения соответствуют осадкам ст. A15-7, для которых характерна наиболее высокая величина отношения Me_i/Me_{cp} : Fe – 1,15, Mn – 1,14, Ni – 1,19, Co – 1,36, Cd, Pb – 1,3, U – 1,65 (рис. 3). Наибольшая величина различия в накоплении среднего содержания элементов в осадках станций A2 и A1 (2014 г.) составила 18 % (U, Th) и 25 % (Y), а в отложениях станций B2 и B1 (2015 г.) – 19 % (Th) и 33 % (Y).

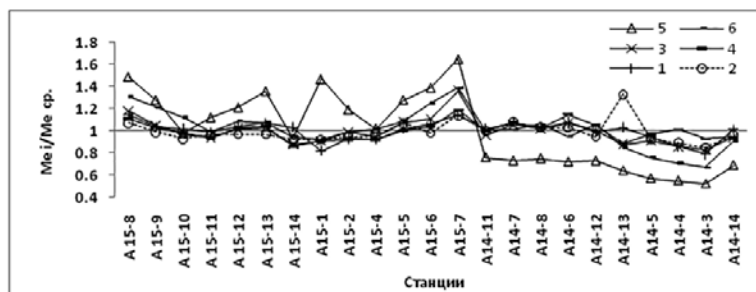


Рис. 3. Распределение отношений Me_i/Me_{cp} для элементов Fe (1), Mn (2), Co (3), Ni (4), U (5), Th (6) в ряду станций ДО

В гипергенных условиях Mo сравнительно легко переходит в раствор, и преобладающая форма его переноса в речных водах – растворенная [9]. Среднее содержание Mo в субколлоидной фракции взвесей рек 1,4 мкг/г, в составе взвеси мигрирует в пределах 33,1–75,0 %, в растворе – 25–66,9 % от его общего содержания [10].

При среднем многолетнем речном стоке Mo во взвеси поступает в незначительном количестве, что отражается на его малом содержании в ДО группы станций A2 (2,6 мкг/г). Содержание Mo больше в отложениях 2015 г. (B1, B2), что свидетельствует о его выносе в составе речной взвеси и вхождении в состав ГС (см. таблицу). При повышенном речном стоке среднее содержание Mo в осадках станций B1 и B2 на 39 и 58 % больше по сравнению с содержанием в отложениях станций A1 и A2. Высокое содержание этого элемента (5,5–9,7 мкг/г при среднем содержании 7,7 мкг/г) и $C_{орг}$ (3,5–4,9 % при среднем содержании 3,8 %) в отложениях центральной части залива (станции B1) свидетельствует о прижизненном его накоплении морским фитопланктоном [1, 5] из раствора и о процессах биофильтрации – безвыборочного отделения взвешенных частиц от воды организмами зоопланктона [8]. Содержание Mo в отложениях 2014 г. (станции A1, A2) меньше по сравнению с осадками 2015 г. (станции B1, B2), что связано с обратным характером накопления ГС и СМ по сравнению с осадками 2015 г. (см. таблицу, рис. 2).

Среднее содержание $C_{орг}$ (3,5 – 2014 г. и 3,8 – 2015 г.) в ДО центральной части залива больше, чем в отложениях, примыкающих к выходу реки (2,6 % – 2014 г., 2,8 % – 2015 г.), что связано не с влиянием уровня речного стока на содержание органики в ДО залива, а с развитием морского фито- и зоопланктона [8].

Увеличение речного стока способствует выносу взвеси, содержащей повышенные концентрации Na, Ca и P, что отразилось на содержании этих элементов в отложениях 2015 г. по сравнению с осадками 2014 г. Среднее содержание Na увеличилось на 50 % в отложениях B2 по сравнению с осадками A2 (см. таблицу). Среднее содержание Ca в группах осадков 2014 г. (0,09 %) и 2015 г. (0,12 %) одинаково. Этот элемент в основном находится во взвеси, его содержание не зависит от природных факторов в заливе.

В форме взвеси переносится 92,8 % P_2O_5 , содержание фосфора в ней составляет 0,06–0,07 % [2], и только 7,4 % мигрирует в растворе [4]. Значительная часть P в речной взвеси связана с силикатами [21], поступающими в залив, что отразилось на его содержании в осадках 2015 г. (0,12 %) по сравнению с отложениями 2014 г. (0,029 %). Содержание P (0,1–0,16 %) и As (13,4–21,8 мкг/г) в отложениях центральной части залива (2015 г.) больше на 0,041–0,091 % (P) и 2,2–7,2 мкг/г (As) по сравнению с их средним содержанием (P – 0,07 %, As – 14,6 мкг/г). Для этих же осадков характерно наибольшее содержание $C_{орп}$, что можно объяснить бурным развитием морского фито- и зоопланктона, в процессе жизнедеятельности накопившего элементы из раствора и взвеси [22]. Диапазон величины Me_i/Me_{cp} для рассматриваемых осадков центральной части залива – 1,0–1,49 (As) и 1,6–2,32 (P) при средней величине отношения в осадках 2014 г. 1,0 и 0,42 соответственно (рис. 4).

Микроэлементы Sc, Ga, Li, Cs, Rb, Nb, Hf, Ta, U, Th входят в состав глинистых минералов [3]. Высокое среднее их содержание (см. таблицу) определено в осадках, непосредственно подверженных влиянию реки (станции A2, B2), что объясняется вхождением в основном в состав ГС (29 и 60 %) и СМ (42 и 12 % соответственно). Косвенно это подтверждается малым содержанием К в ГС и ХЛ [20]. Содержание К (1,86; 1,87; 1,98; 1,91; 1,82) больше по сравнению со средним содержанием (1,8 %) выявлено в отложениях, примыкающих к зал. Угловое (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, где выявлено наиболее высокое содержание (в %) Cs (15,7), Rb (174,3), Sc (16,7), Ga (28,7), Th (19,0), Hf (4,1), Ta (1,06) и СМ (41) по сравнению с их средним содержанием (13,9; 156,6; 15,5; 26,2; 16,0; 3,6; 0,94 мкг/г соответственно) в ДО 2014 г. Величина отношения Me_i/Me_{cp} для ДО 2014 г. составляет 1,12 (Cs, Ga), 1,18 (Rb), 1,25 (Ta), 1,33 (Hf), для ДО 2015 г. – меньше единицы (рис. 4).

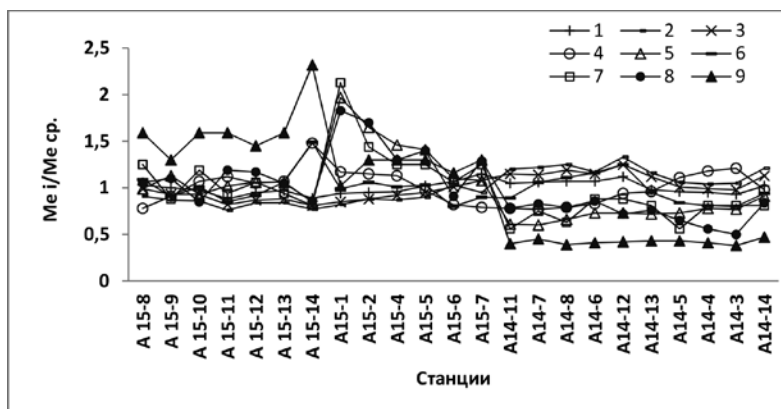


Рис. 4. Распределение отношений Me_i/Me_{cp} для элементов Ga (1), Hf (2), Ta (3), $C_{орп}$ (4), Cu (5), As (6), Cd (7), Pb (8), P (9) в ряду станций ДО

Микроэлементы входят в состав глинистых минералов, поэтому их содержание в ДО залива определяется минеральным составом взвеси, поступающей из реки (ГС – 2015 г.) или из зал. Угловое (СМ – 2014 г.).

Антропогенные факторы концентрации элементов. Содержание Cd, мкг/г (0,34), Pb (39,8), Cu (49,8), Sn (8,9), U (4,9), Mo (26,4), Na (0,85), Ca (0,16 %) в ДО ст. A15-1 больше по сравнению со средним содержанием (0,16; 21,8; 30,7; 6,1; 3,3; 6,2; 0,38 мкг/г; 0,11 % соответственно). Высокое по сравнению со средним содержание элементов свойственно осадкам соседних станций (A15-2, A15-4). Эти отложения расположены в районе «старого дампинга» вблизи от выхода из бухты Золотой Рог [11], куда в 1970–1983 гг. вывозили грунт из нее. В составе грунта определено высокое содержание тяжелых металлов,

нефтяных углеводородов и золы, оставшейся после сжигания в топках пароходов каменного угля, в состав которого входили микроэлементы Ga, Mo, Y, Li, U и др. [23]. Высокое содержание Na и Ca может быть связано с промышленными и бытовыми стоками [7]. Выявлено увеличение содержания элементов в осадках ст. А15-1 по сравнению со средним их содержанием на 32–33 (Sn, U), 45–53 (Pb, Cu, Na, Cd) и 72 % (Mo). Среднее содержание элементов в отложениях этой станции соответствует величине отношения Me_i/Me_{cp} : 4,7 (Mo), 2,4 (Na), 1,97 (Cu), 1,47 (U), 1,4 (Sn, Ca), 1,3 (Pb, Cd) (рис. 4).

Заключение

Увеличение речного стока способствует выносу ГС в Амурский залив в составе взвеси, количество которой в 2 раза больше в ДО 2015 г. по сравнению с ДО 2014 г.

При среднем многолетнем речном стоке (2014 г.) СМ выносятся из зал. Угловое, что в 3,5 раза увеличивает их количество в ДО Амурского залива. Микроэлементы (Rb, Ga, Hf, Ta, Li, Cs, Rb, Sc) входят в состав глинистых минералов (ГС, СМ), их содержание в ДО залива определяется преимущественным поступлением взвеси из реки (ГС, 2015 г.) или зал. Угловое (СМ, 2014 г.).

Увеличение речного стока способствует расширению акватории, подверженной непосредственному влиянию реки, где протекают процессы образования оксигидроксидов Fe, Mn и сорбции элементов (ТМ, U, Th), что отражается на росте их содержания в осадках Амурского залива.

Высокое содержание $C_{орг}$ независимо от уровня речного стока соответствует ДО центральной части залива, в которых выявлено повышенное содержание As, Р благодаря прижизненному их накоплению морским фито- и зоопланктоном.

Высокое содержание Cu, Cd, Pb, Sn, Mo, Na, Ca в ДО вблизи бухты Золотой Рог связано с влиянием антропогенных факторов (грунт из бухты Золотой Рог, бытовой и промышленный стоки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллауэй В.Х. Микроэлементы в биологических системах. Физические методы анализов следов элементов. М.: Мир, 1967. 268 с.
2. Батурин Г.Н., Савенко В.С. Фосфор в океанском седиментогенезе // *Океанология*. 1997. Т. 37, № 1. С. 115–122.
3. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 1. Геохимия редких элементов. М.: Наука, 1964. 686 с.
4. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 158 с.
5. Демина Л.Л. Количественная оценка роли живого вещества в геохимической миграции микроэлементов в океане // *Геохимия*. 2015. № 3. С. 234–251.
6. Дударев О.В., Боцул А.И., Савельева Н.И., Чаркин А.Н., Дубина В.А., Аникиев В.В. 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, 2005. С. 7–40.
7. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.
8. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.
9. Лубченко И.Ю., Белова И.В. Миграция элементов в речных водах // *Литол. и полезн. ископаемые*. 1973. № 2. С. 23–29.
10. Мизенс Г.А., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Редкие и редкоземельные элементы в девонских обломочных комплексах магнитогорской мегазоны южного Урала // *Геохимия*. 2006. № 5. С. 501–521.
11. Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Плотников В.В., Войццкий А.В. Влияние дампинга загрязненных грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивостока // *Изв. ТИНРО*. 2009. Т. 159. С. 243–256.
12. Можеровский А.В., Плисс С.Г., Сорочинская А.В., Толоч К.П., Грамм-Осипов Л.М., Гусев В.В. Особенности формирования донных отложений залива Угловое // *Тихоокеан. геология*. 1983. № 2. С. 93–96.

13. Петелин В.П. Гранулометрический анализ морских донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.
14. Поляков Д.М., Можеровский А.В., Марьяш А.А. Геохимические аспекты накопления макроэлементов субколлоидной фракцией донных осадков на разрезе р. Раздольная – Амурский залив (Японское море) // Метеорол. и гидрология. 2014. № 10. С. 79–88.
15. Поляков Д.М., Зарубина Н.В. Геохимические особенности накопления РЗЭ и У субколлоидной фракцией осадков северной части Амурского залива (Японское море) // Геохимия. 2017. № 5. С. 463–469.
16. Поляков Д.М., Аксентов К.И. 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) // Метеорол. и гидрология. 2013. № 11. С. 79–86.
17. Поляков Д.М. Динамика содержания микроэлементов в донных отложениях маргинального фильтра (река Раздольная – Амурский залив) – результат биогеохимических процессов // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 4. С. 485–492.
18. Самофалова И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород. Пермь: Пермская ГСХА, 2009. 132 с.
19. Сорокина О.А., Зарубина Н.В. Химический состав донных отложений среднего течения р. Амур // Тихоокеан. геология. 2011. Т. 30, № 5. С. 105–113.
20. Хажеева З.И., Тулохонов А.К. Распределение металлов в донных отложениях проток дельты р. Селенга // Геохимия. 2007. № 2. С. 216–223.
21. Холодов В.Н. Геохимия фосфора и происхождение фосфоритов. Сообщение 1. Роль терригенного материала в гипергенной геохимии фосфора // Литол. и полезн. ископ. 2003. № 4. С. 370–390.
22. Холодов В.Н. Геохимия фосфора и происхождение фосфоритов. Сообщение 2. Источники фосфора на континенте и генезис морских фосфоритов // Литол. и полезн. ископ. 2003. № 6. С. 563–583.
23. Шубин Ю.П. Полезные элементы-примеси в углях Донбасса разных марок // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2008. № 2. С. 192–198.
24. Ярош В.В. Исследование процессов переноса примесей в прибрежной зоне приливного моря: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Владивосток, 1987. 160 с.