

КРАТКИЕ
СООБЩЕНИЯНАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДОННЫМИ ОСАДКАМИ ЯПОНСКОГО МОРЯ
(НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗА ВЛАДИВОСТОК–НИИГАТА)

© 2003 г. Д. М. Поляков

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН**690041 Владивосток, ул. Балтийская, 43*

Поступила в редакцию 13.03.2002 г.

Питание Японского моря осадочным материалом осуществляется как путем привноса взвешенного и растворенного материала с речным стоком, течениями, так и за счет волновой, ледовой абразии и вулканизма [1, 2]. Первично терригенные осадки по мере поступления в Японское море претерпевают трансформацию химического состава путем разбавления вулканокластическим и биогенным материалом [1].

Существенное влияние на поставку терригенного материала оказывают воды Цусимского течения, несущие значительное количество взвешенных частиц. Это же течение влияет на распределение донных осадков в южной и юго-восточной частях Японского моря. Аналогичное действие оказывает Приморское течение в северной части моря [3–5].

Для познания общих закономерностей осадко-накопления в последние годы значительное внимание уделяется геохимии современных осадков [6, 7]. Это способствует пониманию таких вопросов, как формы миграции химических элементов, их накопление в осадочных породах и роли раннего диагенеза.

Изучению закономерностей распределения химического состава и содержания следовых металлов в донных осадках различных морей посвящено большое количество работ, их краткий обзор дан [8]. Одними из первых сообщений, рассматривающих этот вопрос применительно к донным осадкам Японского моря, были работы [8–11]. Настоящая статья продолжает это направление. Целью данного сообщения является изучение пространственно-временной изменчивости основного химического состава и концентрации следовых металлов в донных осадках и причин их определяющих.

Данная работа является частью программы по исследованию окружающей среды Японского моря, выполненной Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО РАН совместно с Агентством по окружающей среде Японии в рамках межпра-

вительственного соглашения о сотрудничестве в области охраны окружающей среды.

МЕТОДИКА

Исследовались пробы донных осадков, отобранные на разрезе Владивосток – Ниигата (рис. 1) в сентябре 1995 г. Геологические условия в восточной и западной частях этого профиля резко отличаются, что сказывается на вещественном составе донных осадков и концентрации следовых элементов. Главным образом они определяются различным составом терригенного материала, поступающего с материковой и островодужной части и высокой эндогенной активностью.

Донные осадки отбирались бокс-корером. Пробы толщиной 2–3 см для геохимического анализа брались непрерывно вдоль всего монолита осадка и помещались в полиэтиленовые пакеты.

Силикатный анализ проб осадков выполнялся химическим методом [12]. Определение содержания Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb осуществлялось атомно-абсорбционным методом с предварительным разложением проб [13, 14]. Ошибка измерения не превышала 5% для всех определявшихся металлов.

Статистическая обработка результатов исследований проводилась в пакете программ “STATGRAPH”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Распределение макро- и микроэлементов
в поверхностном слое осадков*

Под поверхностным слоем донных отложений нами понимается верхний горизонт мощностью до 4 см.

Вещественный состав осадков на изученном профиле и его вариации в поверхностном слое в целом соответствуют выявленным ранее закономерностям распределения донных осадков в Японском море [2, 3]. Осадки шельфовой станции R-10 сложены песками, а на поверхности – заиленными алевроитовыми песками. В глубоководных райо-

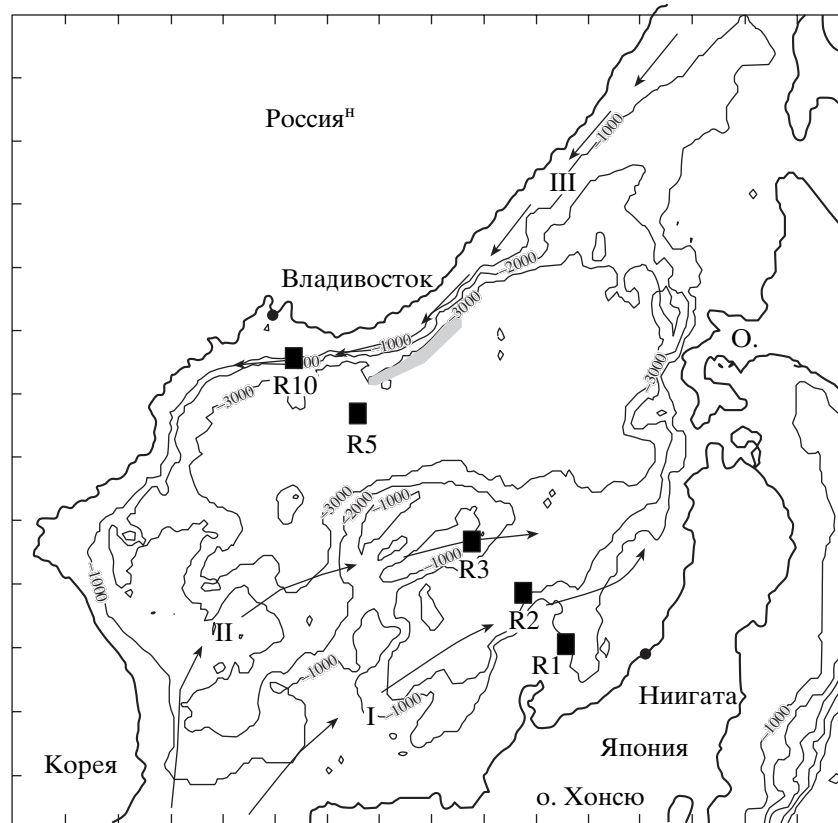


Рис. 1. Положение станций отбора проб донных осадков на субширотном профиле Владивосток–Ниигата в Японском море.

нах преобладают глинистые и биогенно-глинистые осадки. Подробное описание литологического и вещественного состава донных отложений, изученного профиля, дано в [15].

Поверхностный горизонт исследованных осадков на всех станциях представлен окисленным слоем. О его мощности можно судить по коричневой окраске. Для осадков ст. R-1 он составил 1 см, для ст. R-5 – 4 см, для ст. R-3 – 5 см, а на ст. R-2 достигает 15 см.

Анализ распределения диоксида кремния на исследуемом профиле показал постепенное уменьшение его содержаний от осадков шельфа Приморья (73.5% на ст. R-10) к побережью о. Хонсю (58% на ст. R-1) с наименьшими значениями (50% на ст. R-3) на возвышенности Восточный Ямато (табл. 1) и котловине Хонсю (54% на ст. R-2). Вторая по величине компонента химического состава Al_2O_3 распределена следующим образом: ст. R-10 – 12.7%, ст. R-1 – 13.9%, ст. R-3 – 9.2%, ст. R-5 – 13.47 и ст. R-2 – 14.4%. Наибольшие содержания Al_2O_3 в осадках ст. R-2 (котловин Хонсю) могут свидетельствовать о присутствии там глинистого наиболее тонкодисперсного материала.

Иную картину представляет распределение концентраций Fe_2O_3 в осадках изученного профиля.

Она имеет ярко выраженный двугорбовый характер, что свидетельствует о том, что наибольшие концентрации железа (4.36% и 4.49%, соответственно) свойственны осадкам котловины Хонсю (ст. R-2) и Центральной котловины (ст. R-5). Наименьшие содержания этого элемента (1.82%) соответствуют осадкам шельфа Приморья.

Накопление химических элементов в донных осадках Японского моря связано с терригенным осадкообразованием и подчиняется законам механической дифференциации [6, 7]. Железо, поступающее в море, находится в двух фазах: твердой (обломки пород и минералов) и растворенной. Твердая составляющая представлена песчано-алевритовыми и пелитовыми частицами. Железо, связанное с песчано-алевритовой фракцией, соответствует минеральному составу фракций. Пелитовая составляющая твердой фазы, обладая значительной адсорбционной способностью, добавляет Fe из раствора к железу, присутствующему в составе пород и минералов. Благодаря этому в осадках станций R-2 и R-5, представленных глинистыми и биогенно-глинистыми [15] отложениями, содержание валового железа – наибольшее.

Аналогично железу происходит распределение марганца. Причем двугорбовый характер выра-

Таблица 1. Химический состав донных осадков на разрезе Владивосток–Ниигата

Станции	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O
R-1*	57.5	0.64	13.91	3.81	0.13	1.57	1.47	2.39	4.06
R1** (n = 8)	58.96	0.62	12.88	3.68	0.05	1.43	1.81	2.22	3.97
R-2*	56.56	0.49	14.65	4.36	0.086	1.8	0.9	2.19	3.76
R2* (n = 9)	56.99	0.57	15.1	4.3	0.47	2.43	1.71	2.28	3.8
R-3*	50.8	0.45	9.15	3.03	0.2	1	13	2.1	3.1
R3* (n = 5)	50.97	0.45	10.34	2.88	0.11	0.7	12.55	2.21	3.08
R-5*	65.84	0.45	13.47	4.49	0.2	0.52	1.09	3.27	4.2
R5* (n = 9)	61.69	0.51	14.05	4.52	0.45	1.3	1.13	2.96	4.21
R-10*	73.47	0.39	12.69	1.82	0.012	0.84	1.57	2.82	2.86

* Поверхностный слой донных осадков.

** Среднее содержание элемента по всей длине колонки.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в донных осадках на разрезе Владивосток–Ниигата

Станции	Fe, %	Mn, мкг/г	Zn, мкг/г	Cu, мкг/г	Ni, мкг/г	Pb, мкг/г
R-1*	2.8	750	60	33	38	31
R1** (n = 8)	2.59	351.3	65.3	32.3	37.8	29.6
R-2*	2.5	2380	90	41	70	30.5
R-2** (n = 10)	3.3	2710	89.7	39.9	54.2	28.4
R-3*	3.2	1420	55	24.5	35	27
R3** (n = 5)	2.6	842	49.5	25.3	40.6	24.2
R-5*	3.5	1180	170	23	17.5	16.5
R-5** (n = 9)	2.7	1365.6	174.7	30.9	41.1	26.4
R-10** (n = 1)	1.25	250	105	11	26	20

* Поверхностный слой донных осадков.

** Среднее содержание элемента по всей длине колонки.

жен значительно более отчетливо. Если в осадках станций R-1 и R-10 содержание MnO равно 0.13% и 0.012%, соответственно, то на станциях R-2 и R-5 ее значения равны 0.25% и 0.20%, соответственно. Наибольшие концентрации марганца в осадках станций R-2 и R-5 связаны с его высокой геохимической подвижностью в процессе седиментогенеза и интенсивным перераспределением на ранних стадиях диагенеза [16].

Распределение концентраций титана и магния, выявленные на исследуемом профиле – обратны содержанию SiO₂. Если на шельфе Приморья (ст. R-10) содержание этих элементов 0.35% и 0.84%, соответственно, то на шельфе о. Хонсю (ст. R-1) они значительно возрастают до 0.64% и 1.57%, соответственно. По данным [8] в донных осадках прилегающих к островодужной провинции концентрация магния также выше, чем в осадках материкового шельфа. Магний – элемент, поступление и поведение которого в донных осадках исследовано менее всего [6]. Приуроченность

наибольших концентраций титана к осадкам островодужной провинции, возможно, связана с накоплением его в составе титаносодержащих минералов [17], в частности железистых минералов, на что указывает полученная нами четкая зависимость распределения титана от распределения в осадках железа. Аналогичная связь показана для осадков Балтийского моря [18]. Судя по полученной нами корреляции MgO с TiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ (коэффициент корреляции –0.94, 0.89, 0.76), магний сосредоточен в тонкодисперсной фракции.

Кроме указанных выше элементов в донных осадках профиля изучено распределение металлов – Zn, Cu, Ni, Pb (табл. 2). Наибольшие их содержания приурочены к осадкам глубоководных котловин Японского моря. Самые значительные концентрации Cu и Ni характерны для осадков станции R-2, что связано с накоплением там наиболее тонкодисперсного материала. Цинка больше всего содержится в осадках ст. R-5, что вероятнее всего связано с выходом пеплового прослоя

на поверхность осадка [4]. Наименьшие содержания свинца приурочены к поверхностным осадкам станций R-5 и R-10 (16.5 мкг/г и 20 мкг/г, соответственно). Наибольшие его концентрации (31 мкг/г) отмечены в осадках станций R-1 и R-2, расположенных вблизи Японских островов.

*Распределение
макро- и микроэлементов
в толще донных отложений*

В этом разделе рассмотрено распределение содержания компонент основного химического состава и следовых металлов по глубине осадка для каждой из исследованных колонок.

Макрохимический состав осадков (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO) свойственен каждой из индивидуально исследованных колонок. Наименьшие средние содержания указанных элементов приурочены к осадкам возвышенности Ямато (ст. R-3), где накапливаются алевроито-пелитовые отложения с примесью карбонатного материала до 20–40% [15].

Сравнивая содержания основных компонент химического состава осадков двух глубоководных котловин Японского моря (Центральной и Хонсю), можно отметить, что в отложениях ст. R-2 найдено Al_2O_3 и SiO_2 (15% и 60%, соответственно) против выявленных в осадках ст. R-5 концентраций SiO_2 и Al_2O_3 (63% и 13%, соответственно). Это может лишней раз свидетельствовать в пользу накопления на ст. R-2 наиболее тонкодисперсных осадков.

Концентрация калия по всей мощности изученных колонок осадков практически одинакова (за исключением пеплового прослоя на ст. R-5, который отмечен в интервале 8–13 см, где К увеличился в 2.5–3 раза). Аналогичная картина наблюдается и в распределении Na_2O . Характер распределения MgO в интервале от 25 см до 12 см осадков станций R-1, R-2, R-5 одинаков. Для отложений станций R-1 и R-2 характерно практически равное содержание окиси магния по всей длине колонок. Резкое, практически на порядок с 1.8% до 0.15%, уменьшение содержания окиси магния в пепловом прослое ст. R-5 (интервал осадка от 13 см до 8 см) совпадает с концентрацией этого элемента в субщелочном риодаците [4].

Особенно необходимо остановиться на накоплении TiO_2 (рис. 2д). Наибольшие концентрации двуокиси титана как в поверхностном слое, так и в более глубоких горизонтах наблюдаются в осадках ст. R-1, а наименьшие в отложениях ст. R-3. Кривые распределения TiO_2 по глубине колонок станций на шельфе о. Хонсю (ст. R-1) и возвышенности Ямато (ст. R-3) идут равномерно без статистически значимых колебаний. В то же время между различными слоями осадков колонки ст. R-5 наблюдаются статистические различия в

содержании двуокиси титана, что совпадает с наличием пеплового прослоя, в котором концентрация TiO_2 уменьшается с 0.62% до 0.3%. Выше упомянутый пепловый прослой ст. R-5 относится к извержению вулкана Пектусан около тысячи лет назад [4, 19]. Слагающее его светло-серое стекло соответствует субщелочному риодациту [4], макрохимический состав которого полностью совпадает с нашими данными. В различные периоды накопления осадков ст. R-2 концентрация TiO_2 составила: на горизонте 25 см – 0.7%, на горизонте 12 см – 0.29% и в поверхностном слое – 0.48%. Титан может поступать в Японское море в составе литогенной фракции, в которой находится в различных железо-магнезиальных силикатах, а также в титановых мелкодисперсных минералах, поэтому статистически значимое уменьшение его содержания в осадках ст. R-2 на горизонте 12 см и существенное сокращение величины отношения Ti/Al (с 0.05 на глубине 25 см до 0.02 на 12 см) может говорить об изменении состава терригенного стока [16]. Отличия в характере накопления титана и его концентрации (рис. 2д) в колонках осадков станций R-2 и R-5 могут свидетельствовать о различных источниках формирования осадочного материала на этих двух глубоководных станциях. Изменения в накоплении титана в толще осадков определяются процессами седиментогенеза.

Распределение компонент химического состава и следовых элементов по вертикали колонок осадков станций R-1 и R-3 происходит без значительных колебаний, что скорее всего говорит о том, что за время накопления этих отложений состав питающих провинций не изменился. Этого нельзя сказать об осадках глубоководных станций R-2 и R-5 (рис. 2). Распределение Fe и Mn отражает протекающие в колонках этих осадков раннедиагенетические процессы. Как отмечалось выше, на поверхности этих колонок донных осадков присутствует окисленный слой. Следует отметить, что наибольшее содержание Mn приходится не на верхнюю часть окисленного слоя, а на его середину (горизонт 6 см). Подобное неоднородное распределение Mn в окисленном слое отмечено в [8].

Анализ кривых распределения содержаний Zn показал незначительные расхождения в накоплении этого металла в колонках осадков станций R-1 и R-3 (65.3 мкг/г и 49.5 мкг/г – средние значения для этих колонок). Как уже упоминалось выше, концентрация Zn наибольшая не только в верхних слоях осадка ст. R-5, но и как средняя величина для отложений всей колонки. В то же время кривая распределения цинка в осадках ст. R-5 принципиально отличается от накопления этого металла в осадках остальных изученных колонок. Если в ранние периоды формирования донных отложений ст. R-5 (в интервале 25 см – 14 см) концентрация Zn незначительна и в отдельных

слоях осадка отличается от аналогичных величин на ст. R-2, то в пепловом прослое цинк достигает своей максимальной концентрации в 300 мкг/г (горизонт 8–10 см). Повышенные содержания Zn в донных осадках ст. R-5 связаны целиком с наличием пеплового прослоя.

Наименьшие содержания Cu приурочены к осадкам станций R-1 и R-3 (32.3 мкг/г и 25.3 мкг/г, соответственно). Характер распределения меди вдоль этих колонок – равномерный. А вот кривые накопления этого элемента в осадках двух глубоководных котловин Японского моря – различны. В нижних горизонтах осадка ст. R-5 содержание меди растет незначительно и резко уменьшается в пепловом прослое с 49 мкг/г до 12 мкг/г. В осадках ст. R-2 концентрация меди растет с 13.5 мкг/г до 62 мкг/г в интервале 25 см – 12 см, а потом уменьшается до 41 мкг/г. Отсутствие обогащения окисленного слоя медью в отложениях ст. R-2 определяется ее поведением на ранних стадиях диагенеза осадков. Медь образует один из наиболее нерастворимых сульфидов. Можно предположить, что в верхнем слое восстановленных отложений она связывается, теряет подвижность и не участвует в раннедиагенетическом перераспределении [20, 21].

Распределение никеля по вертикали колонок отличается от Zn и Cu. В интервале 25 см – 14 см в осадках станций R-2 и R-5 их концентрации равны 51 мкг/г и 53 мкг/г, соответственно. Выше (в интервале с 14 см до 7 см) содержание этого металла в осадках ст. R-5 уменьшается (пепловый прослой) и на поверхности составляет 17 мкг/г. В осадках ст. R-2 концентрации Ni остаются практически неизменными в интервале 25 см – 6 см, после чего его содержание возрастает до 70 мкг/г. Увеличение концентраций Ni в окисленном слое станций R-2 и R-3 может быть связано с перераспределением этого элемента на ранних стадиях диагенеза при окислительно-восстановительных процессах [22].

Распределения свинца статистически не различимы между собой для осадков всех четырех колонок с глубины 25 см до 6 см, а выше, в поверхностном слое, концентрация этого металла различна (ст. R-5 – 16.5 мкг/г, ст. R-1, R-2 – 31 мкг/г, ст. R-3 – 28 мкг/г). Необходимо отметить неодинаковый характер накопления этого элемента в поверхностных слоях осадков различных станций изученного профиля. Если в осадках ст. R-2 концентрация свинца повышается на горизонте 6 см – 0 см с 22 мкг/г до 30 мкг/г; на ст. R-3 содержание Pb возросло с 19 мкг/г до 28 мкг/г на горизонте 4 см – 0 см, то в отложениях станций R-1 и R-5 наблюдается сокращение концентрации свинца в поверхностных слоях осадка. Возможно, повышение содержания свинца в окисленных слоях указанных выше станций связано с процессами

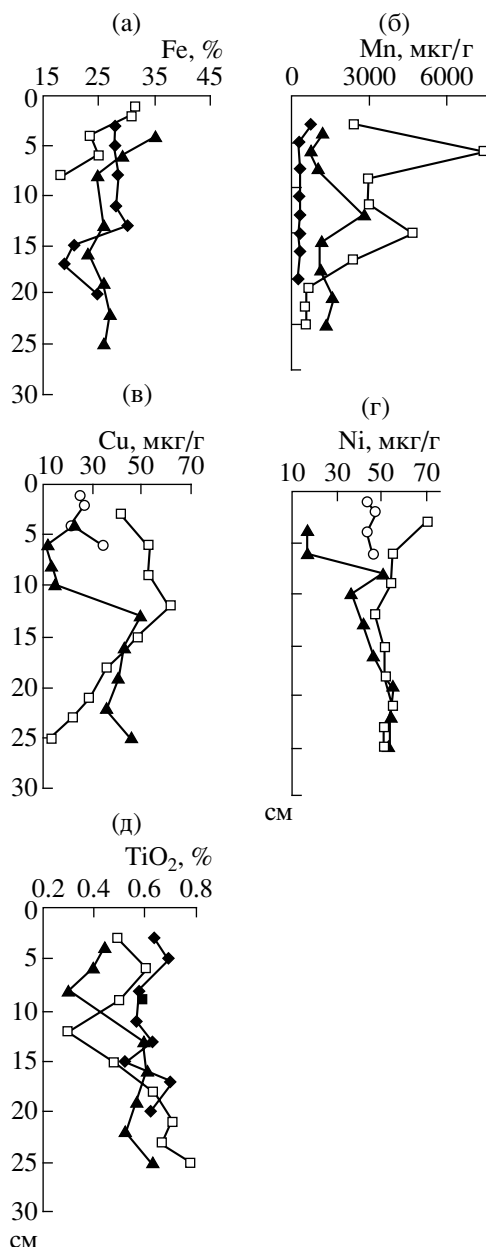


Рис. 2. Распределение концентраций Fe (%), Mn (мкг/г), Cu (мкг/г), Ni (мкг/г) и TiO₂ (%) по глубине (см) колонок донных осадков на станциях R-1 (◆), R-2 (□), R-3 (○) и R-5 (▲).

перераспределения на ранних стадиях диагенеза [16]. Необходимо отметить, что наличие пеплового прослоя в осадках ст. R-5 не отразилось на содержании свинца.

ВЫВОДЫ

1. Показан двугорбовый характер распределения MnO и Fe₂O₃ в поверхностном слое осадков субширотного профиля. Наибольшие содержания этих элементов соответствуют осадкам двух

глубоководных котловин Японского моря, что связано с преобладанием тонкодисперсных фракций и наличием на поверхности осадка окисленного слоя.

2. Получены статистически значимые различия накопления титана в процессе формирования осадков ст. R-2. Сокращение концентрации титана до 0,29% на горизонте 12 см и уменьшение, на этой же глубине, отношения Ti/Al может говорить об изменении состава терригенного стока в этот период.

3. Распределение марганца и железа в раннем диагенезе происходит в соответствии с проходящими там окислительно-восстановительными процессами. Увеличение содержания никеля в окисленных слоях осадков ст. R-2 и R-3 может быть также связано с этими процессами. Накопление донными осадками Zn и Cu, по нашим данным, не связано с окислительно-восстановительными процессами в осадках.

Автор выражает искреннюю признательность Л.И. Грамм-Осипову за научную консультацию, В.Б. Лобанову за содействие в организации исследований, Н.М. Каменьщиковой, Л.Г. Прониной, Е.Н. Слинко, Г.А. Бахаревой за помощь в проведении аналитических работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скорнякова Н.С. Донные осадки // Основные черты геологии и гидрологии Японского моря. М.: Наука, 1961. 223 с.
2. Репечка М.А. Современные донные отложения Японского моря // Вопросы геологии дна Японского моря. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1973. Т. 213. № 6. С. 66–90.
3. Структура осадков и фации Японского моря / Лихт Ф.Р., Боцул А.И., Астахов А.С. и др. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1983. 286 с.
4. Репечка М.А. Пепловый прослой в донных отложениях зоны перехода от Азиатского материка к Тихому океану // Вопросы геологии и геофизики окраинных морей северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 26–42.
5. Юрасов Г.И., Яричин В.Г. Течения Японского моря. Владивосток: Изд-во ДВО АН СССР, 1991. 172 с.
6. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 574 с.
7. Страхов Н.М. К теории геохимического процесса в гумидных зонах // Геохимия осадочных пород и руд. М.: Наука, 1968. С. 102–133.
8. Грамм-Осипов Л.М., Репечка М.А., Волкова Т.И. и др. К геохимии осадков Японского моря // Вопросы геологии дна Японского моря. Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1973. С. 91–114.
9. Грамм-Осипов, Плисс С.Г. Некоторые химические элементы в современных осадках Японского моря // ДАН СССР. 1973. Т. 213. № 6. С. 1413–1416.
10. Соловьев А.В. Характерные черты процесса осадкообразования в Японском море // Сов. геология. 1960. № 9. С. 103–112.
11. Гершанович Д.Е. Основные закономерности современного осадкообразования в Японском море // Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1953. Вып. 013. С. 5–106.
12. Химический анализ горных пород и минералов. М.: Недра, 1974. 249 с.
13. Iskander I.K., Keeney D.R. Concentration of heavy-metals in sediment cores from selected Wisconsin Lakes // Environ. Sci. Technol. 1974. V. 8. № 2. P. 165–170.
14. Heggic D., Lewis T. Cobalt in pore waters of marine sediments // Nature. 1984. V. 311. № 5985. P. 453–455.
15. Астахов А.С., Поляков Д.М. Пофракционное распределение тяжелых металлов и полиэлементные ассоциации в донных осадках Японского моря // Геохимия. 2000. № 9. С. 983–994.
16. Севастьянов В.Ф. Перераспределение химических элементов при окислительно-восстановительных процессах в осадках Средиземного моря // Литол. и полезн. ископаемые. 1968. № 1. С. 3–15.
17. Емельянов Е.М. Титан в осадках Средиземного моря // Литол. и полезн. ископаемые. 1966. № 6. С. 3–18.
18. Геохимия осадочного процесса в Балтийском море. М.: Наука, 1986. 228 с.
19. Деркачев А.Д., Уткин И.В., Горбаренко С.А. и др. Корреляции скорости накопления осадков Японского моря в поздне-последледниковое время // Тихоокеан. геология. 1983. № 4. С. 22–29.
20. Севастьянов В.Ф., Волков И.И. Распределение химических элементов при окислительно-восстановительных процессах в донных отложениях кислородной зоны Черного моря // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1967. Т. 83. С. 115–134.
21. Волков И.И., Севастьянов В.Ф. Перераспределение химических элементов в диагенезе осадков Черного моря // Геохимия осадочных пород и руд. М.: Наука, 1986. С. 134–182.
22. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане: Осадко- и рудообразование, геоэкология // РАН, Ин-т океанологии им. П.П. Ширшова. Калининград, 1998. 416 с.