

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 552.5 : 552.14

*А. В. Можеровский, С. Г. Плисс, А. В. Сорочинская,
К. П. Толок, Л. М. Грамм-Осипов, В. В. Гусев*

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАЛИВА УГЛОВОЕ
(Японское море)**

Изучались седиментационные, геохимические и диагенетические особенности осадкообразования. Проведены комплексные исследования гранулометрического и минералогического состава осадков. Выявлена зональность в распределении глинистых минералов в бассейне. На примере минералов железа рассмотрены изменения ранней стадии диагенеза. Сделана статистическая обработка и выявлены закономерности распре-

деления тяжелых металлов (медь, никель, кобальт, ванадий, олово, цинк, свинец, хром) в различных типах осадков. Установлено, что на процессы осадкообразования в заливе Угловое влияют климатические и географические особенности, механическая дифференциация осадочного материала в бассейне, гидродинамическая активность и рельеф дна.

Комплексному изучению современных морских бассейнов ограниченных размеров в последнее время уделяется пристальное внимание. Залив Угловое как объект исследования интересен еще и тем, что его тонкодисперсные отложения используются в качестве лечебных грязей. Цель настоящей работы — изучение седиментационных, геохимических и диагенетических процессов, протекающих в этом водоеме.

В географическом отношении залив Угловое является последним в звене: залив Петра Великого — Амурский залив — залив Угловое (Японское море). Площадь его порядка 10 км², глубина в среднем 1,80—2,20 м. Территория водосбора залива сложена породами пермской, триасовой, меловой, палеогеновой и неогеновой систем [2].

Верхнепермские отложения представлены туфобрекчиями, плагиоклаз-рогообманковыми порфиридами и кварцевыми порфирами. Далее разрез наращивается нижнетриасовыми конгломератами и песчаниками, кварц-полевошпатовыми песчаниками среднего триаса и верхнетриасовыми конгломератами, песчаниками, глинисто-углистыми сланцами и углями. Для нижнемеловых отложений характерны песчаники, алевролиты и аргиллиты, верхнемеловые представлены туфогенными песчаниками и зелеными алевролитами. Палеогеновая толща сложена эффузивами среднего и кислого состава, а также осадочными породами с прослоями углей. Завершают разрез неогеновые туфогенно-осадочные и вулканогенные породы основного

состава. Интрузивные породы представлены средне-позднепалеозойскими гранитами, плагиогранитами, гранодиоритами и неогеновыми щелочными породами основного ряда.

Строение осадочной толщи в заливе Угловое, пробиваемой грунтовой трубкой до глубины 90 см, следующее.

В верхних ее частях расположена тонкая (доли сантиметра) пленка коричневого цвета с легким сероватым оттенком. Ниже располагается зона I осадков темно-серого, почти черного цвета мощностью в различных частях залива от 15 до 40 см. Она подстилается серыми, стальносерыми осадками с редкими примазками черного цвета (зона II). Мощность их — от 40 до 60 см. Еще ниже располагаются отложения серого цвета с легким коричневатым оттенком (зона III) мощностью 5—15 см. Эта часть толщи не всегда вскрывается трубкой.

По данным механического анализа в соответствии с классификацией 1960 г. [1] в заливе выделены пески, крупные алевролиты, мелкоалевритовые, алевролитово-пелитовые и пелитовые илы.

Пески залива Угловое сложены песчаной фракцией ($> 0,1$), количество которой составляет более 70%. Кроме того, они содержат до 18% пелитовой ($< 0,01$) фракции, что свидетельствует о невысокой степени их сортировки.

Крупные алевролиты выделены не по преобладающей фракции, а формально, по медианному диаметру слагающих их зерен.

Мелкоалевритовые илы отличаются низкой степенью сортировки. Этот тип осадков также

выделен формально по медианному диаметру, поскольку наряду с фракцией мелкого алеврита (0,05—0,01) в количестве 16% они содержат до 42% пелитовой фракции.

Алевритово-пелитовые илы выделены в соответствии с классификационными требованиями — количество пелитовой (<0,01) фракции в них больше 50, но меньше 70%.

Пелитовые илы являются наиболее сортированными отложениями залива. Количество пелитовой фракции превышает 70%.

Распределение донных отложений в заливе; в общем, подчиняется обычной схеме: в прибрежных частях происходит формирование песчано-алевритовых осадков, которые по мере удаления от берега сменяются более тонкими — алевритово-пелитовыми и пелитовыми. По вещественно-генетическому признаку осадки залива Угловое являются терригенными. Лишь на положительных формах рельефа (банки), которые имеют превышение над дном 1,0—1,5 м, развиты карбонатные грубозернистые отложения (ракушняки). При удалении от банок, с увеличением глубины залива, осадки постепенно становятся более тонкозернистыми, переходящими в алевритово-пелитовые и пелитовые.

Для определения минералогического состава отложений использовалась фракция 0,1—0,05 мм, которая изучалась под биноклем и поляризационным микроскопом иммерсионным методом. Состав глинистой фракции <0,001 мм определялся на дифрактометре «Дрон-2,0» с CuK_{α} -излучением (Ni-фильтр).

По результатам иммерсионного анализа фракции 0,1—0,05 мм было выделено пять минеральных групп.

1. Группа рудных минералов: ильменит, лейкоксен, пирит-марказит, гидроокислы железа.

2. Группа амфиболов — пироксенов: роговая обманка и моноклинный пироксен — диопсид.

3. Группа устойчивых минералов: циркон, гранаты, топаз, турмалин, рутил, эпидот, апатит.

4. Группа минералов метаморфических пород: ставролит, андалузит.

5. Минералы легкой фракции: кварц, полевые шпаты, карбонат.

По результатам минералогического анализа каких-либо закономерностей выявить не удалось. Однако минеральный состав донных отложений говорит о том, что в процессе образования осадков участвовал весь комплекс пород бассейна осадконакопления.

Глинистая фракция донных отложений представлена разупорядоченным смектитом, слабо-раскристаллизованной диоктаэдрической гидрослюдой мусковитового типа, каолинитом, хлоритом, а также смешанослойными образованиями переходного типа. Адсорбционные свойства фракции <0,001 мм очень высоки: потери веса при прокаливании достигают 30%. В то же вре-

мя у фракции 0,01 мм этот показатель снижается до 10%.

Проведенные исследования позволяют выделить следующие зоны в осадках дна залива.

1. Сметитовая — центральная, приурочена к наиболее дисперсным осадкам центральной части залива.

2. Хлоритовая — тяготеет к менее дисперсным осадкам правобережной части.

3. Гидрослюдистая — располагается в левобережной части.

Распределение глинистых минералов в заливе обусловлено, по-видимому, спецификой гидрогеологической обстановки и характерным составом горных пород, слагающих бассейн осадконакопления. Цемент песчаников, конгломератов, алевритов палеогеновой системы, а также неогеновые базальты и продукты их выветривания обусловили, вероятно, образование правобережной хлоритовой зоны. Лезобережная гидрослюдистая зона сформировалась под влиянием продуктов выветривания пород триасовой и меловой систем, а также более поздних интрузивных образований, которые, возможно, являлись поставщиками редкоземелов и микроэлементов. Центральная сметитовая зона, вероятно, сформировалась при участии всех пород бассейна осадконакопления в результате процессов осадочной дифференциации материала, поступающего в залив в виде взвеси с речным стоком. Минералы этой зоны очень хорошо сорбируют микроэлементы и органические вещества.

Незначительная толщина верхней коричневой пленки не позволила измерить в ней pH и Eh. По аналогии с другими бассейнами, например Японским морем [3], можно предполагать, что их значения здесь равны 7,6—7,8 и $+0,3 \div +0,45$ В соответственно. Это зона окисного минералообразования, в которой находятся окисные минералы железа (III) и марганца (IV). В зоне I значения Eh колеблются от 0 до $-0,05$ В, а pH от 7,29 до 7,62. Зона II характеризуется более высокими значениями Eh — от 0 до $+0,05$ В. Что касается pH, то его значения колеблются от 7,17 до 7,66. При добавлении к осадку дистиллированной воды (pH около 6,0—6,5) происходит выделение сероводорода. В зоне III Eh повышается до $+0,028 \div +0,038$ В, а pH падает до 7,03—7,10.

Процесс переноса осадочного материала и его осаждение происходит в среде, насыщенной кислородом. После отложения его на дне происходит преобразование первичных компонентов в новых термодинамических условиях, что приводит к появлению в слое осадков новых свойств и компонентов.

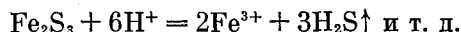
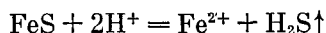
Черный цвет осадков зоны I, наиболее низкий Eh, наибольшее количество микрофлоры свидетельствуют о том, что именно в этой зоне

Распределение тяжелых металлов в донных отложениях залива Угловое ($x \cdot 10^3$, вес. %)

Элемент	Пределы колебаний	Пески + крупные алевриты $n=5$			Мелкие алевриты $n=7$			Алевропелитовые $n=23$		
		\bar{x}	Sx	$S\bar{x}$	\bar{x}	Sx	$S\bar{x}$	\bar{x}	Sx	$S\bar{x}$
Свинец	1,40—3,40	1,60	0,15	0,19	2,00	0,80	0,75	1,60	0,40	0,17
Цинк	1,60—10,0	5,80	2,60	3,20	6,30	2,40	2,40	5,30	2,60	1,10
Олово	0,18—0,53	0,31	0,10	0,12	0,44	0,09	0,08	0,35	0,09	0,04
Хром	2,50—4,80	2,50	0,05	0,06	2,80	0,30	0,28	2,70	0,25	0,11
Ванадий	1,80—6,90	4,00	1,50	1,90	4,80	1,50	1,39	3,40	1,20	0,52
Никель	1,10—3,00	1,80	0,30	0,37	3,10	0,51	0,47	1,60	0,42	0,18
Кобальт	1,00—1,40	1,10	0,20	0,25	1,20	0,19	0,18	1,10	0,09	0,04
Медь	1,00—4,10	2,80	0,81	1,00	3,60	1,33	1,23	1,90	0,78	0,33

Примечание. \bar{x} — содержание элемента в осадках; n — количество анализов; Sx — стандартное отклонение отдельного измерения; $S\bar{x}$ — стандартное отклонение среднего.

наиболее интенсивно протекают процессы преобразования поступившего из наддонной воды материала. Появление запаха сероводорода при действии на осадок дистиллированной воды свидетельствует о наличии здесь легко растворимых сульфидных минералов железа типа Fe_2S_3 ; Fe_3S_4 ; FeS [5]. Разложение их в дистиллированной воде происходит согласно уравнениям:

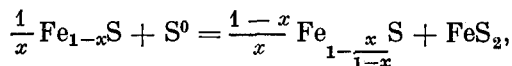


В осадках зоны II под микроскопом обнаружен пирит (FeS_2), наиболее устойчивый сульфид железа.

Изложенные выше данные позволяют проследить ход преобразования соединений железа, начиная с водосборной площади. В речных и временных водотоках железо переносится во взвеси и в растворах (истинных и коллоидных). В коллоидных растворах оно переносится, скорее всего, в виде $Fe(OH)_3$ [4]. Попадая в раствор сильного электролита (морская вода), этот гидроксид коагулирует. В силу процессов механической дифференциации он накапливается там, где формируются наиболее тонкие отложения залива. Согласно [6], растворимость $Fe(OH)_3$ в морской воде с соленостью 36,22% при $pH = 7,28$ равна $7,48 \times 10^{-10}$ моль/л, а при $pH = 8,60$ — $1,69 \times 10^{-10}$ моль/л. Количество растворенного железа в водах залива Угловое колеблется от $5,77 \times 10^{-9}$ до $3,58 \times 10^{-8}$ моль/л, т. е. вода пересыщена этим элементом. Это означает, что железо в ней может образовывать твердую фазу и выпадать в осадок там же, где накапливаются его «терригенные» коллоиды, а последние не будут растворяться. Таким путем происходит формирование окисной зоны минералообразования, которая, как следует из сказанного выше, является седиментационным образованием.

Развитие в донных отложениях нижележащей зоны сульфат-редуцирующих бактерий приводит к формированию здесь сероводорода (или HS^- -

иона, поскольку $pH > 7$). Взаимодействие его с гидроксидами железа приводит к образованию в этом слое целого ряда полисульфидов железа по уравнению: $(1-x)Fe(OH)_3 + 1,5(1-x)H^+ + 1,5(1-x)HS^- \rightleftharpoons Fe_{1-x}S + 3(1-x)H_2O + 0,5(1-3x)S^0$, где x изменяется от 0 до $1/3$ [5]. Образующиеся согласно этой реакции сульфиды железа и элементарная сера реагируют друг с другом, что приводит к формированию пирита [5]:



что термодинамически вполне вероятно. Этот процесс протекает в зоне II. Таким образом, продуцирующийся в зоне I сероводород постепенно расходуется на образование сульфидов железа вплоть до пирита.

В осадках залива Угловое спектральным количественным методом определялись свинец, цинк, олово, хром, никель, ванадий, кобальт и медь. Полученные данные сгруппированы по типам донных отложений и подвергнуты статистической обработке (табл. 1).

Исходя из полученных данных, можно видеть, что все элементы распадаются на две группы. В первую входят Sn, Pb, Zn, Cr и Co, а во вторую — Ni, V и Cu. Содержание элементов первой группы во всех типах донных отложений практически одинаково, т. е. эти элементы поступают в водоем преимущественно во взвешях, в составе породообразующих и глинистых минералов. Распределение элементов второй группы на идеальном литологическом профиле своеобразно: их концентрации в тонкозернистых илах ниже, чем в грубозернистых. Тем не менее нам представляется, что все эти элементы поступают в залив частично в растворенной форме.

Сравнение абсолютных содержаний изученных химических элементов в тонкодисперсных осадках залива Угловое с аналогичными образованиями Амурского залива и Японского моря (табл. 2) показывает, что они достаточно близ-

Распределение тяжелых металлов в донных отложениях залива Угловое, Амурского залива и Японского моря ($x \cdot 10^3$, вес. %)

Элемент	Пески+крупные алевриты			Мелкие алевриты			Алевропелитовые		
	залив Угловое	Амурский залив	Японское море	залив Угловое	Амурский залив	Японское море	залив Угловое	Амурский залив	Японское море
Свинец	1,60	1,26	1,96	2,00	1,80	2,00	1,60	1,75	2,33
Цинк	5,80	4,60	4,35	6,30	5,60	5,49	5,30	6,30	6,28
Олово	0,31	0,42	0,37	0,44	0,44	0,44	0,35	0,52	0,48
Хром	2,50	5,95	2,44	2,80	5,70	4,01	2,70	7,70	4,41
Никель	1,80	1,15	1,23	2,10	1,50	1,57	1,60	1,85	2,29
Ванадий	4,00	4,40	6,60	4,80	6,60	8,05	3,40	6,95	10,77
Кобальт	1,10			1,20			1,10		
Медь	2,80	0,77	0,87	3,60	1,00	1,92	1,90	1,50	2,24

Примечание. x — содержание элемента в осадках.

ки. Если принять концентрации тяжелых металлов в осадках Японского моря в качестве фоновых, то можно считать, что отложения залива Угловое не испытали на себе существенного антропогенного воздействия. Безусловно, этот вывод относится только к изученным металлам.

В целом на процессы осадкообразования в заливе Угловое влияет комплекс факторов. Так, горный контрастный рельеф, резкое превышение истоков рек над их устьевыми частями, их малая протяженность способствуют развитию преимущественно механической денудации, что приводит к поступлению в залив взвешенного материала в гораздо больших количествах, чем растворенного. Вносимый в залив разнородный по гранулометрии материал в прибрежной зоне бассейна подвергается пересортировке и диффе-

ренциации. Наиболее крупные частицы оседают на относительно небольших расстояниях от берега, а более тонкие выносятся за пределы этой зоны в центральные части залива. Однако ограниченные размеры водоема и небольшая его глубина снижают интенсивность процесса механической дифференциации, что находит свое отражение в слабой сортировке песчано-алевритовых осадков. В неглубоких центральных частях залива во время штормов происходит взмучивание поверхностного слоя осадков, что также отражается на распределении осадочного материала в бассейне. Отмеченные особенности процессов седиментации накладывают определенный отпечаток на геохимию изученных элементов, что выражается в весьма однородном их распределении на идеальном литологическом профиле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безруков П. Л., Лисицын А. П. Классификация осадков современных морских водоемов. М.: Изд-во АН СССР, 1960. (Тр. Ин-та океанологии АН СССР, т. 32).
2. Геология СССР. Т. 32, ч. 1. М.: Недра, 1969.
3. Грамм-Осипов Л. М. Литолого-геохимическая характеристика донных отложений Японского моря. Автореф. канд. дис. Владивосток, 1973.
4. Мельник Ю. П. Физико-химические условия образования докембрийских железистых кварцитов. Киев: Наукова думка, 1973.
5. Стащук М. Ф. Проблема окислительно-восстановительного потенциала в геологии. М.: Недра, 1968.
6. Byrne R. H., Kester D. R. Solubility of hydrous ferric oxide and iron speciation in seawater. — Mar. chem., 1976, v. 3, N 3.

ТОИ ДВНЦ АН СССР
Владивосток

Поступила в редакцию
7 июля 1982 г.