

в донных осадках центральной части Баренцева моря заметно ниже, чем соответствующие характеристики инкорпорированного во льды осадочного материала, переносимого Транспольярным дрейфом [Маслов и др., 2018а, 2018б]. Это позволяет думать, что вклад ледового разноса в формирование поверхностных донных осадков Баренцева моря невелик.

Благодарности. Авторы благодарны экипажу НИС «Академик Мстислав Келдыш», А.В. Булохову за помощь в экспедиции, Л.В. Деминой за определение $C_{орг}$ и академику А.П. Лисицыну за ценные советы.

Источники финансирования. Исследования проведены при поддержке Российского научного фонда (гранты № 14-27-00114, экспедиция, и № 14-27-00114-П, интерпретация результатов), Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-50090, анализ проб в ИО РАН) и проекта УрО РАН 18-9-5-1 «Источники осадочного материала и особенности формирования современных донных осадков Баренцева моря: геохимические и Sr-Nd-Pb-изотопные ограничения» (№ госрегистрации АААА-А18-118053090043-4).

9.6. Катионообменные свойства осадков Центральной впадины Баренцева моря

Г.В. Новиков, Г.И. Сычкова

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

В статье приводятся данные по изучению катионообменных свойств осадков Центральной впадины Баренцева моря относительно тяжелых металлов. Эксперименты проводились как на осадках натуральной влажности, так и после удаления из них иловой воды. Максимально установленные значения равновесной обменной емкости осадков, содержащих и не содержащих иловую воду, практически совпадают между собой и составляют (в мг-экв/г) по Mn, Ni, Zn, Cd – 0.20–0.28; Pb – 0.28–0.40; Cu – 0.36–0.66. По полученным значениям обменной емкости осадки относятся к классу адсорбентов. Изучено влияние крупности осадков и концентрации растворов солей металлов на поглотительную способность осадков. Сделаны выводы о том, что, с одной стороны, осадки способствуют круговороту катионов тяжелых металлов в морской среде, с другой стороны, их можно рассматривать как в качестве очистителей, так и загрязнителей морских акваторий.

Ключевые слова: донные осадки, тяжелые металлы, обменная емкость, адсорбенты.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(33)

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых задач геохимии, минералогии и литологии морских осадков является изучение механизмов концентрирования и форм нахождения в них катионов металлов. Ионообменные процессы играют значительную роль в формировании как химического и минерального состава донных отложений, так и химического состава морской воды. Осадки и морская (придонная и иловая) вода представляют собой сложную гетерогенную систему, компоненты которой находятся в подвижном равновесии. Катионный состав обменного комплекса осадков является отражением этого равновесия и, как правило, соответствует катионному составу морской воды. В ходе осадконакопления под действием различных взаимодополняющих друг друга химических, микробиохимических и физических процессов возможна существенная трансформация вещества гетерогенной системы, приводящая к формированию нового обменного комплекса осадков и другого типа иловых вод. В связи с этим, изучение катионообменных свойств осадков важно

для исследования процессов диагенеза и аутигенного минералообразования, а также при взаимодействии придонных и иловых вод с осадками и вновь образовавшимися минералами. Кроме фундаментального аспекта данной проблемы существует и прикладной – экологический. Развитые горно-промышленный и металлургический комплексы на севере Кольского полуострова, с одной стороны, и начавшееся освоение нефтяных и газовых месторождений на западно-арктическом шельфе морей России (открыто более 10 месторождений, из которых 4 нефтяных, 3 газовых, 3 газоконденсатных и одно нефтегазоконденсатное [Мнацаканян и др., 2002]), с другой стороны, ставят неотложную задачу по изучению экологической обстановки морской среды в данном регионе.

Одними из основных загрязняющих веществ являются содержащиеся в осадках реакционноспособные (подвижные) формы катионов тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Co, Cd, Pb и др.), относящиеся к различным классам токсичности. Поступая в морскую воду, они проходят длинный путь миграции до

накопления в донных осадках. Однако, в свою очередь, многие осадки не являются конечным звеном в их аккумуляции, поскольку за счет окислительно-восстановительных реакций, часто с участием органического вещества, катионы металлов вновь мигрируют в воду, создавая тем самым геохимический круговорот этих элементов в морской среде. Возможен и другой механизм геохимического круговорота катионов металлов, в том числе тяжелых, – ионообменный, включающий в себя две стадии процесса: на первой из них происходит поглощение осадками катионов тяжелых металлов, на второй – их десорбция обратно в морскую воду.

Именно с экологических позиций рассматривается изучение распространения, состав и содержание тяжелых металлов в донных осадках Баренцева моря. Однако география этих исследований очень незначительна – по сути дела изучаются донные осадки юго-западной и юго-восточной акваторий Баренцева моря, что во многом объясняется контролем за сносом загрязняющих веществ в море с материковым стоком, в том числе и с территорий горно-металлургических комбинатов «Североникель» и «Печенганикель» [Гуревич, 2002; Ильин и др., 2015; Новиков, 2017; Новиков, Жилин, 2016; Новиков, Драганов, 2018].

Анализ литературного материала по изучению катионообменных свойств осадков Баренцева моря свидетельствует о фрагментарности этих исследований. Поглощение катионов тяжелых металлов изучалось на осадках прибрежных акваторий Баренцева моря [Андреева и др., 1997, 1999; Arlonov et al., 1996; Sawney, 1972]. Результаты этих исследований указывают на более высокую поглощающую способность минералов группы смектита по сравнению с другими глинистыми минералами. В большинстве работ рассматривается поглощение радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr разными литологическими типами осадков [Галимов и др., 1996; Дунаева, Мироненко, 2000; Ильин и др., 2015; Матишов и др., 2014]. В тоже время изучение сорбции катионов тяжелых металлов на осадках Центральной впадины Баренцева моря не проводилось.

Таким образом, актуальность поднятой проблемы не вызывает сомнения, а ее реализация будет способствовать решению как фундаментальных задач морской геологии, так и прикладных аспектов в области охраны морских акваторий от загрязнений, в том числе от катионов тяжелых металлов.

Цель настоящей работы заключалась в изучении катионообменных свойств осадков Центральной впадины Баренцева моря. Задачами исследований являлось установление: 1) влияния иловой воды на поглощающую способность осадков; 2) состава обменного

комплекса осадков; 3) зависимости обменной емкости осадков по катионам тяжелых металлов от их физико-химических характеристик и концентрации растворов солей металлов; 4) форм нахождения сорбированных катионов тяжелых металлов в осадках.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристика исходного материала. Объектами изучения являлись пробы осадков, поднятые со дна юго-восточной (ст. 1183, глубина 329 м, координаты в точке 71°28.09' с. ш., 40°45.94' в. д.) и западной (ст. 1190, глубина 310 м, координаты в точке 73°12.08' с. ш., 40°56.70' в. д.) частей Центральной впадины Баренцева моря в 14 рейсе НИС «Академик Сергей Вавилов» в 1998 году. Изучение катионообменных свойств проводилось на поверхностных (условно до 20 см) осадках, с отдельных горизонтов колонок пробы («глубинные», от ~ 20 см до конца колонок) и на выделенных из осадков по методике В.П. Петелина [1967] фракциях. Полная характеристика осадков – литологическое описание, минеральный и химический составы – приведены в [Новиков и др., 2001], поэтому в настоящей статье отметим только те из них, которые будут необходимы для наших исследований и интерпретации полученных данных.

По результатам литологического описания колонок выделено три типовых стратиграфических горизонта, характерных для разреза позднечетвертичного осадочного чехла шельфовых впадин Баренцева моря. В осадках ст. 1183 горизонт 1 располагается от 0 до 263 см и соответствует голоцену, горизонт 2 – от 263 до 417 см относится к поздней дегляциации. На глубине 263 см отмечена четкая граница смены слоев. В осадках горизонта 1 преобладают пелитовая, прежде всего, мелко- и среднепелитовая, а также алевритовая фракции, содержание которых находится в пределах 62.0–85.7 и 9.0–27.7%. Осадки поздней дегляциации, расположенные ниже 263 см, состоят практически полностью из пелитовой фракции, содержание которой составляет 98.1–99.4%.

В колонке ст. 1190 голоценовый горизонт 1 резко сокращен до 23 см, ниже которого располагается горизонт 3, относящийся к ранней дегляциации, а горизонт 2 отсутствует. В голоценовых осадках также преобладают пелитовая и алевритовая фракции, содержание которых составляет 62.7–87.4 и 11.6–26.8% соответственно. Исходя из полученных данных видно, что осадки обеих станций по гранулометрическому составу практически идентичны.

Анализ минерального состава крупноалевритовой и пелитовой фракций поверхностных слоев осадков (до ~20 см) обеих станций показал, что терригенно-минеральные комплексы крупноалевритовой фракции

трех изученных литостратиграфических горизонтов в целом однотипны. В легкой фракции резко доминируют кварц и полевые шпаты, в сумме составляющие 75–80%. Тяжелая фракция состоит из прозрачных тяжелых минералов и непрозрачных зерен (25–80%). Среди прозрачных терригенных минералов преобладают гранат, минералы группы эпидота и роговая обманка, довольно часто моноклинный пироксен, циркон, апатит и сфен. Среди непрозрачных зерен выделяются черные рудные минералы, пирит, гидроксиды железа, а также группа трудноопределимых выветрелых зерен и обломков породы. Основными минералами пелитовой фракции осадков этой станции являются глинистые минералы – хлорит и монтмориллонит, в небольших количествах присутствуют каолинит и смешаннослойные глинистые минералы.

Данные по химическому составу осадков обеих станций (табл. 9.6.1, 9.6.2) указывают на одинаковую тенденцию в распределении макрокомпонентов по вертикали колонок: содержание Si с глубиной захоронения незначительно уменьшается, а Al, Fe, Ti, наоборот, возрастает. Среднее содержание литогенных элементов – Na, K, Ca, Mg – по длине колонок составляет соответственно 2.7, 2.6, 0.55 и 1.2 масс. %. Сравнение данных по вертикальному распределению катионов тяжелых металлов в осадках обеих станций показывает, что их низкое содержание ($n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$ масс. %) соответствует, скорее всего, фоновым значениям для осадков данного района.

Методы исследований. Обязательным условием подготовки осадков после удаления (отжатия) из них иловых вод к экспериментам по сорбции катионов тяжелых металлов являлась промывка дистиллированной водой для удаления из них морской соли, остающейся в осадках после их высушивания на воздухе, т. е. аналогично тому, как это было сделано в случае с тихоокеанскими осадками [Новиков, Мурдмаа, 2007]. Связано это с тем, что содержание катионов щелочных и щелочноземельных металлов, которые играют основную роль при определении ионообменных характеристик осадков, будут существенно завышены, что приведет к их неправильному расчету. Обработка осадков дистиллированной водой на содержании катионов тяжелых металлов не сказывается, что контролировалось анализом водной вытяжки методом атомной абсорбции.

Эксперименты по сорбции катионов тяжелых металлов на осадках натуральной влажности и после удаления из них иловых вод проводились в статических условиях методом ограниченного объема при температуре $22 \pm 1^\circ\text{C}$, различных концентрациях солей металлов и интенсивном перемешивании фаз. Время

достижения сорбционного равновесия составляло 7 дней. Каждая навеска осадка (300 мг) помещалась в стеклянную пробирку и заливалась 30 мл 0.1 и 0.001 н раствора соли тяжелого металла, а также 30 мл дистиллированной воды (холостой опыт). После окончания эксперимента фазы разделялись через двойной фильтр «синяя лента». Пропущенные через фильтр растворы анализировались на значения pH. Затем равновесная твердая фаза промывалась ~50 мл дистиллированной воды и сушилась на воздухе при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$ до постоянного веса. В сорбционных экспериментах использовались растворы хлоридов солей марганца, никеля, меди, цинка и нитратов солей кадмия и свинца.

Иловая вода из поверхностных горизонтов осадков удалялась сразу после их подъема на борт судна методом отжима на гидравлическом прессе с давлением поршня в системе трубопровода судна ~ 5.5 кг/см². Осадок натуральной влажности с соответствующего горизонта переносили чистым полиэтиленовым шпателем в предварительно отмытую сначала раствором соляной кислоты, а затем дистиллированной водой тefлоновую пресс-форму, на дне которой находилась сетка из органического стекла с дополнительно положенными на нее мембранным фильтром с порами 0.45 мкм и двумя фильтрами «белая лента» для предотвращения попадания в отжатую иловую воду мелких частиц пелитовой фракции осадков. Сверху на осадок также был положен фильтр «белая лента» для меньшего соприкосновения пресс-формы с поверхностью осадка. Отжим иловой воды из осадка проводился в течение 3.5–4 часов в герметически закрытый полиэтиленовый сосуд для предотвращения взаимодействия иловой воды с воздухом. Сразу после окончания отжима измерялся pH и объем иловой воды. После окончания прессования уплотненный осадок извлекался из пресс-формы и использовался в сорбционных экспериментах. Сосуды с отжатой иловой водой хранились в холодильной камере при температуре 2–4°C до проведения анализа в лабораторных условиях. Химический анализ пресс-формы и сетки из органического стекла показал отсутствие в них катионов тяжелых металлов (Cu, Cd, Pb и др.).

Определение содержания катионов металлов в осадках до и после сорбции проводилось методом пламенной атомной абсорбции на приборе «Perkin Elmer 503». Осадки разлагались в смеси концентрированных растворов HF + HClO₄, которые выпаривали до состояния сухих солей, а затем растворяли в HCl. Из полученных растворов определялись концентрации катионов металлов. В качестве эталонов использовались стандартные отечественные образцы СДО-1, -2, -3.

Таблица 9.6.1. Химический состав поверхностных осадков Центральной впадины Баренцева моря (пробоотборник – дночерпатель) [Новиков и др., 2001]

Гори-зонт, см	Влаж-ность, %	Содержание компонентов, масс. %																				
		n										n·10 ⁻³							n·10 ⁻⁴		n	
		Si _{общ}	Si _{амор}	Ti	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	Na	K	Sr	Zn	Ni	Cu	Pb	Cd	Cl	S _{общ}	CO ₂	C _{опр}	P ₂ O ₅
Станция 1183																						
0-1	54.70	26.6	1.08	0.22	6.09	3.26	0.035	0.38	0.95	2.74	2.00	7.9	5.14	4.4	1.9	7.6	9.4	2.14	0.15	1.79	1.61	0.34
1-4	50.63	26.6	1.08	0.25	6.20	2.90	0.020	0.30	0.81	2.25	1.80	6.4	6.63	4.0	1.7	6.0	5.0	1.16	0.13	1.50	1.66	0.34
4-12	55.17	26.3	0.95	0.30	7.15	3.12	0.020	0.40	0.89	2.50	2.24	8.6	7.38	4.8	2.1	7.6	5.8	1.31	0.14	3.04	1.43	0.24
14-16	32.80	27.2	1.00	0.26	6.94	3.39	0.021	0.29	0.97	2.25	2.30	5.0	7.00	5.1	2.1	6.0	<0.05	1.05	0.19	1.32	1.97	0.23
Станция 1190																						
0-1	62.2	26.2	0.91	0.22	5.72	4.00	0.040	0.39	1.05	2.77	2.14	7.9	5.00	3.3	1.7	4.2	<5.0	1.44	0.11	1.76	1.37	0.39
1-4	53.7	25.7	3.22	0.26	6.06	3.75	0.021	0.26	1.07	2.50	2.10	5.4	7.80	4.8	2.1	6.0	5.8	1.48	0.13	1.42	1.62	0.26
4-12	50.0	26.4	1.17	0.28	6.51	4.12	0.022	0.50	0.98	2.76	2.37	6.4	7.60	3.6	2.2	7.6	5.8	0.84	0.14	2.19	1.65	0.17
16-19	32.0	27.0	1.17	0.26	7.38	3.66	0.022	0.55	1.42	2.34	1.68	7.1	8.90	6.1	3.2	4.0	<5.0	0.90	0.12	1.61	1.34	0.23

Таблица 9.6.2. Химический состав осадков Центральной впадины Баренцева моря (ст. 1190, пробоотборник – грунтовая трубка) [Новиков и др., 2001]

Гори-зонт, см	Содержание компонентов, масс. %																				
	n										n·10 ⁻³							n·10 ⁻⁴		n	
	Si _{общ}	Ti	Al	Fe	Mn	Ca	Mg	Na	K	Sr	Zn	Ni	Cu	Pb	Cd	CO ₂	C _{опр}	P ₂ O ₅			
12-17	29.61	0.47	7.25	3.43	0.028	0.31	1.27	2.67	2.00	9	8.1	2.5	2.9	5.0	4.6	1.68	0.72	0.17			
21-24	27.70	0.44	7.48	5.30	0.027	0.56	0.95	1.98	1.63	11	10.3	2.5	2.1	8.0	5.0	0.77	0.89	0.35			
31-34	30.13	0.38	7.69	4.47	0.042	0.31	1.05	2.58	1.96	14	9.5	3.5	3.1	8.3	11	0.91	1.0	0.21			
56-59	28.97	0.41	7.60	4.18	0.045	0.95	0.95	2.27	1.55	14	8.8	2.8	1.6	10.2	8	0.8	1.03	0.23			
121-129	27.82	0.38	7.75	4.25	0.041	0.85	1.08	2.32	1.66	13	9.3	0.7	1.8	<1.0	5	1.17	1.01	0.24			
182-189	29.90	0.34	8.09	4.07	0.035	0.76	1.07	2.39	1.61	10	9.7	2.8	1.8	<1.0	8	0.77	1.07	0.19			
241-249	29.78	0.38	8.33	4.27	0.036	0.32	1.38	2.40	1.80	5.6	8.3	4.0	2.1	6.0	6	1.35	1.02	0.19			
251-259	29.66	0.38	8.77	4.52	0.037	0.37	1.35	2.63	1.87	3.3	9.5	4.5	2.6	6.2	6.2	0.95	1.13	0.25			

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде чем перейти к рассмотрению полученных результатов исследований, остановимся на следующем важном аспекте – что представляет собой осадок как сорбент/ионообменник. Морской (океанский) осадок – это поликомпонентное образование, состоящее из минеральной и органической составляющих поглощающего комплекса. В свою очередь, минеральная компонента осадков состоит, как правило, из нескольких десятков минералов (силикатов, алюмосиликатов, карбонатов, оксидов и т. д.), а их сорбционная способность зависит от кристаллохимических свойств минералов-сорбентов, их количества и гранулометрического состава. Органическая компонента осадков, состоящая из различных органико-химических соединений, также может содержать в своем составе биосорбенты. Общая обменная емкость осадков будет определяться суммой емкостей каждой из составляющих осадков. Однако, в целом, минеральная составляющая осадков значительно преобладает над органической компонентой, а, следовательно, сорбционная способность осадков будет зависеть от количества минералов-сорбентов. В этом отношении изученные нами осадки Центральной впадины Баренцева моря соответствуют именно этому критерию, поскольку минеральная компонента в них составляет более 95%, тогда как количество $C_{\text{орг}}$ не превышает 2% [Новиков и др., 2001].

Взаимодействие растворов солей тяжелых металлов с осадками натуральной влажности приводит к изменению химического состава последних. Катионы щелочных (Na^+ , K^+) и щелочно-земельных (Ca^{2+} , Mg^{2+}) металлов извлекаются в растворы из осадков, которые, в свою очередь, поглощают двухвалентные катионы тяжелых металлов (Mn , Ni , Zn , Cd , Cu , Pb). Следовательно, между катионами металлов растворов и осадков осуществляются обменные реакции. Эти катионообменные реакции протекают как на осадках голоценового возраста, так и на осадках, относящихся к ранней и поздней дегляциации. Больше всего из осадков извлекаются катионы Na^+ и K^+ , минимально – катионы Mg^{2+} . Обменный комплекс осадков состоит из всех вышеперечисленных катионов металлов, однако доля катионов тяжелых металлов, содержащихся в различных минералах осадков, в общей (суммарной) емкости осадков низкая и не превышает 0.01 мг-экв/г. Переход в растворы солей тяжелых металлов катионов обменного комплекса осадков сопровождается значительным увеличением рН растворов в сторону их щелочности – разница рН между начальным и равновесным значениями достигает 2.3–2.7 (при сорбции катионов Ni^{2+} и Cu^{2+}), для

других катионов металлов она, как правило, не превышает 1.5.

Результаты сорбции катионов тяжелых металлов из растворов их солей различной концентрации (1.0–0.001 н) свидетельствуют о невысокой поглощательной способности осадков натуральной влажности по всей длине колонок обеих станций. Максимальная равновесная статическая обменная емкость осадков, полученная при сорбции из 1.0 н растворов, составляет 0.30 (Mn)–0.71 (Cu) мг-экв/г (табл. 9.6.3, 9.6.4). Такие низкие значения обменной емкости осадков натуральной влажности Центральной впадины Баренцева моря позволяют отнести их к классу природных ионообменников-адсорбентов. По значениям емкости осадков натуральной влажности катионы тяжелых металлов разбили на две группы, ряд возрастания которых выглядит следующим образом: ($\text{Mn} < \text{Ni} < \text{Zn} < \text{Cd}$) < ($\text{Pb} < \text{Cu}$). Внутри первой группы катионы металлов в ряде случаев меняются местами, что связано с очень близкими значениями емкости, тогда как расположение катионов Pb^{2+} и Cu^{2+} постоянно.

Вместе с тем, установлено различное влияние литологического типа осадков натуральной влажности на их поглощательную способность. Емкость осадков ст. 1183, относящихся к поздней дегляциации (263–417 см), по каждому катиону тяжелого металла в 1.6–2.0 раза больше емкости голоценовых осадков (0–263 см) той же станции, тогда как емкость осадков ст. 1190 практически одинакова независимо от их литологического типа (табл. 9.6.3, 9.6.4).

Важной составной частью изучения катионообменных свойств осадков являлось установление влияния иловой воды на их поглощательную способность. Емкость поверхностных осадков различных горизонтов ст. 1183 после удаления из них иловой воды по каждому катиону тяжелого металла либо такая же, либо несколько меньше (не более 0.05–0.07 мг-экв/г) емкости осадков натуральной влажности (рис. 9.6.1, а, б, в; показано на примере сорбции катионов металлов из 0.1 н растворов их солей). Исключение составили осадки без иловой воды горизонта 1–4 см, емкость которых по катионам Cu^{2+} в 1.36 раз больше емкости осадков натуральной влажности (рис. 9.6.1, а). Для осадков без иловой воды горизонтов 1–4 и 16–19 см ст. 1190 сохраняется та же тенденция в изменении емкости по катионам тяжелых металлов (рис. 9.6.1, г, е), что и для осадков ст. 1183, тогда как емкость осадков без иловой воды горизонта 4–12 см по каждому из них не более чем на 0.03 мг-экв/г больше емкости осадков, насыщенных иловой водой (рис. 9.6.1, д). Однако такие низкие изменения в емкости осадков не имеют в целом принципиального значения.

Таблица 9.6.3. Ионнообменные характеристики глинистых осадков Центральной впадины Баренцева моря

Тип пробот- борника	Гори- зонг, см	Физическое состояние осадка	Концен- трация раствора соли, н	Обменная емкость осадков по М2+, мг-экв/г						Равновесный коэффициент распределения, Кр, (мг-экв/г)/(мг-экв/мл)							
				Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
Станция 1183																	
Дночер- патель	0-1	Натуральная влажность	1.0	0.18	0.20	0.23	0.21	0.38	0.33								
			0.1	0.15	0.17	0.19	0.17	0.34	0.29								
			0.001	0.08	0.09	0.10	0.08	0.15	0.16	114	243	208	166	1363	4706		
	1-4	Натуральная влажность	1.0	0.18	0.21	0.22	0.21	0.43	0.30								
			0.1	0.16	0.17	0.16	0.17	0.39	0.25								
			0.001	0.07	0.08	0.09	0.07	0.09	0.09	130	242	183	175	1253	3000		
	4-12	Отжатый от иловой воды	0.1	0.17	0.14	0.15	0.16	0.53	0.22								
			0.001	0.07	0.07	0.09	0.06	0.08	0.08	758	786	600	740	47060	119403		
			1.0	0.22	0.23	0.24	0.20	0.71	0.33								
		Натуральная влажность	0.1	0.18	0.18	0.20	0.15	0.66	0.28								
			0.001	0.09	0.10	0.09	0.08	0.14	0.11	310	345	265	205	3414	6110		
			0.1	0.18	0.17	0.17	0.20	0.57	0.24								
Грунтовая трубка	31-34	Натуральная влажность	0.001	0.09	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	406	437	280	583	12857	187500		
			1.0	0.22	0.25	0.27	0.23	0.68	0.30								
			0.1	0.18	0.22	0.22	0.18	0.64	0.26								
	14-16	Натуральная влажность	0.001	0.11	0.09	0.10	0.08	0.14	0.12	485	410	345	308	17948	133333		
			0.1	0.15	0.17	0.18	0.19	0.65	0.26								
			0.001	0.07	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	3254	4444	890	1500	32000	166666		
	231-234	Отжатый от иловой воды	1.0	0.17	0.22	0.21	0.16	0.68	0.29								
			0.1	0.14	0.18	0.15	0.12	0.66	0.26								
			0.001	0.08	0.05	0.08	0.05	0.10	0.12								
	251- 254	Натуральная влажность	1.0	0.17	0.23	0.25	0.14	0.62	0.27								
			0.1	0.14	0.20	0.20	0.10	0.57	0.23								
			0.001	0.05	0.08	0.08	0.02	0.09	0.08	156	400	400	143	4500	16667		
271- 274	Натуральная влажность	1.0	0.21	0.26	0.25	0.23	0.67	0.33									
		0.1	0.17	0.24	0.22	0.17	0.64	0.28									
		0.001	0.07	0.11	0.10	0.03	0.11	0.07	500	1617	1316	910	5000	90910			
Грунтовая трубка	271- 274	Натуральная влажность	1.0	0.28	0.33	0.35	0.27	0.64	0.38								
			0.1	0.24	0.31	0.30	0.23	0.59	0.34								
			0.001	0.11	0.13	0.06	0.03	0.10	0.09	478	1413	1224	214	5263	1170		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	291-294		1.0	0.26	0.35	0.37	0.26	0.62	0.44						
			0.1	0.23	0.33	0.32	0.22	0.58	0.40						
			0.001	0.09	0.17	0.15	0.06	0.16	0.13	900	2615	2586	3000	6400	168831
	391-394		1.0	0.30	0.32	0.36	0.26	0.63	0.51						
			0.1	0.27	0.28	0.32	0.23	0.58	0.46						
			0.001	0.11	0.07	0.10	0.02	0.19	0.17	1315	3876	4077	4635	8253	1935444
	411-414		1.0	0.25	0.29	0.32	0.31	0.60	0.46						
			0.1	0.23	0.26	0.28	0.27	0.55	0.43						
			0.001	0.07	0.07	0.07	0.04	0.08	0.09	1560	4214	4534	5017	9877	204312
Станция 1190															
	0-1	Натуральная влажность	1.0	0.17	0.20	0.23	0.24	0.38	0.28						
			0.1	0.15	0.17	0.21	0.20	0.33	0.24						
			0.001	0.09	0.10	0.14	0.09	0.14	0.16	208	244	264	176	1077	2162
Дючер-патель	1-4	Натуральная влажность	0.1	0.24	0.22	0.22	0.17	0.32	0.28						
		Отжатый от иловой воды	0.001	0.10	0.12	0.12	0.09	0.16	0.14	355	400	272	200	3020	10770
			0.1	0.14	0.14	0.19	0.20	0.36	0.33						
			0.001	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	424	804	304	1750	25000	225000
4-12		Натуральная влажность	0.1	0.17	0.19	0.22	0.20	0.30	0.26						
			0.001	0.09	0.12	0.14	0.09	0.15	0.12	472	667	451	281	12500	18750
		Отжатый от иловой воды	0.1	0.20	0.26	0.24	0.20	0.27	0.27						
			0.001	0.09	0.09	0.08	0.06	0.09	0.07	818	900	1084	1875	9000	25000
16-19		Натуральная влажность	0.1	0.21	0.19	0.20	0.18	0.33	0.27						
			0.001	0.08	0.07	0.13	0.07	0.17	0.13	1155	1370	1617	2478	15343	29314
		Отжатый от иловой воды	0.1	0.20	0.19	0.17	0.22	0.24	0.27						
			0.001	0.07	0.07	0.12	0.08	0.10	0.10	600	636	461	333	24390	76923
Грунтовая трубка	31-34		0.1	0.15	0.19	0.18	0.17	0.23	0.26						
			0.001	0.06	0.08	0.07	0.04	0.10	0.08	218	266	305	365	835	1318
	241-249	Натуральная влажность	0.1	0.16	0.21	0.21	0.17	0.26	0.22						
			0.001	0.09	0.07	0.08	0.06	0.09	0.09	287	320	514	730	1376	2156
	251-259	Отжатый от иловой воды	0.1	0.13	0.19	0.18	0.18	0.30	0.27						
			0.001	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	0.05	570	866	978	1033	2368	3077

Таблица 9.6.4. Обменная емкость (мг-экв/г) глинистых осадков Центральной впадины Баренцева моря (ст. 1190)

Горизонт, см	Класс крупности зерен, мм	Концентрация раствора соли, н	Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-1	Осадок натур. влажности	1.0	0.20	0.22	0.20	0.25	0.38	0.40
		0.1	0.15	0.17	0.21	0.20	0.33	0.24
		0.001	0.09	0.09	0.14	0.09	0.14	0.16
	<0.01 сух	1.0	0.35	0.38	0.41	0.49	0.51	0.54
		0.1	0.33	0.34	0.39	0.41	0.40	0.42
		0.001	0.07	0.07	0.08	0.06	0.15	0.12
<0.001 сух	0.1	0.42	0.44	0.49	0.53	0.57	0.55	
	0.001	0.07	0.08	0.10	0.08	0.17	0.15	
1-4	Осадок натур. влажности	1.0	0.26	0.28	0.25	0.25	0.58	0.36
		0.1	0.20	0.22	0.22	0.17	0.52	0.28
		0.001	0.10	0.12	0.12	0.08	0.16	0.14
	Осадок без иловой воды	0.1	0.14	0.14	0.19	0.20	0.63	0.33
		0.001	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09
	< 0.01 сух	1.0	0.40	0.42	0.43	0.50	0.54	0.44
		0.1	0.35	0.37	0.36	0.38	0.51	0.41
		0.001	0.05	0.07	0.09	0.04	0.15	0.10
	< 0.001 сух	0.1	0.33	0.38	0.42	0.44	0.58	0.50
		0.001	0.04	0.05	0.04	0.04	0.17	0.09
4-12	Осадок натур. влажности	1.0	0.21	0.24	0.25	0.24	0.66	0.38
		0.1	0.17	0.19	0.22	0.20	0.63	0.33
		0.001	0.09	0.12	0.14	0.09	0.08	0.09
	Осадок без иловой воды	0.1	0.20	0.26	0.24	0.20	0.57	0.27
		0.001	0.09	0.09	0.08	0.06	0.09	0.07
	0.1-0.05 (тяж. фрак)	0.1	0.0043	0.0038	0.013	0.0006	0.019	0.0007
		0.001	0.0020	0.0014	0.011	0.0004	0.014	0.0020
	<0.01 вл	0.1	0.23	0.24	0.26	0.28	0.67	0.32
		0.001	0.09	0.08	0.09	0.08	0.14	0.13
	<0.01 сух	0.1	0.24	0.26	0.38	0.36	0.49	0.46
		0.001	0.06	0.06	0.10	0.07	0.14	0.07
	<0.001 вл	0.1	0.47	0.50	0.55	0.52	0.68	0.60
		0.001	0.10	0.11	0.10	0.08	0.15	0.10
	<0.001 сух	0.1	0.45	0.45	0.55	0.57	0.58	0.59
		0.001	0.04	0.05	0.10	0.05	0.09	0.06
	6-10	Осадок натур. влажности	1.0	0.18	0.21	0.22	0.24	0.42
0.1			0.14	0.16	0.18	0.21	0.36	0.28
0.001			0.03	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09
0.5-0.25		0.001	0.03	0.03	0.01	0.01	0.04	0.03
0.1-0.05 (тяж. фрак.)		0.1	0.0028	0.0023	0.012	0.013	0.0063	0.0003
		0.001	0.0011	0.0008	0.012	0.060	0.0063	0.0003

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<0.01 сух	0.1	0.37	0.40	0.42	0.49	0.52	0.55
		0.001	0.05	0.07	0.10	0.07	0.09	0.02
	<0.001 сух	0.1	0.43	0.44	0.44	0.48	0.58	0.47
		0.001	0.04	0.05	0.05	0.04	0.08	0.05
12–17	Осадок натур. влажности	1.0	0.15	0.17	0.21	0.19	0.47	0.26
		0.1	0.12	0.13	0.18	0.15	0.43	0.23
		0.001	0.04	0.04	0.03	0.03	0.07	0.04
16–19	Осадок натур. влажности	1.0	0.24	0.25	0.28	0.25	0.65	0.38
		0.1	0.21	0.19	0.20	0.18	0.63	0.27
		0.001	0.8	0.07	0.13	0.07	0.17	0.13
	Осадок без иловой воды	0.1	0.20	0.19	0.17	0.22	0.64	0.27
		0.001	0.07	0.07	0.12	0.08	0.10	0.10
	0.5–0.25	0.001	0.03	0.02	0.05	0.05	0.06	0.05
	0.1–0.05 (тяж. фрак.)	0.1	0.00027	0.00031	0.014	0.011	0.0063	0.00038
		0.001	0.00013	0.00014	0.010	0.006	0.00063	0.00030
	<0.01 сух	0.1	0.27	0.26	0.28	0.28	0.56	0.36
		0.001	0.17	0.06	0.09	0.06	0.07	0.09
	<0.001 сух	0.1	0.50	0.51	0.57	0.54	0.64	0.55
		0.001	0.05	0.08	0.07	0.06	0.16	0.05
21–24	Осадок натур. влажности	1.0	0.20	0.24	0.22	0.24	0.28	0.26
		0.1	0.20	0.21	0.20	0.18	0.23	0.17
		0.001	0.04	0.06	0.07	0.05	0.10	0.04
	0.1–0.05 (лег. фракц.)	0.1	0.013	0.011	0.015	0.013	0.017	0.0036
		0.001	0.0043	0.0048	0.0040	0.009	0.016	0.0018
	<0.01 вл	1.0	0.28	0.34	0.36	0.41	0.38	0.45
		0.1	0.21	0.25	0.26	0.25	0.27	0.15
		0.001	0.05	0.06	0.02	0.03	0.08	0.10
	<0.001 вл	1.0	0.30	0.36	0.40	0.46	0.48	0.40
		0.1	0.24	0.30	0.30	0.37	0.39	0.27
		0.001	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08
	<0.01 сух	0.1	0.74	0.72	1.28	0.78	0.91	1.31
		0.001	0.03	0.04	0.02	0.02	0.06	0.04
	<0.001 сух	0.1	1.60	1.53	1.91	1.45	1.70	2.32
		0.001	0.04	0.05	0.04	0.02	0.08	0.06
31–34	Осадок натур. влажности	1.0	0.21	0.24	0.27	0.25	0.32	0.30
		0.1	0.15	0.19	0.18	0.17	0.23	0.26
		0.001	0.06	0.08	0.07	0.04	0.10	0.08
	<0.01 вл	1.0	0.19	0.23	0.25	0.28	0.26	0.32
		0.1	0.16	0.20	0.24	0.23	0.25	0.30
		0.001	0.06	0.07	0.07	0.04	0.08	0.06
	<0.01 сух	0.1	0.20	0.18	0.27	0.24	0.24	0.26

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		0.001	0.05	0.05	0.07	0.06	0.09	0.08
	<0.001 вл	1.0	0.24	0.25	0.33	0.28	0.35	0.37
		0.1	0.20	0.22	0.29	0.26	0.32	0.34
		0.001	0.06	0.07	0.11	0.05	0.09	0.11
	<0.001 сух	0.1	0.30	0.30	0.33	0.36	0.38	0.37
		0.001	0.06	0.07	0.08	0.06	0.09	0.08
56–59	Осадок натур. влажности	1.0	0.13	0.20	0.22	0.20	0.31	0.23
		0.1	0.11	0.17	0.17	0.16	0.26	0.19
		0.001	0.05	0.05	0.06	0.06	0.09	0.04
	0.1–0.05 (тяж. фрак.)	0.1	0.00034	0.00044	0.017	0.015	0.00063	0.00038
		0.001	0.00023	0.00020	0.011	0.0067	0.00063	0.00030
	<0.01 сух	0.1	0.58	0.64	1.27	0.72	0.86	1.66
		0.001	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06
	<0.001 сух	0.1	1.06	1.14	1.41	1.22	1.35	1.77
0.001		0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.07	
121–129	Осадок натур. влажности	1.0	0.16	0.24	0.21	0.18	0.27	0.21
		0.1	0.13	0.21	0.18	0.14	0.23	0.16
		0.001	0.05	0.05	0.05	0.04	0.08	0.04
	0.1–0.05 (лег. фракц.)	0.1	0.020	0.018	0.021	0.014	0.021	0.0066
		0.001	0.0033	0.0053	0.011	0.0098	0.019	0.0007
	<0.01 сух	0.1	0.26	0.28	0.46	0.32	0.32	0.48
		0.001	0.06	0.07	0.08	0.05	0.11	0.07
	<0.001 сух	0.1	0.55	0.63	1.12	0.73	0.84	0.68
0.001		0.05	0.03	0.003	0.03	0.10	0.02	
182–189	Осадок натур. влажности	1.0	0.20	0.20	0.22	0.23	0.31	0.23
		0.1	0.17	0.16	0.18	0.17	0.26	0.18
		0.001	0.06	0.07	0.11	0.05	0.11	0.07
	0.1–0.05 (лег. фракц.)	0.1	0.023	0.024	0.021	0.030	0.031	0.0090
		0.001	0.013	0.010	0.019	0.016	0.018	0.0027
	<0.01 сух	0.1	0.43	0.41	0.63	0.44	0.52	0.50
		0.001	0.07	0.05	0.07	0.05	0.10	0.06
	<0.001 сух	0.1	0.46	0.48	0.54	0.49	0.54	0.57
0.001		0.09	0.07	0.12	0.08	0.13	0.12	
241–249	Осадок натур. влажности	1.0	0.20	0.25	0.25	0.21	0.30	0.27
		0.1	0.16	0.21	0.21	0.17	0.26	0.22
		0.001	0.09	0.07	0.08	0.06	0.09	0.07
251–259	Осадок натур. влажности	1.0	0.20	0.22	0.20	0.18	0.33	0.27
		0.1	0.13	0.19	0.18	0.16	0.28	0.24
		0.001	0.04	0.04	0.06	0.04	0.06	0.05
	0.1–0.05 (тяж. фрак.)	0.1	0.014	0.012	0.021	0.014	0.016	0.00030
		0.001	0.00041	0.00037	0.013	0.0098	0.00063	0.00030

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	<0.01 вл	1.0	0.63	0.66	0.83	0.72	0.84	1.26
		0.1	0.25	0.27	0.51	0.32	0.64	0.55
		0.001	0.05	0.06	0.08	0.04	0.24	0.04
	<0.01 сух	0.1	0.38	0.40	0.63	0.52	0.59	0.73
		0.001	0.05	0.04	0.0080	0.02	0.08	0.06
	<0.001 вл	1.0	0.35	0.39	0.39	0.43	0.54	0.49
		0.1	0.25	0.30	0.30	0.36	0.48	0.40
		0.001	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
	<0.001 сух	0.1	0.84	0.93	1.21	1.16	1.22	1.06
		0.001	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04

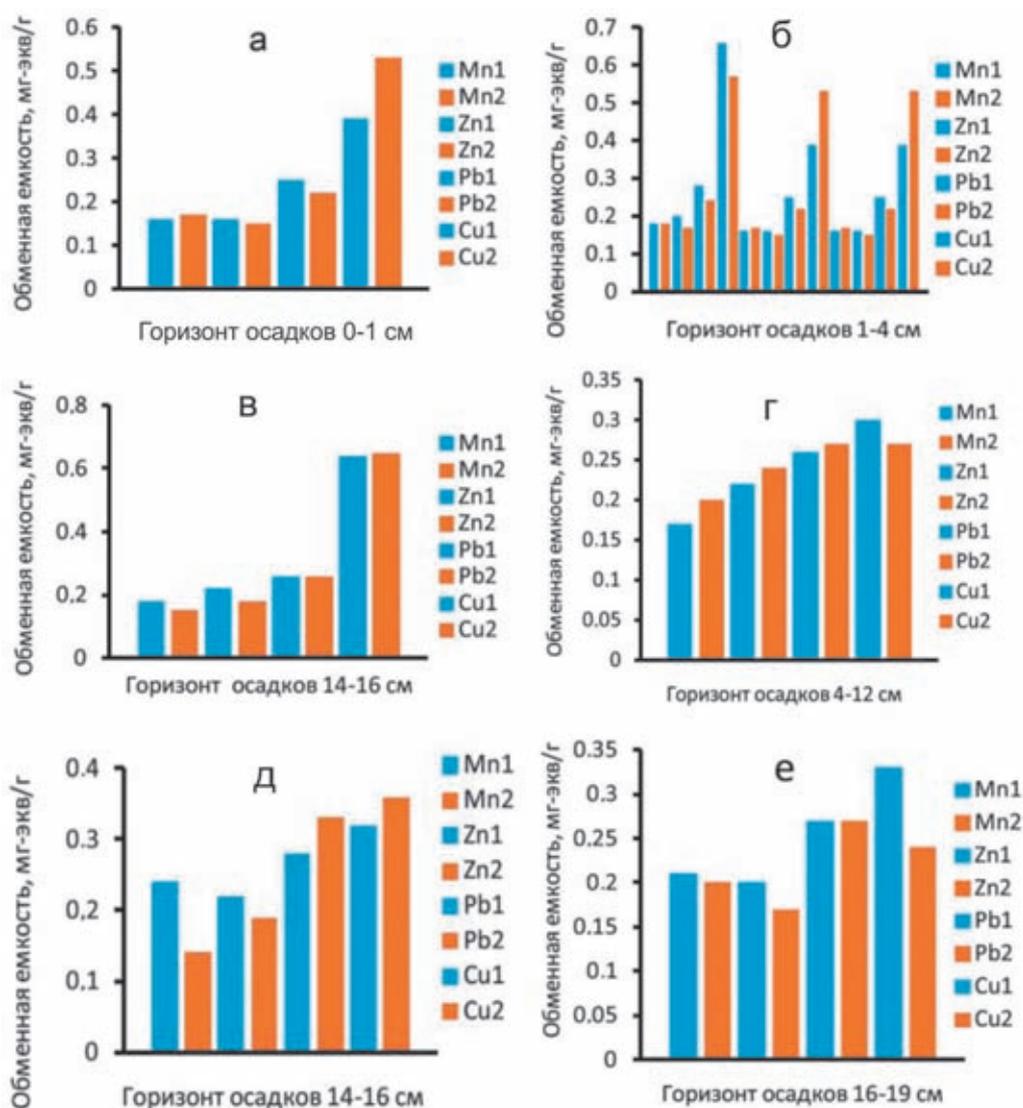


Рис. 9.6.1. Обменная емкость осадков разных горизонтов по катионам тяжелых металлов в зависимости от их физического состояния.

Условные обозначения: а, б, в – осадки ст. 1183; г, д, е – осадки ст. 1190. Mn₁, Zn₁, Pb₁, Cu₁ – осадки натуральной влажности; Mn₂, Zn₂, Pb₂, Cu₂ – осадки без иловой воды. Концентрация растворов солей металлов – 0.1 н

Для поверхностных (условно до ~20 см) и «глубинных» (от ~20 см и до конца колонки) осадков натуральной влажности обеих станций установлена единая закономерность – их обменная емкость снижается с уменьшением концентрации катионов тяжелых металлов в растворах (табл. 9.6.3, 9.6.4, рис. 9.6.2). При этом отмечается достаточно высокая стабильность емкости осадков по каждому катиону тяжелого металла. Кроме того, значения емкости осадков при адсорбции соответствующего катиона металла из 1.0 и 0.1 н растворов близки между собой (разница составляет не более 0.05 мг-экв/г), тогда как при адсорбции из 0.001 н растворов емкость осадков снижается и находится для большинства катионов тяжелых металлов в диапазоне 0.02–0.08 мг-экв/г и только по катионам Cu^{2+} она в ряде образцов достигает 0.17–0.19 мг-экв/г (табл. 9.6.3). Такое снижение емкости осадков связано, скорее всего, с кинетикой катионообменных реакций. Скорее всего, за время нашего эксперимента осадки не успевают поглотить гидратированные катионы тяжелых металлов до величин полной обменной емкости, которые наблюдались при их адсорбции из концентрированных растворов.

После окончания экспериментов по адсорбции катионов тяжелых металлов из разбавленных (0.001 н) растворов их солей были рассчитаны коэффициенты распределения Кр (отношение содержания адсорбированного катиона в твердой фазе к его равновесной концентрации в растворе, выраженное в (мг-экв/г)/(мг-экв/мл), отражающие селективность осадков к тому или иному катиону металла. Установлено, что коэффициенты распределения изменяются в широком диапазоне значений при четком делении на две группы. Первая группа состоит из катионов Mn^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} и Ni^{2+} , коэффициенты распределения Кр по которым изменяются от 114 (Mn) до 4444 (Ni); ко второй группе относятся катионы Cu^{2+} и Pb^{2+} , Кр по которым находятся в диапазоне 1077 (Cu^{2+})–225 000 (Pb^{2+}) (табл. 9.6.3). По усредненным данным ряды возрастания Кр для осадков ст. 1183 имеют следующий вид: поверхностные и «глубинные» осадки натуральной влажности – ($\text{Mn} < \text{Cd} < \text{Zn} < \text{Ni}$) < ($\text{Cu} < \text{Pb}$), осадки без иловой воды: ($\text{Zn} < \text{Cd} < \text{Mn} < \text{Ni}$) < ($\text{Cu} < \text{Pb}$). Аналогичные ряды для осадков ст. 1190 выглядят следующим образом: поверхностные осадки натуральной влажности – ($\text{Cd} < \text{Mn} < \text{Zn} < \text{Ni}$) < ($\text{Cu} < \text{Pb}$); для осадков без иловой воды – ($\text{Mn} < \text{Zn} < \text{Ni} < \text{Cd}$) < ($\text{Cu} < \text{Pb}$); для «глубинных» осадков натуральной влажности – ($\text{Mn} < \text{Ni} < \text{Zn} < \text{Cd}$) < ($\text{Cu} < \text{Pb}$). Из составленных рядов видно, что, во-первых, ряды возрастания Кр для поверхностных и «глубинных» осадков натуральной влажности ст. 1183 имеют одинаковый вид, во-вторых, катионы металлов первой группы

меняются местами, что связано с близкими величинами Кр, тогда как расположение катионов Cu^{2+} и Pb^{2+} постоянно. При этом отмечается, что селективность поверхностных, «глубинных» осадков натуральной влажности и осадков без иловой воды ст. 1183, а также поверхностных осадков натуральной влажности ст. 1190 выше к катионам Ni^{2+} по сравнению с остальными катионами тяжелых металлов из этой же группы. Селективность «глубинных» осадков натуральной влажности и осадков без иловой воды ст. 1190 выше к катионам Cd^{2+} , чем к другим катионам металлов первой группы. Учитывая все изученные катионы тяжелых металлов, можно говорить о повышенной селективности всех типов осадков к катионам Cu^{2+} и, особенно, Pb^{2+} .

Выше были представлены результаты изучения поглотительной способности осадков как единого целого вещества. Вместе с тем, осадок состоит из зерен разного класса крупности, которые могут вносить определенную долю в обменную емкость осадка. Для решения этого вопроса были проведены эксперименты по адсорбции катионов тяжелых металлов на осадках разной крупности с отдельных горизонтов ст. 1190.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об одинаковой тенденции в поглощении катионов тяжелых металлов мелкодисперсными классами осадков в их воздушно-сухом состоянии. Значения обменной емкости поверхностных и «глубинных» осадков крупнопелитовой <0.01 мм и мелкопелитовой <0.001 мм фракций по каждому из изученных катионов тяжелых металлов соответственно в 1.70–2.84 и 2.17–3.15 раз больше значений емкости осадков натуральной влажности с этих же горизонтов (рис. 9.6.3). В свою очередь, емкость осадков размерностью <0.001 мм по всем катионам тяжелых металлов больше емкости осадков <0.01 мм (табл. 9.6.4, рис. 9.6.3). По отдельным катионам тяжелых металлов отмечаются незначительные отклонения, которые не несут принципиального значения. Емкость осадка размерностью <0.01 мм горизонта 1–4 см по Mn^{2+} несколько больше емкости осадка <0.001 мм (рис. 9.6.3, б); аналогичный эффект наблюдается по Zn^{2+} для осадка горизонта 182–189 см (рис. 9.6.3, ж); значения емкости осадка натуральной влажности и осадка крупностью <0.01 мм по Pb^{2+} совпадают между собой на горизонте 31–34 см (рис. 9.6.3, д); такой же эффект наблюдается по Cu^{2+} , емкость по которым совпадает для горизонтов 1–4, 16–19 и 31–34 см (рис. 9.6.3, б, г, д). По значениям обменной емкости осадков тонкодисперсных классов составлены следующие ряды ее возрастания по изученным катионам металлов.

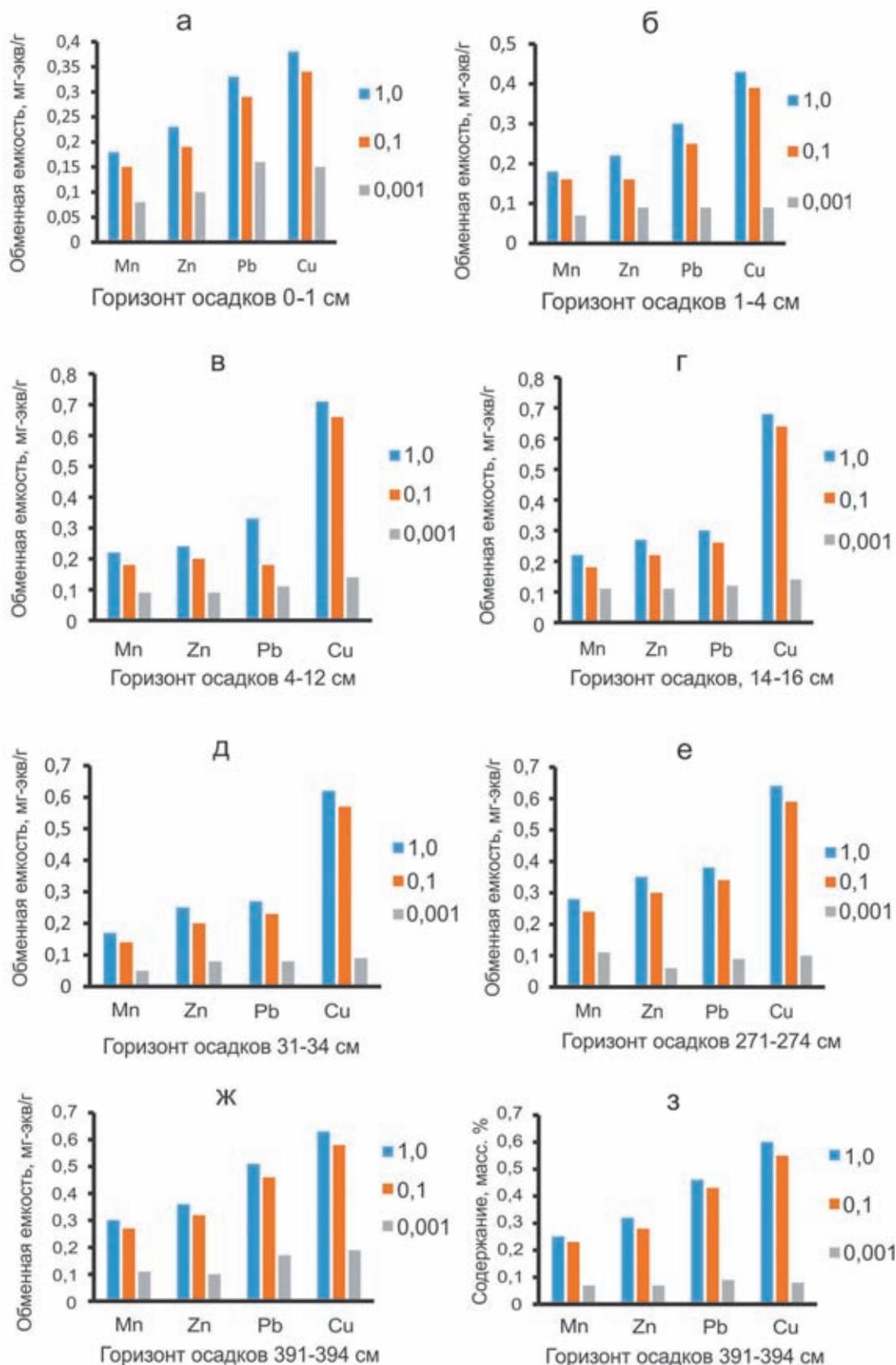


Рис. 9.6.2. Обменная емкость осадков разных горизонтов по катионам тяжелых металлов в зависимости от концентрации растворов их солей, н: 1.0; 0.01; 0.001 (ст. 1183)

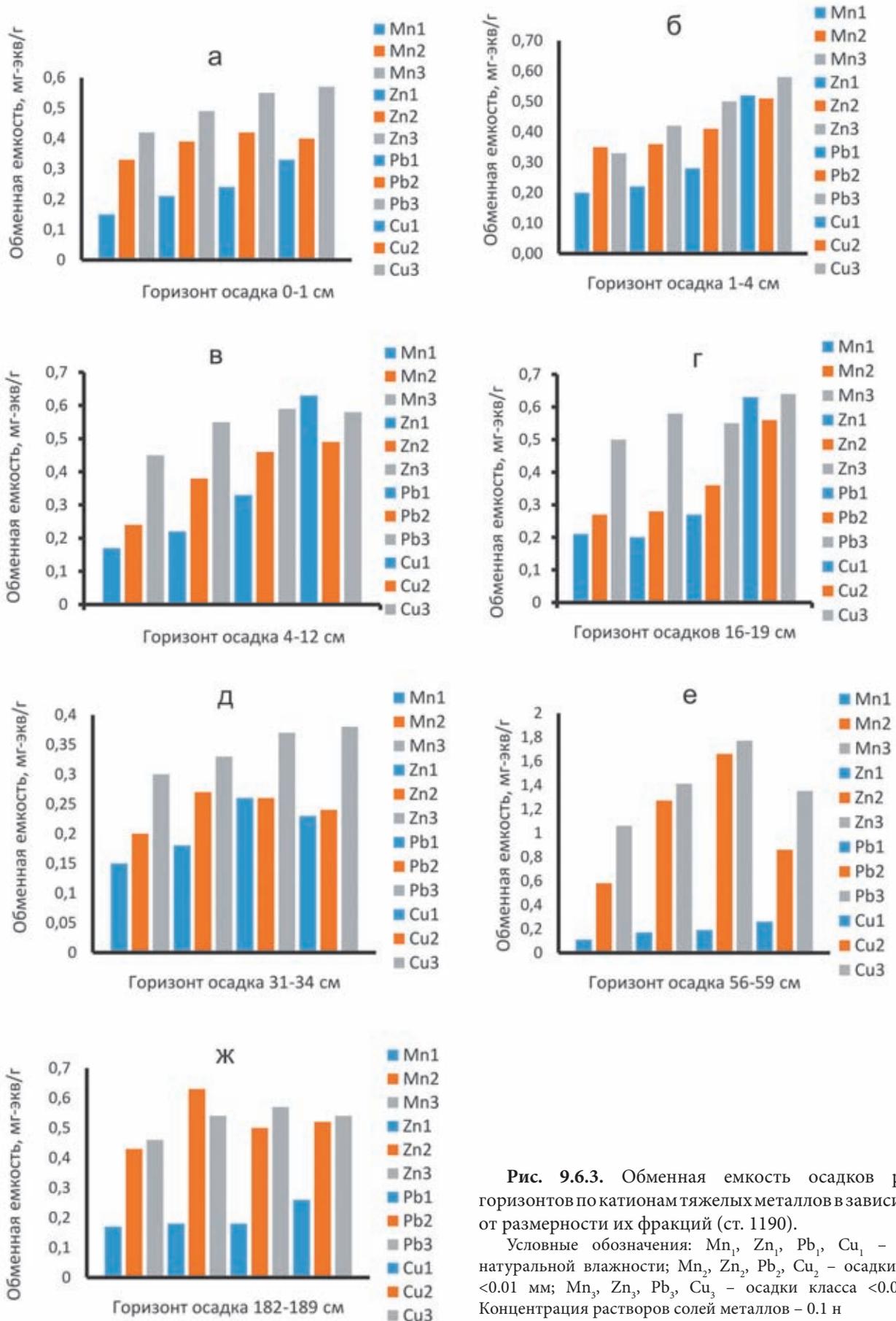
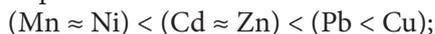


Рис. 9.6.3. Обменная емкость осадков разных горизонтов по катионам тяжелых металлов в зависимости от размерности их фракций (ст. 1190).

Условные обозначения: Mn₁, Zn₁, Pb₁, Cu₁ – осадки натуральной влажности; Mn₂, Zn₂, Pb₂, Cu₂ – осадки класса <0.01 мм; Mn₃, Zn₃, Pb₃, Cu₃ – осадки класса <0.001 мм. Концентрация растворов солей металлов – 0.1 н

Для поверхностных горизонтов осадков размерностью <0.01 и <0.001 мм наблюдается в целом единый ряд возрастания емкости:



ряды возрастания емкости «глубинных» осадков той же размерности также практически совпадают между собой, что позволяет представить их в обобщенном виде:



Расширяя диапазон исследований по поглотительной способности осадков, было проведено изучение влияния физического – влажное и воздушно-сухое – состояния на примере их тонкодисперсных классов крупности. Эксперименты проведены на осадках горизонтов 4–12, 21–24, 31–34 и 251–259 см непосредственно на борту судна.

Значения обменной емкости влажных осадков размерностью <0.01 мм указанных горизонтов по каждому из катионов тяжелых металлов близки между собой, тогда как значения емкости этих же осадков, но в воздушно-сухом состоянии значительно больше, особенно в случае осадков горизонтов 21–24 см (табл. 9.6.4). В тоже время отмечаются одинаковые значения емкости осадков горизонта 31–34 см в их влажном и воздушно-сухом состоянии (табл. 9.6.4).

Протекание адсорбции катионов тяжелых металлов на осадках крупностью < 0.001 мм в их обоих

физических состояниях носит несколько дифференцированный характер. Емкость влажных осадков горизонта 4–12 см по каждому из катионов металлов больше, чем емкость осадков горизонтов 21–24, 31–34 и 251–259 см, которые, в свою очередь, близки между собой (табл. 9.6.4). В тоже время, емкость осадков в воздушно-сухом состоянии горизонтов 4–12 и 31–34 см практически такая же, что и во влажном состоянии, тогда как емкость воздушно-сухих осадков горизонтов 21–24 и 251–259 см значительно превосходит аналогичную характеристику во влажном состоянии (табл. 9.6.4). Максимальная обменная емкость среди всех воздушно-сухих осадков размерностью <0.001 мм по катионам тяжелых металлов наблюдается в горизонте 21–24 см. Таким образом, обобщение результатов по адсорбции катионов тяжелых металлов на осадках натуральной влажности, осадках без иловой воды и их тонкодисперсных классах во влажном и воздушно-сухом состояниях, свидетельствует об отсутствии влияния иловой воды на поглотительную способность осадков. Необходимо также подчеркнуть, что протекание обменных реакций между катионами обеих фаз происходило на фоне высоких концентраций главных катионов морской воды (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), которые превышали на 1–4 порядка концентрации сорбируемого катиона тяжелого металла.

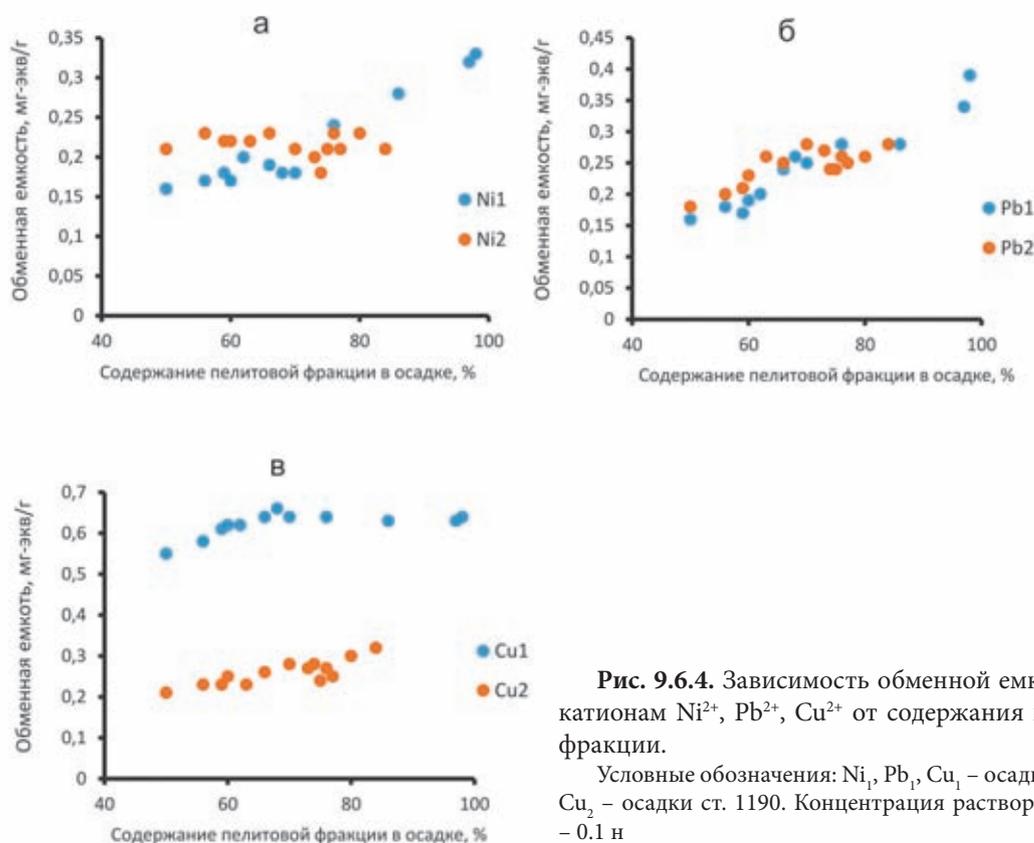


Рис. 9.6.4. Зависимость обменной емкости осадков по катионам Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} от содержания в них пелитовой фракции.

Условные обозначения: Ni_1 , Pb_1 , Cu_1 – осадки ст. 1183; Ni_2 , Pb_2 , Cu_2 – осадки ст. 1190. Концентрация растворов солей металлов – 0.1 н

Выше были представлены данные по обменной емкости тонкодисперсных классов осадков по катионам тяжелых металлов, свидетельствующие о более высокой их поглотительной способности относительно емкости осадков в целом и осадков без иловой воды. В связи с этим представляло интерес изучение влияния количества тонкодисперсного материала на емкость осадков. Результаты проведенных исследований указывают в целом на слабо выраженную тенденцию возрастания обменной емкости осадков по катионам тяжелых металлов от содержания в них тонкодисперсного материала <0.001 мм (рис. 9.6.4, показано на примере катионов Ni^{2+} , Pb^{2+} и Cu^{2+}). Данная тенденция характерна для обеих станций (1183 и 1190). В тоже время видно, что для ст. 1183 увеличение емкости осадков по катионам Ni^{2+} и Pb^{2+} более выраженное (рис. 9.6.4, а, б), чем по катионам Cu^{2+} (рис. 9.6.4, в). Для осадков ст. 1190 наблюдается несколько иная картина. Обменная емкость осадков по катионам Ni^{2+} не зависит от содержания в осадке фракции <0.001 мм и является практически постоянной величиной; емкость осадков по катионам Pb^{2+} и Cu^{2+} возрастает незначительно при существенном (от 50 до 90%) увеличении в осадках тонкодисперсного материала <0.001 мм (рис. 9.6.4, б, в). Следовательно, можно считать, что содержание тонкодисперсного материала осадка повышает его обменную емкость, но установленная тенденция носит дифференцированный характер относительно того или иного катиона тяжелого металла.

Хорошо известно, что с увеличением крупности зерен природного вещества-ионообменника и, соответственно, уменьшения его удельной поверхности, его обменная емкость, как правило, уменьшается. Это положение полностью подтвердилось при адсорбции катионов тяжелых металлов на осадках размерностью 0.50–0.25 и 0.10–0.05 мм (тяжелая и легкая фракции) горизонтов 4–12, 6–10, 16–19, 21–24, 56–59, 121–129, 182–189 и 251–259 см ст. 1190. Результаты экспериментов указывают на одинаковую тенденцию – обменная емкость данных осадков размерностью 0.50–0.25 и 0.10–0.05 мм (тяжелая фракция) составляет $n \cdot 10^{-3}$ мг-экв/г и меньше, для осадков размерностью 0.10–0.05 мм (легкая фракция) емкость на порядок больше – $n \cdot 10^{-2}$ мг-экв/г (табл. 9.6.4). Такие низкие значения емкости осадков свидетельствуют о протекании обменных реакций непосредственно на поверхности зерен различной крупности. Кроме того, емкость осадков классов крупности 0.5–0.25 и 0.1–0.05 мм на 1–3 порядка меньше емкости осадка в его естественном состоянии (как единого вещества).

Не менее важным параметром катионообменных свойств осадков является их минеральный со-

став, что видно из данных по обменной емкости разных классов их крупности (на примере горизонтов ст. 1190) (табл. 9.6.5). Тяжелая фракция крупноалевритовой размерности 0.10–0.05 мм, основными минералами которой являются гранат, пирит, черные рудные минералы в различных соотношениях (горизонты 6–10, 16–19, 56–59 и 251–259 см), практически не поглощает катионы тяжелых металлов – их обменная емкость находится в пределах $n \cdot 10^{-3}$ –0.021 мг-экв/г. Аналогичный эффект наблюдается и для легкой фракции этой же размерности (горизонты 21–24, 121–129, 182–189 см), хотя минеральный состав ее совершенно другой (кварц, полевые шпаты и неопределенные зерна), обменная емкость составляет 0.0018–0.031 мг-экв/г. Полученные результаты позволяют говорить о том, что для перечисленных и других минералов, находящихся в этих фракциях [Новиков и др., 2001], характерен, скорее всего, поверхностный изоморфизм.

Совершенно иная картина наблюдается для крупно- (<0.01 мм) и мелкопелитовой (<0.001 мм) фракций осадков, сложенных в основном монтмориллонитом, хлоритом, смешаннослойным смектит-иллитом и иллитом, также находящихся в различных соотношениях между собой. Как отмечалось выше, обменная емкость этих двух фракций на 1–2 порядка больше емкости алевритовых фракций осадков и составляет от 0.1 до 2.32 мг-экв/г (табл. 9.6.5). Следовательно, перечисленные глинистые минералы Центральной впадины Баренцева моря вносят наибольший вклад в обменную емкость осадков, как и аналогичные им минералы, залегающие на континентах. Обменная емкость последних изменяется в следующих диапазонах (мг-экв/г): каолинит – 0.02–0.25; хлорит – 0.10–0.40; гидрослюда – 0.20–0.40; иллит – 0.13–0.42; монтмориллонит – 0.8–1.50 [Амфлетт, 1966; Гельферих, 1962; Горбунов, 1963; Гримм, 1967; Дунаева, Мироненко, 2000; Зайцева, 1958, 1966; Кокотов, 1980; Тарасевич, Овчаренко, 1975; Brouwer et al., 1983].

Приведенные значения обменной емкости осадков двух станций, расположенных в разных районах Центральной впадины Баренцева моря, достаточно близки между собой. Если предположить, что осадки данной впадины в целом имеют схожий минеральный состав, то и поглотительная способность их будет, скорее всего, также близкой к приведенной выше. Однако, совершенно очевидно, что при изменении как минерального состава осадков в целом, так и глинистых минералов (и их соотношений), обменная емкость осадков из других районов Баренцева моря может иметь другие показатели. Подтверждением высказанному тезису является следующее доказательство.

Таблица 9.6.5. Обменная емкость осадков Центральной впадины Баренцева моря по катионам тяжелых металлов в зависимости от крупности зерен и минерального состава (ст. 1190)

Горизонт, см	Крупность зерен, мм	Основные минералы, %	Обменная емкость, мг-экв/г
6–10	0.10–0.05 (тяжелая фракция)	Гранат – 28.2, черные рудные – 12.6, пирит – 11.6, группа эпидота – 10.7, гидроксиды Fe – 7.0;	0.0003 (Pb) – 0.013 (Zn)
	<0.01	Монтмориллонит – 28.5, хлорит – 26.7, палыгорскит – 21.4;	0.37 (Mn) – 0.55 (Pb)
	<0.001	Монтмориллонит – 31.3, хлорит – 27.7, палыгорскит – 19.2	0.43 (Mn) – 0.58 (Cu)
16–19	0.10–0.05 (тяжелая фракция)	Гранат – 22.5, пирит – 19.5, черные рудные – 16.7, гидроксиды Fe – 5.0;	0.00027 (Mn) – 0.014 (Zn)
	<0.01	Монтмориллонит – 28.0, хлорит – 25.5, иллит – 4.5	0.26 (Ni) – 0.56 (Cu)
	<0.001	Монтмориллонит – 32.8, хлорит – 23.0, иллит – 3.0	0.50 (Mn) – 0.64 (Cu)
21–24	0.10–0.05 (легкая фракция)	Кварц – 51.9; полевые шпаты – 24.3; неопредел. зерна – 23.8;	0.0018 (Pb) – 0.016 (Cu)
	<0.01	Монтмориллонит – 31.8, хлорит – 28.5, иллит; – 7.5	0.72 (Ni) – 1.31 (Pb)
	<0.001	Монтмориллонит – 34.3, хлорит – 29.8, смешанослойный иллит-сметит – 7.8, иллит; – 5.5	1.45 (Cd) – 2.32 (Pb)
56–59	0.10–0.05 (тяжелая фракция)	Пирит – 37.0, гранат – 25.8, черные рудные – 16.7;	0.00034 (Mn) – 0.017 (Zn, Cu)
	<0.01	Монтмориллонит – 31.3, хлорит – 27.2, смешанослойный иллит-сметит – 8.5	0.58 (Mn) – 1.66 (Pb)
	<0.001	Монтмориллонит – 29.4, хлорит – 22.6, смешанослойный иллит-сметит – 8.8, иллит – 4.5	1.06 (Mn) – 1.77 (Pb)
121–129	0.10–0.05 (легкая фракция)	Кварц – 50.2, полевые шпаты – 24.1, неопредел. зерна – 23.6;	0.0066 (Pb) – 0.021 (Cu, Zn)
	<0.01	Монтмориллонит – 30.2, хлорит – 26.6, иллит – 15.0	0.26 (Mn) – 0.48 (Pb)
	<0.001	Монтмориллонит – 30.6, хлорит – 24.8, смешанослойный иллит-сметит – 7.8, иллит – 6.8	0.55 (Mn) – 1.12 (Zn)
182–189	0.10–0.05 (легкая фракция)	Кварц – 51.8, полевые шпаты – 26.0, неопредел. зерна – 20.6;	0.0090 (Pb) – 0.031 (Cu)
	<0.01	Монтмориллонит – 29.8, хлорит – 25.3, иллит – 13.8	0.41 (Ni) – 0.63 (Zn)
	<0.001	Монтмориллонит – 32.2, хлорит – 22.4, смешанослойный иллит-сметит – 5.8, иллит – 8.5	0.46 (Mn) – 0.57 (Pb)
251–259	0.10–0.05 (тяжелая фракция)	Пирит – 44.2, черные рудные – 14.8, гранат – 14.4	0.00030 (Pb) – 0.021 (Zn)
	<0.01	Монтмориллонит – 33.5, хлорит – 22.4, иллит – 11.6	0.38 (Mn) – 0.73 (Pb)
	<0.001	Монтмориллонит – 34.7, хлорит – 26.2, иллит; – 5.3	0.84 (Mn) – 1.22 (Cu, Zn)

Примечание. Обменная емкость отдельных классов крупности осадков приведена при адсорбции катионов тяжелых металлов из 0.1 н растворов их солей.

Ранее [Новиков, Мурдмаа, 2007] были изучены ионообменные свойства тихоокеанских поверхностных осадков (0–1 см), вмещающих диагенетические и седиментационные конкреции. Сравнительный анализ ионообменных характеристик тихоокеан-

ских и морских осадков показывает, что состав их обменного комплекса, реакционная способность катионов металлов, зависимость обменной емкости от концентрации растворов солей металлов одинаковы, тогда как сама поглотительная способность осадков

различна. Обменная емкость тихоокеанских осадков независимо от их типа как минимум в два раза превосходит емкость баренцевоморских осадков (табл. 9.6.6, рис. 9.6.5), что во многом объясняется их различным минеральным составом.

Преобладающими минералами баренцевоморских и тихоокеанских осадков являются глинистые минералы, но состав их различен. В поверхностных осадках Центральной впадины Баренцева моря резко преобладает хлорит и в меньшей степени монтмориллонит, в незначительном количестве присутствуют каолинит и смектит-иллит. В тихоокеанских

осадках основными минералами являются смектит, гидрослюда, присутствуют также филлипсит (в эвпелагической глине) и микроконкреции (практически повсеместно встречающиеся), тогда как хлорит и каолинит находятся в виде примеси. Обменная емкость (мг-экв/г) филлипсита составляет – 1.50–2.15 [Челищев и др., 1984], микроконкреций – 0.70–1.90 [Новиков, 2018]. Из сравнения значений обменной емкости минералов становится очевидным значительно более высокая поглотительная способность тихоокеанских осадков по сравнению с осадками Центральной впадины Баренцева моря.

Таблица 9.6.6. Обменная емкость (мг-экв/г) поверхностных (0–1 см) осадков Баренцева моря и Тихого океана по катионам тяжелых металлов

Район отбора	Тип осадка	Минеральные фазы	Mn ²⁺	Ni ²⁺	Co ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Cd ²⁺	Pb ²⁺
Центральная впадина Баренцева моря (ст. 1183)	Глинистый	Хлорит, монтмориллонит; каолинит, смектит-иллит	0.18	0.20	0.22	0.23	0.38	0.21	0.33
Центральная впадина Баренцева моря (ст. 1190)	Глинистый	Хлорит, монтмориллонит; каолинит, смектит-иллит	0.17	0.20	0.21	0.23	0.38	0.24	0.28
Рудная провинция Клариион-Клиппертон	Глинисто-радиоляристый	Смектит, гидрослюда, микроконкреции; хлорит, каолинит	0.44	0.47	0.42	0.51	0.68	0.44	0.76
Центральная котловина	Радиоляриво-глинистый	Смектит, гидрослюда, микроконкреции; хлорит, каолинит	0.46	0.50	0.43	0.54	0.71	0.42	0.79
Гватемальская котловина	Миопелагическая глинисто-радиоляриевая глина	Смектит, гидрослюда, микроконкреции; хлорит, каолинит	0.55	0.81	0.68	0.86	1.58	0.52	1.47
Южная котловина	Эвпелагическая глина с филлипситом	Смектит, иллит-смектит, филлипсит микроконкреции; кварц, палагонит	0.76	0.48	0.54	0.75	0.90	1.00	1.40

Примечание. Жирным шрифтом выделены преобладающие минеральные фазы осадков.

Одним из значимых катионообменных свойств осадков является сохранение их поглотительной способности при длительном хранении в воздушно-сухом состоянии. Представленные выше результаты относились к исследованиям, проведенным в 1998–1999 годах. Для продолжения данных экспериментов был отобран мелкопелитовый (<0.001 мм) класс крупности осадков горизонта 0–1 см ст. 1190, на котором каждые 5 лет проводились эксперименты по установлению его поглотительной способности. Результаты исследований свидетельствуют, что на процесс адсорбции катионов тяжелых металлов (на примере Ni²⁺, Pb²⁺ и Cu²⁺) не влияет функция времени – в течении 20 лет обменная емкость глинистых

минералов остается практически постоянной величиной (рис. 9.6.6).

Важным параметром катионообменных свойств осадков является прочность химической связи адсорбированных катионов тяжелых металлов с основными элементами кристаллической структуры минералов-сорбентов. Определение данного параметра позволяет оценить механизм адсорбции катионов тяжелых металлов в минералах осадков. Для решения этого вопроса использовались катионные (Mn-, Ni- и другие) формы крупно- и мелкопелитовой фракций осадков горизонтов 21–24, 56–59 и 251–259 см ст. 1190. Эти катионные формы в одном случае взаимодействовали с 0.5 М раствором NaCl,

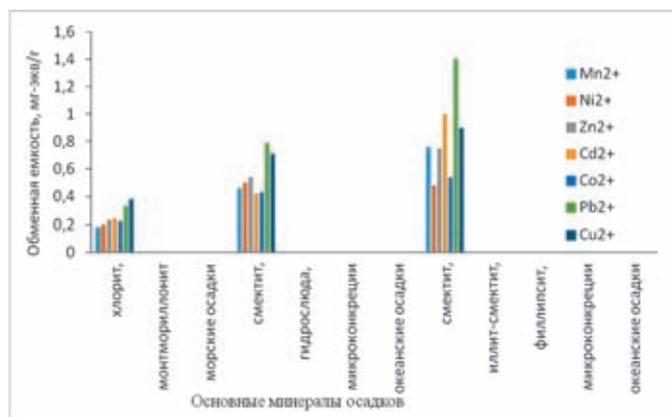


Рис. 9.6.5. Обменная емкость баренцевоморских и тихоокеанских осадков по катионам тяжелых металлов в зависимости от преобладающих минералов

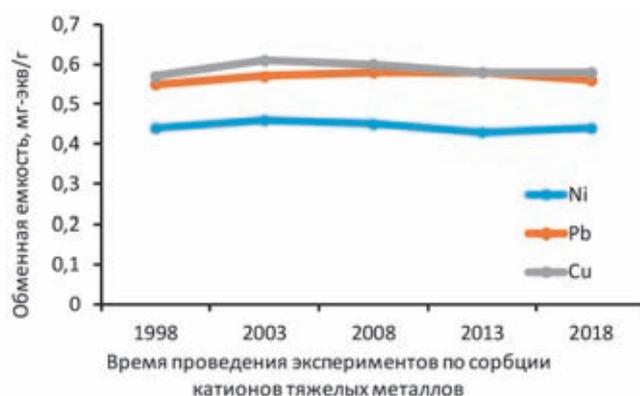


Рис. 9.6.6. Обменная емкость осадков по катионам тяжелых металлов в зависимости от времени проведения сорбционных экспериментов

Таблица 9.6.7. Извлечение адсорбированных катионов тяжелых металлов из пелитовых фракций осадков станции Центральной впадины Баренцева моря (ст. 1190)

Крупность фракции, мм	Катионная форма	Содержание в кат. форме, мг-экв/г	Степень извлечения (%) адсорбированных катионов металлов M^{2+}											
			0.5 М раствор NaCl						морская вода $S \approx 35 \%$					
			Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb
Горизонт 21–24 см														
<0.01	Mn	0.74	90.5							91.8				
	Ni	0.72		88.7							90.3			
	Zn	1.28			89.2							93.2		
	Cd	0.78				92.4							93.8	
	Cu	0.91						92.7						94.0
	Pb	1.31								88.2				
<0.001	Mn	1.60	91.3							91.2				
	Ni	1.53		91.5							92.0			
	Zn	1.91			90.4							94.3		
	Cd	1.45				94.2							94.4	
	Cu	1.70						93.4						94.6
	Pb	2.32								91.5				
Горизонт 56–59 см														
<0.01	Mn	0.58	92.0							92.5				
	Ni	0.64		91.4							91.9			
	Zn	1.27			90.7							92.0		
	Cd	0.72				93.0							93.8	
	Cu	0.86						94.3						94.6
	Pb	1.66								90.8				
<0.001	Mn	1.06	93.3							93.8				
	Ni	1.14		93.1							94.2			
	Zn	1.41			92.5							94.8		
	Cd	1.22				94.0							94.8	
	Cu	1.35						94.6						94.8
	Pb	1.77								91.3				

во втором случае – с природной морской водой соленостью $S \approx 35\%$, отобранной из Центральной впадины Баренцева моря во время рейса.

Взаимодействие катионных форм минералов осадков с обоими растворами сопровождается одинаковой тенденцией – высоким извлечением адсорбированных катионов тяжелых металлов из соответствующих форм минералов – 88.2–95.8% (табл. 9.6.7). При этом отмечается отсутствие зависимости извлечения катионов металлов от крупности пелитовых фракций и содержания адсорбированного катиона тяжелого металла в осадке. При этом, наиболее важный результат – эквивалентный обмен между адсорбированным катионом тяжелого металла и катионом Na^+ раствора в первой реакции: $\text{Cu}^{2+}_{\text{oc}} + 2\text{Na}^+_{\text{p}} \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{\text{p}} + 2\text{Na}^+_{\text{oc}}$ и главными катионами морской воды во второй реакции: $\text{Cu}^{2+}_{\text{oc}} + (\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+})_{\text{p}} \rightarrow \text{Cu}^{2+}_{\text{p}} + (\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+})_{\text{oc}}$. Из этого следует, что катионы щелочных, щелочноземельных и тяжелых металлов занимают близкие в структурном отношении позиции в глинистых минералах осадков, из которых они достаточно легко вытесняются противоионами растворов. Следовательно, механизм сорбции катионов тяжелых металлов на глинистых минералах – эквивалентный обратимый (практически полностью). Именно такой механизм позволяет адсорбированным катионам тяжелых металлов переходить обратно из осадков в морскую воду.

Таким образом, результаты обменных реакций (сорбция–десорбция) указывают на то, что при определенных физико-химических условиях осадки могут

быть как очистителями морской среды, поглощая природные и техногенные катионы тяжелых металлов, так и ее загрязнителями – при их мобилизации обратно в воду. Именно катионообменные свойства минералов осадков, прежде всего глинистых, способствуют геохимическому круговороту катионов тяжелых металлов в морской среде. Иначе говоря, донные осадки являются важными индикаторами динамики природных явлений и процессов техногенного загрязнения морской среды. Однако в настоящее время эти изменения в содержании катионов тяжелых металлов в осадках большинства акваторий Баренцева моря, в том числе его Центральной впадины, не носят катастрофического характера. В то же время при оценке сорбционной активности осадков конкретного морского региона Баренцева моря необходимо учитывать не только их минералогические особенности, гранулометрический состав, но и концентрации (по возможности) потенциально сорбируемых компонентов в морской воде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из совокупности полученных экспериментальных данных, можно сделать следующие выводы.

1. Результаты обменных реакций свидетельствуют, что различные литологические типы осадков Центральной впадины Баренцева моря и выделенные из них отдельные фракции являются природными обменниками катионов тяжелых металлов – Mn, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb.

2. Сорбционная способность осадков по катионам тяжелых металлов в значительной степени определя-

Окончание таблицы 9.6.7

Крупность фракции, мм	Катионная форма	Содержание в кат. форме, мг-экв/г	Степень извлечения (%) адсорбированных катионов металлов M^{2+}											
			0.45 н раствор NaCl						морская вода $S \approx 35\%$					
			Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb	Mn	Ni	Zn	Cd	Cu	Pb
Горизонт 251–259 см														
< 0.01	Mn	0.38	93.2							92.2				
	Ni	0.40		92.0							92.8			
	Zn	0.63			91.8							92.4		
	Cd	0.52				93.7							94.5	
	Cu	0.59					94.3							94.6
	Pb	0.73							92.5					
< 0.001	Mn	0.84	92.8							94.3				
	Ni	0.93		92.6							94.6			
	Zn	1.21			92.7							95.6		
	Cd	1.16				94.0							95.5	
	Cu	1.22					94.5							95.8
	Pb	1.06							92.2					

ются их минеральным составом. Минералы крупноалевритовой фракции (тяжелая и легкая) – гранат, пирит, черные рудные, группа эпидота, кварц, полевые шпаты и другие – характеризуются крайне низкой обменной емкостью к катионам тяжелых металлов – 0.000и–0.0и мг-экв/г, механизм адсорбции которых – поверхностный изоморфизм. Минералы крупно- и мелкопелитовой фракций – монтмориллонит, хлорит, иллит, смешанослойный смектит-иллит – обладают значительно более высокой емкостью – 0.26–2.32 мг-экв/г. Адсорбция катионов тяжелых металлов на них осуществляется по ионообменному эквивалентному обратимому механизму. Из полученных значений обменной емкости глинистых минералов вытекает, что, находясь в морской среде, они явно недонасыщены относительно катионов тяжелых металлов.

3. Поглотительная способность осадков по катионам тяжелых металлов определяется содержанием в них пелитовой, точнее мелкопелитовой, фракции и возрастает прямолинейно с ее увеличением.

4. Обменный комплекс минералов-сорбентов осадков состоит из главных катионов морской воды – Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , которые легко обмениваются на катионы тяжелых металлов растворов.

5. Присутствующая в осадках иловая вода не оказывает влияние на поглотительную способность минералов-сорбентов осадка в целом и отдельных его фракций. В условиях морской среды сорбция катионов тяжелых металлов в наибольшей степени осуществляется из иловых вод осадков, в которых их концентрации, как правило, на 2–4 порядка больше, чем в придонной морской воде.

6. Получено экспериментальное доказательство, что при определенных физико-химических условиях осадки могут быть как очистителями морской среды, поглощая природные и техногенные катионы тяжелых металлов, так и ее загрязнителями – при их мобилизации из осадков обратно в воду.

9.7. Петрография донного каменного материала Баренцева моря

Г.С. Харин, Д.В. Ерошенко, А.В. Булохов, С.М. Исаченко, Г.В. Малафеев

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

В четвертичных осадках Баренцева моря содержится большое количество грубообломочного донного каменного материала (ДКМ) разной степени окатанности, изучение которого важно при определении типа и состава земной коры, при палеогеографических построениях и выявлении данных о динамике ледового покрова. Исследования ДКМ Баренцева моря начались еще в 1920-х годах. За этот период были сформированы в основном две гипотезы о связи распространения ДКМ с элементами рельефа моря и выходами коренных пород. Одна из них считает ДКМ маркером, пригодным для выделения петрографических провинций на дне Баренцева моря [Кленова, 1960]. В данной главе на основе новых современных данных, полученных в 67 и 68 рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2016–2017 гг., оцениваются гранулометрический, петрохимический и минеральный составы ДКМ, даются схемы его распределения, проводится анализ способов транспортировки и оценивается возможность его использования при геологическом картировании. Было обработано 4193 образца в четвертичных осадках, среди которых выделено 86 эталонных типов. Показано, что разнообразие состава ДКМ Баренцева моря зависит от ледникового и ледово-айсбергового разносов. Поэтому использование ДКМ для проведения геологического картирования дна Баренцева моря непригодно. Петрографический состав ДКМ в разных районах Баренцева моря подвержен значительным колебаниям, но в целом он комплиментарен набору горных пород областей сноса прилегающей суши и зависит от масштабов экзарации и выноса экзарационного материала ледником в районы седиментации.

Ключевые слова: грубообломочный материал, петрографический состав.

DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(34)

ВВЕДЕНИЕ

В четвертичных осадках Баренцева моря содержится большое количество грубообломочного каменного материала, изучение которого важно при определении типа и состава земной коры, при палео-

географических построениях и выявлении данных о динамике ледового покрова. Этот материал, встречающийся во всех арктических и антарктических морях, принято называть «донным каменным материалом» (ДКМ). Он имеет очень разнообразный со-