

УДК 551.468:550.42

М. А. Новиков, О. В. Титов, А. Ю. Жилин

Содержание металлов в донных отложениях центральной части Печорского моря в современный период

На основе данных морских экспедиций Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), выполненных в период 2010–2015 гг., проанализировано содержание ряда металлов в донных отложениях (ДО) центральной части Печорского моря на 99 станциях. Исследовали гранулометрический состав и рН поверхностного слоя осадков. Межгодовых изменений изученных показателей не выявлено. Согласно проведенным исследованиям преобладающей формой ДО является мелкий песок, изредка встречается супесь. Сравнение среднего относительного содержания ряда изученных элементов-примесей в ДО исследованной части Печорского моря с ДО Белого моря и стандартом "верхняя континентальная кора" (УСС) не выявило принципиальных отличий. Показано, что содержание Pb и Cd – наиболее изменчивое в ДО Печорского моря. Медианные значения кларков концентрации всех исследованных элементов-примесей в ДО Печорского моря, нормированных по УСС, были заметно меньше 1. Выполнены и проанализированы диаграммы положения точек относительного содержания пар изученных элементов в ДО Печорского моря. Проведено сравнение указанных диаграмм с таковыми для соответствующих пар элементов в ДО Чукотского и Восточно-Сибирского морей: выявлены определенные различия, наиболее заметные в отношении Печорского и Восточно-Сибирского морей. Установлено относительное сходство состава ДО Печорского моря с ДО Чукотского моря. Приведены данные статистической обработки средних содержаний всех изученных металлов в ДО. Заметных отличий от результатов предшествующих исследований в Печорском море не обнаружено. Выполнен корреляционный анализ содержания элементов-примесей. Рассмотрение представленных данных не выявило признаков антропогенного загрязнения ДО Печорского моря тяжелыми металлами; в результате для Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd и Hg рекомендованы фоновые уровни их содержания для ДО Печорского моря.

Ключевые слова: Печорское море, донные отложения, геохимия, элементный состав, тяжелые металлы

Информация о статье: поступила в редакцию 09.11.2018; получена после доработки 05.03.2019

Введение

Печорский шельф находится на подводном продолжении Тимано-Печорской эпибайкальской плиты и полностью расположен в пределах земной коры континентального типа. Верхний слой донных отложений представлен слоистыми голоценовыми осадками. В прибрежной зоне это пески, алевриты мощностью до 5–10 м, мористее – алеврито-глинистые осадки (до 2–3 м). В голоценовых отложениях отмечаются проявления диагенетических минеральных преобразований в виде различного типа скоплений гидротроилита. К востоку от устья р. Печоры прослеживается мощное (до 65–70 м) тело голоценовых дельтовых и авандельтовых отложений [1; 2].

Печорское море расположено в юго-восточной части Баренцева моря. Основную площадь дна Печорского моря занимает субгоризонтальная аккумулятивная равнина, расположенная в настоящее время вне зоны современного волнового воздействия, а также абразионно-аккумулятивная поверхность подводного берегового склона, сформированная современными гидродинамическими процессами. На этом геоморфологическом фоне выделяется глубокий и резко очерченный Южно-Новоземельский желоб, имеющий тектоническое происхождение [2].

По экспертным оценкам ежегодно за счет размыва голоценовой террасы в береговую зону моря попадает около 300 тыс. м³ мелкопесчаного материала [3]. Еще 130 тыс. м³ песка, 5 тыс. м³ крупнообломочного материала, 25 тыс. м³ торфа и 120 тыс. м³ глинистого материала поступает в береговую зону с термоабразионного участка. Часть песчаного материала и весь глинистый откладываются глубже 10-метровой изобаты. Весь крупнообломочный и другая часть песчаного материала участвуют во вдольбереговом переносе, формировании пляжей и береговых валов на дистальных окончаниях баров и кос [1].

При изучении морских донных отложений, в частности Печорского моря, с использованием гранулометрического состава результаты представляют собой фасциальный ряд, крайними членами которого являются галечники, развитые в прибрежной части, и чистые пелиты, выполняющие наиболее глубокие замкнутые и полузамкнутые впадины и котловины. В целом они представляют собой систему

однородных совокупностей, объединенных общностью времени формирования и закономерно сочетающихся в пространстве. Распределение в пространстве различных гранулометрических типов осадков в общем случае коррелирует с глубиной бассейна осадконакопления и имеет циркумконтинентальную зональность, однако зависит также от гидродинамических параметров водной среды в каждом конкретном районе, удаленности источников сноса, наличия новейших и длительно развивающихся положительных и отрицательных структур, а также климатических условий территории – в случае Печорского моря имеется ввиду фактор ледового разноса [1; 4].

Основной целью наших исследований был анализ особенностей распределения металлов, главным образом элементов-примесей, в верхнем слое современных донных осадков Печорского моря, а точнее его центральной части. Одной из важных задач было определение фоновое содержания элементов-примесей (тяжелых металлов) в его донных отложениях (ДО).

Материалы и методы

Материалом для исследований служили пробы поверхностного слоя ДО, отобранные сотрудниками Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО) в экспедициях научно-исследовательских судов "Вильнюс" и "Фритьоф Нансен" при выполнении задач мониторинга среды обитания водных биологических ресурсов в Печорском море. Для отбора проб ДО использовали дночерпатель Ван Вина с площадью захвата не менее 0,1 м². При отборе пробы для фиксации брался верхний слой (~ 2 см) осадка, который не соприкасается со стенками дночерпателя и емкости для отбора грунта. Каждая проба сырого осадка помещалась в отдельные герметичные полиэтиленовые пакеты по 1 кг; воздух из пакетов удаляли, их помещали в общий пакет большего размера. После этого пробу подвергали глубокой заморозке при температуре минус 20 °С и хранили в темноте. Дальнейшие исследования выполняли в аккредитованных стационарных лабораториях.

Всего ежегодно в период августа – октября 2010–2015 гг. было выполнено 99 станций в центральной части моря (рис. 1) на содержание металлов, в том числе элементов-примесей (ЭП). В ряде случаев сетка станций была весьма плотной. Уровни содержания металлов в донных отложениях Печорского моря определялись в аккредитованной лаборатории прикладной экологии и токсикологии ПИНРО методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с методическим руководством¹. Полученные значения содержания металлов выражали в г/т (мкг/г) сухой массы осадка.

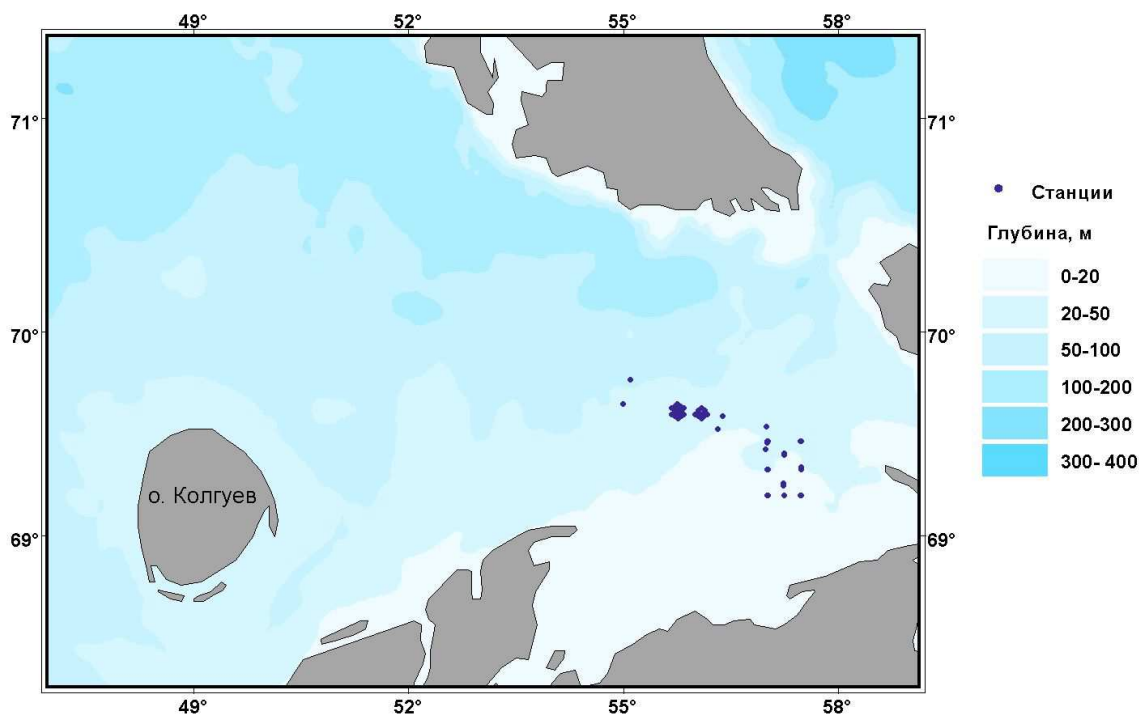


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в Печорском море
Fig. 1. Sampling stations in the Pechora Sea

¹ Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn (кислоторастворимые формы) в почвах и донных отложениях атомно-абсорбционным методом (М 02-902-125-2005). СПб. : ООО "АНАЛИТ", № 242/120-2005. 25 с.

Гранулометрический состав исследуемых грунтов определяли по стандартной методике согласно ГОСТ 12536-79². Разделение на фракции размером от 10 до 0,1 мм осуществляли с помощью ситования, при этом использовали стандартный набор сит следующих диаметров (мм): 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1. Выделение фракций диаметром меньше 0,1 мм проводили ареометрическим методом. Расчет диаметров частиц при данном анализе осуществляли с помощью номограммы Казагранде, в основу которой положена формула Стокса. Размеры фракций выделяли по ГОСТ 25100-95³. Определение водородного показателя (рН) водной вытяжки проб грунта проводили в соответствии с ГОСТ 26423-85⁴ на рН-метре рН-150М.

Статистический анализ полученных данных выполняли в среде пакета прикладной статистики Statistica 10. Кроме основных статистических процедур выполнен корреляционный анализ – оценка связи содержания Cu, Zn, Ni, Cr, Pb и Hg в ДО Печорского моря по данным за рассматриваемый период.

Результаты и обсуждение

В ходе анализа полученных результатов отмечено, что достоверные межгодовые изменения по всем изученным показателям не выявлены, временные тренды величин не обнаружены. Поэтому все данные наших исследований рассматриваются как единая выборка.

По результатам лабораторных исследований пробы ДО в центральной части Печорского моря были представлены практически одной грунтовой разновидностью – мелким песком. На отдельных станциях исследованного района встречалась супесь. Характерный результат обработки проб из района исследований представлен в табл. 1. Анализ гранулометрического состава ДО на изучаемых участках показал, что они расположены в единой литофациальной зоне, которая характеризуется четким превалированием песчаной фракции. Поэтому рассмотрение содержания металлов в ДО исследованных участков целесообразно описывать для всей центральной части Печорского моря в целом.

Таблица 1. Типичный гранулометрический состав грунтов исследованной части Печорского моря
Table 1. Typical particle size distribution of the grounds in the studied part of the Pechora Sea

№ станции	Наименование грунта по ГОСТ 25100-95	Зерновой состав (%); размер частиц (мм)										
		Галька		Гравий		Песок				Пыль		Глина
		> 10	5-10	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	< 0,005
1	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	2,6	89,0	8,2	0,0	0,0	0,0
2	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	90,2	6,8	1,0	1,0	0,0
3	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,3	92,2	6,4	0,0	0,0	0,0
4	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,5	84,9	8,8	3,6	2,0	0,0
5	Песок пылеватый	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	71,4	23,3	1,6	1,1	2,2
6	Песок пылеватый	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	69,4	23,3	3,7	1,1	2,1
7	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,0	81,4	12,0	3,0	1,0	1,5
8	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	3,8	86,7	7,5	0,4	1,3	0,0
9	Песок мелкий	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	4,6	87,9	2,4	1,6	1,1	2,2

Измеренные средние величины активной реакции (рН) вытяжек из ДО, согласно результатам наших исследований, изменялись в период 2010–2015 гг. в интервале от 6,89 (2010 г.) до 8,15 (2014 г.). Среднее значение рН за весь период работ на обоих участках составило 7,54. Полученные величины рН вполне соответствуют известным данным [5], согласно которым режим рН ДО как в открытом море, так и в прибрежной зоне практически не меняется по сравнению с наддонной водой и укладывается в пределы 6,8–8,4, определяемые буферной емкостью углекислотной системы природных вод.

Как видно из табл. 2, средние значения (и медианы) содержания исследованных металлов в песчаных грунтах Печорского моря были невысоки, в целом соответствовали данным предшествующих исследований [1] и были заметно ниже аналогичных величин, отмеченных для Баренцева, Чукотского и Белого морей [6–8]. Полученные значения содержания Ni и Cr выглядели достаточно типично для топофаций "лагуна" и "устье эстуария", вероятно, из-за влияния стока р. Печоры; измеренное содержание Mn характерно

² ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава. М., 1979. 17 с.

³ ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация. М., 1996. 6 с.

⁴ ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. М., 1985. 6 с.

для "прибрежно-морских песков" [9, с. 354]. Рассчитанное среднее отношение Cr/Ni, равное 1,94, характерно для "прибрежных" фаций [9, с. 355].

Таблица 2. Результаты статистической обработки содержания металлов в ДО Печорского моря, дополненные данными предшествующих исследований (в г/т сухой массы)

Table 2. The results of statistical processing of the metal content in the Pechora Sea bottom sediments supplemented by data from previous studies (in g/t of dry weight)

Элемент	\bar{X}	S	Медиана	min	max	97 процентиль	\bar{X} , по [1]	Фоновый уровень для Баренцева моря, по [8]
Cu	9,45	2,30	9	3,54	15	13,9	5,13	28
Zn	21,97	10,82	20,8	4,3	50,5	39,7	31,24	112
Ni	16,45	7,50	14,1	4,6	31,4	29,4	17	52
Cr	31,98	16,89	34,9	8,3	66,9	65,7	50	116
Pb	9,78	4,47	9,9	1,1	25,3	18,0	6,75	31
Cd	0,06	0,06	0,04	0,01	0,25	0,2	0,018	–
Hg	0,09	0,18	0,03	0,01	0,7	0,7	–	0,15
Fe	7 441,64	4 127,02	6 617	1 151	22 153	16 027,5	13 510	–
Ba	372,24	172,70	360	145	679	652,1	–	–
Mn	158,18	52,75	148,5	57,4	347	319,6	155,9	–
Al, %	2,12	1,34	1,6	0,64	5,5	5,2	–	–

Примечание. Статистические параметры: \bar{X} – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение, min – минимальное значение, max – максимальное значение.

Сравнение среднего относительного содержания изученных ЭП в ДО Печорского моря с Белым морем и известным стандартом UCC (Upper Continental Crust, верхняя континентальная кора) [10] не выявило принципиальных отличий (рис. 2).



Рис. 2. Диаграммы относительного содержания некоторых ЭП в донных осадках морей по сравнению с кларковыми значениями (UCC). Печорское море – наши данные, Белое море (Бассейн) – из [7], UCC – из [10]

Fig. 2. Diagrams of the relative content of some trace elements in the bottom sediments of the seas compared to the average crust-composition estimates (UCC). The Pechora Sea – our data, the White Sea (Basin) from [7], UCC from [10]

Медианные значения кларков концентрации (K_k) – коэффициентов концентрации всех исследованных ЭП в ДО Печорского моря, нормированных по UCC, были заметно меньше 1. Подобная ситуация отмечалась ранее для осадков Белого моря [7]. Максимальная медианная величина K_k характерна для Hg (0,60), минимальная – для Ni (0,30). Максимальное во всей исследованной нами выборке значение K_k отмечено для Cd (2,78) (табл. 3). Такое распределение металлов, по всей видимости, обусловлено гранулометрическим составом ДО Печорского моря, преобладанием в исследованных пробах песчаной фракции, не являющейся, как известно, основным концентратором ЭП в осадках [6; 11; 12].

Как видно из рис. 3, в ДО центральной части Печорского моря весьма изменчивым является содержание Pb и Cd. Вообще говоря, Pb относится к так называемым высокозарядным элементам – наименее подвижным при различных наложенных процессах, а их распределение позволяет судить

о природе разных магматических пород [13]. Однако в данном случае Pb проявляет свойства крупноионного литофила [13], а наиболее "устойчивой" оказывается Cu, содержание которой в ДО исследованной части Печорского моря является наименее варибельным (табл. 2).

Таблица 3. Статистические данные о кларках концентрации ЭП (тяжелых металлов) в ДО Печорского моря (к уровню УСС)

Table 3. Statistical data on the concentration factor of the trace elements (heavy metals) in the bottom sediments of the Pechora Sea (to the UCC level)

Элемент	\bar{X}	2 СОС	Медиана	min	max	УСС, г/т
Cu	0,34	0,02	0,32	0,13	0,54	28
Zn	0,33	0,03	0,31	0,06	0,75	67
Ni	0,35	0,04	0,30	0,10	0,67	47
Cr	0,35	0,06	0,38	0,09	0,73	92
Pb	0,58	0,05	0,58	0,06	1,49	17
Cd	0,7	0,13	0,44	0,11	2,78	0,09
Hg	1,89	0,74	0,60	0,18	14	0,05

Примечание. Статистические параметры: \bar{X} – среднее арифметическое, 2 СОС – две стандартные ошибки среднего арифметического, min – минимальное значение, max – максимальное значение.

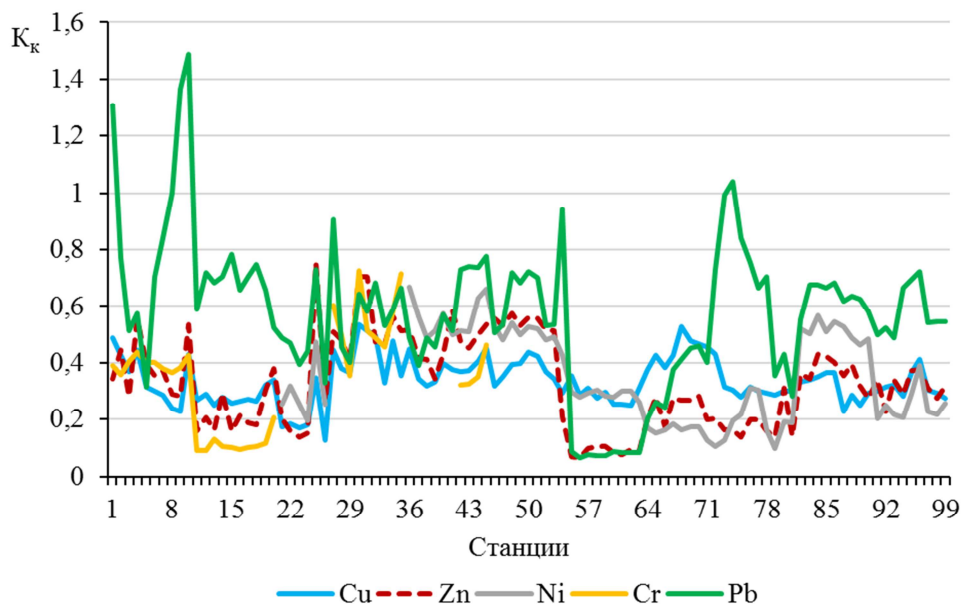


Рис. 3. Варьирование кларков концентрации (на УСС) некоторых ЭП на станциях Печорского моря
Fig. 3. Variation of the concentration factors (to UCC) of some trace elements at the stations of the Pechora Sea

Для сравнения на диаграммы положения точек относительного содержания Zn-Cr и Zn-Ni в пробах ДО Печорского моря авторами нанесены данные по индивидуальным пробам, отобраным в современный период в Чукотском и Восточно-Сибирском морях, сведениями о которых мы располагаем [6; 14] (рис. 4). Аббревиатура PAAS обозначает так называемый средний австралийский постархейский глинистый сланец – еще один часто применяемый стандарт содержания элементов-примесей [11]. На диаграмме Zn-Cr видно, что точки состава ДО Печорского моря занимают положение, близкое к таковым из Чукотского моря, но заметно отличаются от ДО Восточно-Сибирского моря. На диаграмме Zn-Ni положения точек состава ДО близки в случае всех сравниваемых морей, однако содержание ЭП в ДО Печорского моря было ниже.

Из регрессионных кривых, представленных на рис. 4, следует, что соотношение элементов-примесей Zn-Cr и Zn-Ni в ДО центральной части Печорского моря ближе к примененным стандартам УСС и PAAS, чем в Чукотском и Восточно-Сибирском морях.

Заметно иначе выглядит ситуация с распределением литофильного элемента Pb в ДО центральной части Печорского моря, показанная на диаграммах (рис. 5). Содержание Pb также относительно невысоко и отличается значительным рассеянием точек положения. В ДО Чукотского моря Pb выглядит рассеянным на фоне Ni (почти не коррелирует с ним), но относительно неплохо коррелирует с Cr, как и в случае

Восточно-Сибирского моря. Напомним, что Pb характеризует так называемые кислые горные породы, тогда как Cr и Ni – ультраосновные; Zn присутствует и в основных, и в кислых [13].

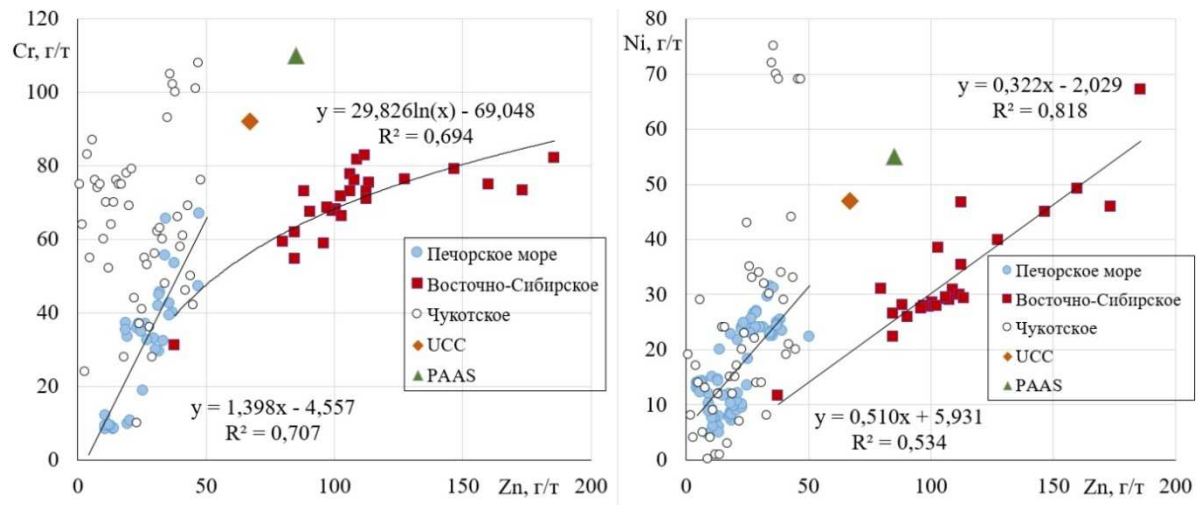


Рис. 4. Положение точек состава проб ДО Печорского моря, а также ДО Чукотского и Восточно-Сибирского морей на диаграммах Zn-Cr (слева) и Zn-Ni (справа). Регрессионные уравнения на диаграммах: сверху – для Восточно-Сибирского моря, снизу – для Печорского.

Приведены положения стандартных отношений: UCC и PAAS

Fig. 4. Position of the bottom sediment sample points in the Pechora Sea, as well as in the Chukchi and East Siberian Seas on the Zn-Cr (left) and Zn-Ni (right) diagrams. Regression equations in diagrams: above – for the East-Siberian Sea, below – for the Pechora Sea.

The provisions of the standard relations for UCC and PAAS are given

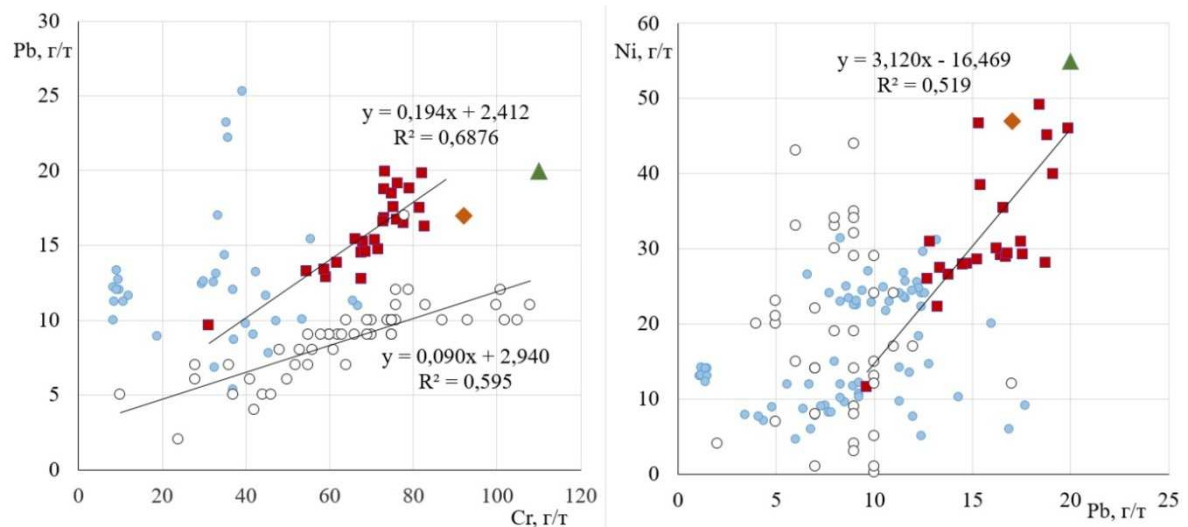


Рис. 5. Положение точек состава проб ДО Печорского моря, а также ДО Чукотского и Восточно-Сибирского морей на диаграммах Cr-Pb (слева) и Pb-Ni (справа).

Обозначения, как и на рис. 4. Регрессионные уравнения на диаграммах: сверху – для Восточно-Сибирского моря, снизу – для Чукотского

Fig. 5. Position of the points of the samples' composition from the Pechora Sea and the Chukchi and East Siberian Seas on the Cr-Pb (left) and Pb-Ni diagrams (right).

The legend as in Fig. 4. Regression equations in diagrams: above – for the East Siberian Sea, below – for the Chukchi Sea

По результатам выполненного нами корреляционного анализа отмечена относительно высокая корреляция по Спигену (r_s , $n = 33-99$) в парах Cr-Zn ($r_s = 0,81$), Cr-Cu (0,70), Fe-Ni (0,70), Ni-Zn (0,66) и Zn-Cu (0,61). Приведенные уровни корреляции с учетом слабых связей перечисленных металлов с Pb, а также величина отношения Cr/Ni (1,94) свидетельствуют в пользу основной специализации питающего

источника. Следует отметить, что содержание Hg имело отрицательную корреляционную связь с содержанием почти всех исследованных металлов ДО Печорского моря. Отрицательной была также связь в паре Pb-Cr (-0,13).

Обращает на себя внимание существенное сходство полей состава ДО Печорского и Чукотского морей на диаграммах Zn-Ni и Pb-Ni. Здесь уместно напомнить, что согласно оценкам Д. С. Яшина [15] голоценовые осадки Чукотского моря на 59 % сформированы материалом, поступающим при размыве дна (первично терригенным), на 29 % – поступающим при абразии берегов, включая ледовый разнос, и только на 7 % – за счет речного стока. Вероятно, подобное имеет место и в случае Печорского моря. Присутствие на диаграммах различий, связанных с высоким содержанием Ni в ДО Чукотского моря, объясняется присутствием в последнем участков, содержащих глинистые осадки [6].

Считают, что ледовый режим в значительной мере определяет особенности седиментации в арктических морях [16]. Вынос льда из Карского моря в Печорское составляет 4,6 км³, что значительно меньше выноса льда из Печорского моря через Карские ворота (21,4 км³) [17]. В начале XXI века в результате действия глобального потепления в Северном полушарии ледовая обстановка становится близкой к атлантическому оптимуму голоцена [2]. Косвенно о малом вкладе принесенного льдами осадочного материала в Печорское море можно судить, сравнив наши данные с данными по изучению элементного состава материала, переносимого дрейфующими льдами в Арктике (ice-rafted sediments – IRS). Так, выявлено, что в разносимых в результате дрейфа льда осадках, характеризующихся максимальным присутствием песчано-алевритовой фракции (по шкале Крамбейна), содержание Cr и Ni составляло 79,7 и 31,3 г/т соответственно [18], в то время как в осадках Печорского моря аналогичное содержание составляло 32 и 16,2 г/т соответственно (табл. 2). Соотношение содержаний указанных металлов также заметно различалось. Основными минеральными компонентами проб IRS являются кварц, полевые шпаты, слюда и глинистые минералы; среди тяжелых минералов преобладают пироксены, амфиболы, Fe-гидроксилы, эпидот и гранаты [18]. Среди тяжелых минералов ДО исследованного района Печорского моря преобладают черные рудные, гранат, эпидот и роговая обманка [1].

Заключение

Верхний слой осадков Печорского моря, как мы полагаем, имеет преимущественно первично терригенную природу, так как в основном сформирован материалом, поступающим при размыве морского дна – подводного продолжения Тимано-Печорской эпибайкальской плиты. Очевидно, определенный вклад вносят процессы термоабразии [1]. По данным Павлидиса и др. [2], льдистость ДО в районе Варандея, включая о-в Песякова и п-ов Медынский Заворот, не превышает 5–10 %, поэтому процессы термоабразии здесь имеют локальное распространение. По данным же Максимова и др. [19], значительная часть Печорского моря относится к зоне осадков с отрицательными температурами.

Из-за относительной мелководности Печорского моря ветровое волнение способствует переотложению осадочного материала. В сочетании с сильными течениями оно приводит к накоплению или размыву отдельных банок и отмелей, перемещению материала вдоль пляжей.

При сравнении среднего относительного содержания изученных элементов-примесей в ДО центральной части Печорского моря с ДО Белого моря и известным стандартом УСС принципиальных отличий не выявлено. В результате выполненных исследований показано, что в ДО Печорского моря наиболее изменчивым является содержание Pb и Cd. Среднее содержание исследованных элементов-примесей в ДО Печорского моря было низким. Медианные значения кларков их концентрации в ДО Печорского моря, нормированных по УСС, были заметно меньше 1. Анализ положения точек относительного содержания ЭП в парах Zn-Cr, Zn-Ni и Cr-Pb в ДО Печорского моря выявил значительные отличия от такового в ДО Восточно-Сибирского моря. При сравнении этого показателя ДО исследованной части Печорского моря с аналогичным для ДО Чукотского моря заметное отличие обнаружено только для пары Cr-Pb. Таким образом, установлено относительное сходство состава ДО Печорского моря с ДО Чукотского моря.

Рассмотрение представленных выше данных не выявило признаков антропогенного загрязнения донных отложений центральной части Печорского моря изученными металлами. Поэтому значения содержания тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd и Hg, на уровне 97 перцентилиа (табл. 2), в соответствии с предложенной нами ранее методикой [8], можно рекомендовать в качестве фоновых для Печорского моря.

Библиографический список

1. Печорское море. Системные исследования = The Pechora Sea: integrated research : (Гидрофизика, гидрология, оптика, биология, химия, геология, экология, социо-экон. проблемы) / под ред. Е. А. Романкевича, А. П. Лисицына, М. Е. Виноградова. М. : Море, 2003. 502 с.
2. Pavlidis Yu. A., Nikiforov S. L., Ogorodov S. A., Tarasov G. A. The Pechora Sea: Past, recent, and future // *Oceanology*. 2007. V. 47, Iss. 6. P. 865–876. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437007060112>.

3. Огородов С. А. Проблемы природопользования и экологическая уязвимость береговой зоны Варандейского нефтегазоносного района // Проблемы развития топливно-энергетического комплекса: экономика, политика, история : сб. докл. и сообщ. Второй междунар. науч.-практ. конф., Москва, 25 апреля 2001 г. М. : Рос. гос. гуманитар. ун-т (РГУ), 2001. С. 111–114.
4. Гуревич В. И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М. : Научный мир, 2002. 135 с.
5. Баас-Беккинг Л. Г., Каплан И. Р., Мур Д. Пределы колебаний рН и окислительно-восстановительных потенциалов природных вод // Геохимия литогенеза : сб. ст. / под ред. А. Б. Ронова. М. : Изд-во иностр. лит., 1963. С. 11–84.
6. Астахов А. С., Рудзян Ван, Крэйн К., Иванов М. В., Гао Айгуо. Литохимическая типизация обстановок полярного осадконакопления (Чукотское море) методами многокомпонентного статистического анализа // Геохимия. 2013. № 4. С. 303–325. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0016752513020027>.
7. Maslov A. V., Shevchenko V. P., Podkovyrov V. N., Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P. [et al.]. Specific features of the distribution of trace and rare earth elements in recent bottom sediments in the lower course of the Severnaya Dvina River and White Sea // Lithology and Mineral Resources. 2014. V. 49, Iss. 6. P. 433–460. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0024490214060078>.
8. Новиков М. А. К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 1/2. С. 280–288. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-280-288>.
9. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). Сыктывкар : Геопринт, 2011. 740 с.
10. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry / eds.: H. D. Holland, K. K. Turekian. Elsevier Ltd, 2003. V. 3. The Crust. P. 1–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4>.
11. Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция = The continental crust: its composition and evolution. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks / пер. с англ. ; под ред. Л. С. Бородина. М. : Мир, 1988. 384 с.
12. Cullers R. L. The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. // Chemical Geology. 1995. V. 123, Iss. 1–4. P. 107–131. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00050-V](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00050-V).
13. Интерпретация геохимических данных / Е. В. Складов и др.; под ред. Е. В. Складова. М. : Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
14. Шакиров Р. Б., Сорочинская А. В., Обжиров А. И. Газогеохимические аномалии в осадках Восточно-Сибирского моря // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2013. № 1, вып. 21. С. 98–110.
15. Яшин Д. С. Голоценовый седиментогенез арктических морей России // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона : сб. науч. тр. / под ред. Г. П. Аветисова, Ю. Е. Погребницкого. СПб. : ВНИИОкеангеология, 2000. Вып. 3. С. 57–67.
16. Лисицын А. П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новый подход к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 1. С. 18–60.
17. Миронов Е. У., Зубакин Г. К., Лебедев А. А., Тюряков А. Б. Особенности распределения ледяного покрова в Печорском море и оценка выноса Карских льдов // Освоение шельфа арктических морей России : тр. 3-й междунар. конф. "Освоение шельфа арктических морей России" : [в 2 ч.], Санкт-Петербург, 23–26 сентября 1997 г. СПб. : ЦНИИ им. Крылова, 1998. Ч. 2. С. 53–56.
18. Шевченко В. П., Маслов А. В., Штайн Р. Распределение ряда редких и рассеянных элементов в осадочном материале, переносимом дрейфующими льдами в районе плато Ермак, Северный Ледовитый океан // Океанология. 2017. Т. 57, № 6. С. 949–959. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0030157417060090>.
19. Максимов В. М., Тупышев М. К., Пронюшкина С. М., Кульпин Л. Г. Некоторые проблемы экологической и промышленной безопасности природно-техногенных морских объектов при освоении шельфа Арктики // Арктика: экология и экономика. 2014. № 4 (16). С. 60–67.

References

1. Pechorskoye more. Sistemnyye issledovaniya [The Pechora Sea: integrated research] : (Gidrofizika, gidrologiya, optika, biologiya, khimiya, geologiya, ekologiya, sotsio-ekon. problemy) / pod red. Ye. A. Romankevicha, A. P. Lisitsyna, M. Ye. Vinogradova. M. : More, 2003. 502 p.
2. Pavlidis Yu. A., Nikiforov S. L., Ogorodov S. A., Tarasov G. A. The Pechora Sea: Past, recent, and future // Oceanology. 2007. V. 47, Iss. 6. P. 865–876. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0001437007060112>.
3. Ogorodov S. A. Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya uязvimost' beregovoy zony Varandeyского neftegazonosного rayona [Nature management problems and ecological vulnerability of

a coastal zone in the Varandey oil-gas bearing region] // Problemy razvitiya toplivno-energeticheskogo kompleksa: ekonomika, politika, istoriya : sb. dokl. i soobshch. Vtoroy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Moskva, 25 aprelya 2001 g. M. : Ros. gos. gumanitar. un-t (RGU), 2001. P. 111–114.

4. Gurevich V. I. Sovremennyy sedimentogenez i geoekologiya Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Yevrazii [Recent sedimentogenesis and environment on the Western-Arctic shelf of Eurasia]. M. : Nauchnyy mir, 2002. 135 p.

5. Baas-Bekking L. G., Kaplan I. R., Mur D. Predely kolebaniy rN i oksislitel'no-vosstanovitel'nykh potentsialov prirodnykh vod [Limits of pH fluctuations and redox potentials of natural waters] // Geokhimiya litogeneza : sb. st. / pod red. A. B. Ronova. M. : Izd-vo inostr. lit., 1963. P. 11–84.

6. Astakhov A. S., Rudzyan Van, Kreyn K., Ivanov M. V., Gao Ayguo. Litokhimicheskaya tipizatsiya obstanovok polyarnogo osadkonakopleniya (Chukotskoye more) metodami mnogokomponentnogo statisticheskogo analiza [Lithochemical typing of polar sedimentation (the Chukchi Sea) using the multicomponent methods of statistical analysis] // Geokhimiya. 2013. N 4. P. 303–325. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0016752513020027>.

7. Maslov A. V., Shevchenko V. P., Podkovyrov V. N., Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P. [et al.]. Specific features of the distribution of trace and rare earth elements in recent bottom sediments in the lower course of the Severnaya Dvina River and White Sea // Lithology and Mineral Resources. 2014. V. 49, Iss. 6. P. 433–460. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0024490214060078>.

8. Novikov M. A. K voprosu o fonovykh znacheniyakh urovney sodержaniya tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh Barentseva morya [On the background values of heavy metal content in bottom sediments of the Barents Sea] // Vestnik MGTU. 2017. V. 20, N 1/2. P. 280–288. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-1/2-280-288>.

9. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Geokhimicheskiye indikatory litogeneza (litologicheskaya geokhimiya) [Basics of lithochemistry]. Syktyvkar : Geoprint, 2011. 740 p.

10. Rudnick R. L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry / eds.: H. D. Holland, K. K. Turekian. Elsevier Ltd, 2003. V. 3. The Crust. P. 1–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4>.

11. Teylor S. R., Mak-Lennan S. M. Kontinental'naya kora: yeye sostav i evolyutsiya [The continental crust: its composition and evolution]. An Examination of the Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks / per. s angl. ; pod red. L. S. Borodina. M. : Mir, 1988. 384 p.

12. Cullers R. L. The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U.S.A. // Chemical Geology. 1995. V. 123, Iss. 1–4. P. 107–131. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00050-V](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00050-V).

13. Interpretatsiya geokhimicheskikh dannyykh [Interpretation of geochemical data] / Ye. V. Sklyarov i dr.; pod red. Ye. V. Sklyarova. M. : Intermet Inzhiniring, 2001. 288 p.

14. Shakirov R. B., Sorochinskaya A. V., Obzhurov A. I. Gazogeokhimicheskiye anomalii v osadkakh Vostochno-Sibirskogo morya [Gasgeochemical anomalies in the sediments of the East-Siberian Sea] // Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle. 2013. N 1, vyp. 21. P. 98–110.

15. Yashin D. S. Golotsenovyy sedimentogenez arkticheskikh morey Rossii [Holocene sedimentogenesis of the Arctic seas of Russia] // Geologo-geofizicheskiye kharakteristiki litosfery Arkticheskogo regiona : sb. nauch. tr. / pod red. G. P. Avetisova, YU. Ye. Pogrebitskogo. SPb. : VNIIOkeangeologiya, 2000. Vyp. 3. P. 57–67.

16. Lisitsyn A. P. Novyy tip sedimentogeneza v Arktike – ledovyy morskoy, novyy podkhod k issledovaniyu protsessov [Marine ice-rafting as a new type of sedimentogenesis in the arctic and novel approaches to studying sedimentary processes] // Geologiya i geofizika. 2010. V. 51, N 1. P. 18–60.

17. Mironov Ye. U., Zubakin G. K., Lebedev A. A., Tyuryakov A. B. Osobennosti raspredeleniya ledyanogo pokrova v Pechorskom more i otsenka vynosa Karskikh l'dov [The distribution of the ice coverage in the Pechora Sea and the assessment of the Kara ice removal] // Osvoyeniye shel'fa arkticheskikh morey Rossii : tr. 3-y mezhdunar. konf. "Osvoyeniye shel'fa arkticheskikh morey Rossii" : [v 2 ch.], Sankt-Peterburg, 23–26 sentyabrya 1997 g. SPb. : TSNII im. Krylova, 1998. Ch. 2. P. 53–56.

18. Shevchenko V. P., Maslov A. V., Shtayn R. Raspredeleniye ryada redkikh i rasseyannykh elementov v osadochnom materiale, perenosimom dreyfuyushchimi l'dami v rayone plato Yermak, Severnyy Ledovityy okean [Distribution of some trace elements in the ice-rafted sediments in the area of Yermak plateau, the Arctic ocean] // Okeanologiya. 2017. V. 57, N 6. P. 949–959. DOI: <https://doi.org/10.7868/s0030157417060090>.

19. Maksimov V. M., Tupysev M. K., Pronyushkina S. M., Kul'pin L. G. Nekotoryye problemy ekologicheskoy i promyshlennoy bezopasnosti prirodno-tekhnogennykh morskikh ob'yektov pri osvoyenii shel'fa Arktiki [The problems of environmental and industrial safety of natural and man-made marine facilities during development of the Arctic Shelf] // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2014. N 4 (16). P. 60–67.

Сведения об авторах

Новиков Михаил Аркадьевич – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), вед. научный сотрудник, канд. биол. наук; e-mail: mnovik@pinro.ru

Novikov M. A. – 6, Academician Knipovich Str., Murmansk, Russia, 183038; Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Leading Researcher, Cand. of Biol. Sci.; e-mail: mnovik@pinro.ru

Титов Олег Владимирович – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), зам. директора по научной работе, д-р геогр. наук; e-mail: titov@pinro.ru

Titov O. V. – 6, Academician Knipovich Str., Murmansk, Russia, 183038; Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Deputy Director for Research, Dr of Geogr. Sci.; e-mail: titov@pinro.ru

Жилин Андрей Юрьевич – ул. Академика Книповича, 6, г. Мурманск, Россия, 183038; Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО), зав. лабораторией, канд. хим. наук; e-mail: zhilin@pinro.ru

Zhilin A. Yu. – 6, Academician Knipovich Str., Murmansk, Russia, 183038; Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO), Head of Laboratory, Cand. of Chem. Sci.; e-mail: zhilin@pinro.ru

M. A. Novikov, O. V. Titov, A. Yu. Zhilin

Metal content in bottom sediments of the central part of the Pechora Sea in the current period

Based on the data from the marine researches of Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO) carried out in the period of 2010–2015, the content of some metals in bottom sediments of the central part of the Pechora Sea has been analyzed at 99 stations. The particle size distribution and pH of the surface layer of sediments have been investigated. No interannual changes in the studied parameters have been revealed. According to the studies conducted, the predominant form of bottom sediments is fine sand, occasionally sandy loam has been found. Comparison of the average relative content of the number of studied trace elements in the Pechora Sea bottom sediments with those ones of the White Sea and the Upper Continental Crust (UCC) standard has not revealed any fundamental differences. It has been shown that Pb and Cd content is the most variable in the bottom sediments. The median values of the concentration factors of all the studied trace elements in the Pechora Sea sediments, normalized by UCC, are noticeably less than 1. The diagrams of the position of the relative content points of the studied elements pairs in the Pechora Sea sediments have been graphed and analyzed. These diagrams have been compared with those ones for the corresponding pairs of elements in the sediments of the Chukchi and East-Siberian Seas and certain differences have been revealed that are most noticeable with respect to the Pechora and East-Siberian Seas. The relative similarity of the composition of the Pechora Sea to the Chukchi Sea bottom sediments has been found. The data on statistical processing of the average contents of all the studied metals in the bottom sediments are given. No noticeable differences from the results of previous studies in the Pechora Sea have been found. Correlation analysis of the content of trace elements has been performed. Analysis of the data presented has not revealed anthropogenic contamination in the bottom sediments of the Pechora Sea with heavy metals; as a result, background levels for the Pechora Sea bottom sediments have been recommended for Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd and Hg.

Key words: Pechora Sea, bottom sediments, geochemistry, elemental composition, heavy metals

Article info: received 09.11.2018; received in revised 05.03.2019