

К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря

На основе многолетних данных рассмотрена проблема оценки фоновых уровней содержания ряда тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях (ДО) Баренцева моря. С целью оценки современного состояния геохимического фона проведено сравнение содержания ТМ в ДО Баренцева и Восточно-Сибирского морей. Для решения задачи отделения естественного природного фона от техногенной составляющей использовали методы математической статистики и геопространственного анализа. Картографирование, включая геостатистический анализ, выполняли в среде ГИС-приложения Arcview 3.2 с применением специального подхода. В качестве базовой карты-подложки использована батиметрическая карта Баренцева моря, выполненная на основе собственных данных ПИПРО. Обработаны данные по 559 станциям в Баренцевом море и прилегающих акваториях, полученные в период с 1998 по 2015 гг. В результате исследований предложены фоновые значения содержания никеля, меди, хрома, цинка, свинца и ртути в ДО Баренцева моря. Выполнено сравнение результатов разных методических подходов к оценке фоновых значений: предложенного в настоящем исследовании и норвежских специалистов. Показано, что уровни содержания Ni и Cu в ДО Баренцева моря позволяют говорить о существовании региональной отрицательной геохимической аномалии по этим металлам. Представлена карта распределения контрастных геохимических аномалий изученных ТМ на акватории Баренцева моря. Сделан вывод об устойчивом техногенном загрязнении ДО прибрежной зоны Западного Мурмана и района выхода из Кольского залива. Происхождение других выявленных геохимических аномалий требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: Баренцево море, донные отложения, тяжелые металлы, геохимический фон.

Введение

Основными источниками поступления взвешенных веществ в Баренцево море являются: терригенный (речной) сток, трансграничный атмосферный перенос в виде аэрозолей, поступление из Западной Европы с водами Норвежского течения, перенос дрейфующими льдами и др.

Микроэлементный состав донных отложений (ДО) Баренцева и других морей российской Арктики в основном изучается в связи с решением задачи выявления и оценки уровня техногенного загрязнения. Ключевым моментом при анализе содержания, например тяжелых металлов (ТМ), является отделение антропогенной составляющей от фоновых значений. Фоновые уровни содержания химических элементов в ДО неоднозначны, т. к. не существует четких критериев их определения. Часто в качестве фоновых уровней – геохимического фона – применяются величины кларков микроэлементов [1]. Иногда используют данные региональных геохимических исследований. Например, в составе керна ДО исследуют слой осадка, сформировавшегося в доиндустриальный период. В результате возникают проблемные моменты в оперировании понятиями глобального и регионального геохимического фона. Региональный фон может характеризоваться наличием стабильно повышенного или пониженного содержания одного или нескольких химических элементов, регистрируемого на значительной территории. Такое явление, согласно ГОСТу 28492–90¹, принято называть геохимической аномалией. Исходя из известных соображений, региональный фон в отношении микроэлементного состава морских ДО можно связывать, в частности, с результатом деятельности биоты, преимущественно одноклеточных организмов, в том или ином районе Мирового океана. Впрочем, вклад этой биогенной составляющей в осадконакопление, по мнению Н. М. Страхова, относительно невелик – 6–12 %, причем в зоне шельфа он минимален [2]. Региональный фон следует отделять от техногенной геохимической аномалии, которая может возникать вследствие антропогенного загрязнения. Тем не менее необходимо помнить, что региональная антропогенная (техногенная) составляющая фонового содержания ТМ в морских ДО может формироваться при непосредственном участии гидробионтов. При определении фоновых значений микроэлементов отдельно следует рассматривать узкую прибрежную полосу моря в местах впадения рек, несущих загрязненные воды. В этом случае зона загрязнения ДО будет ограничиваться в основном областью маргинального фильтра и в качестве регионального фона рассматриваться не должна. Известно, что устьевые области (области маргинальных фильтров), занимающие менее 10 % поверхности океана и менее 0,5 % по объему, забирают более 90 % осадочного вещества, металлов и солей, поступающих с суши [3]. Таким образом, поиск региональной компоненты глобального геохимического фона вкпе с геохимическими аномалиями следует начинать со сравнения участков арктического шельфа, отстоящих друг от друга на значительном расстоянии.

¹ ГОСТ 28492–90. Геохимические методы поиска твердых полезных ископаемых. Термины и определения. М., 1990. 6 с.

Основная задача настоящего исследования – методами географического и статистического анализов установить региональные фоновые уровни содержания ряда тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря.

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 морских экспедициях по исследованию состояния морских биологических ресурсов и среды их обитания. Отбирался поверхностный слой осадка с использованием дночерпателя Ван Вина. Всего за период с 1998 по 2015 гг. включительно было обработано 433 станции на содержание в ДО ртути и 559 станций на содержание никеля, меди, цинка, хрома и свинца. Уровни содержания металлов в донных отложениях Баренцева моря определялись в аккредитованной лаборатории прикладной экологии и токсикологии ПИНРО методом атомно-абсорбционной спектроскопии в соответствии с методическим руководством². Полученные значения содержания ТМ выражали в мкг/г сухой массы осадка.

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 Баренцева моря по данным за период с 1998 по 2015 гг. включительно.

В целях пространственного анализа данных выполняли комплексную карту-схему распределения высоких уровней (верхний диапазон значений) содержания металлов в ДО Баренцева моря. Под высокими понимали уровни содержания ТМ, превышающие фоновые показатели. В качестве региональных фоновых значений применяли шкалу, предложенную Норвежским государственным агентством по контролю загрязнения окружающей среды (Statens forurensningstilyn, SFT) для прибрежной зоны Норвежского моря. Выбор фоновых значений норвежскими исследователями основывался на значениях содержания металлов в "доиндустриальных" слоях пробы ДО [4].

Картографирование, включая геостатистический анализ, выполняли в среде ГИС-приложения Arcview 3.2 с применением специального подхода. При оформлении конечной карты все данные, кроме группы значений, превышающих фоновые показатели, отбрасывали. Указанный подход использовался нами, с одной стороны, для одновременного отображения данных по всем ТМ на карте, а с другой – для удаления лишней, несущественной информации. В качестве базовой карты-подложки использована батиметрическая карта Баренцева моря, выполненная на основе собственных данных ПИНРО.

Результаты и обсуждение

На первом этапе решения основной задачи нашего исследования была предпринята попытка оценить: является ли уровень присутствия ряда ТМ в ДО уникальным для Баренцева моря, и в какой степени наблюдаемое их содержание характеризует естественный геохимический фон морей российской Арктики. Для этого проведен статистический анализ собственных данных ФГБНУ "ПИНРО" по содержанию ряда ТМ в ДО Баренцева моря и опубликованных аналогичных данных по Восточно-Сибирскому и Чукотскому морям. Данные ПИНРО представляют собой результаты аналитических исследований проб ДО, отобранных на всей акватории Баренцева моря. Данные по Восточно-Сибирскому морю – результат исследований Тихоокеанского океанологического института им. Ильичева ДВО РАН совместно с ФГУНПП "СЕВМОРГЕО" на профиле, выполненном в восточной части моря. Профиль выполнялся в 2008 г. в направлении с юга на север и имел протяженность 550 км [5]. Данные по Чукотскому морю получены в ходе съемок, выполненных под эгидой того же Тихоокеанского океанологического института и Национального управления по океанам и атмосфере (США) в период с 2002 по 2006 гг. [6]. Идея сравнения состава ДО Баренцева и Восточно-Сибирского морей ранее уже выдвигалась в научной литературе, но так и не получила практической реализации [7]. Результаты сравнения средних значений содержания ТМ в ДО представлены в табл. 1. Было установлено весьма высокое сходство в параметрах содержания трех из пяти изученных металлов – Ni, Cu и Pb в ДО Баренцева и Восточно-Сибирского морей. Заметные отличия в средних значениях отмечены для Cr и Zn. Содержание ТМ в ДО Чукотского моря также не слишком сильно отличались от такового в двух вышеназванных.

Аналогичные значения среднего содержания перечисленных ТМ в ДО с относительно малыми величинами стандартных отклонений отмечены и для моря Лаптевых³. Среднее содержание Zn в ДО моря Лаптевых – 92 мкг/г сухой массы – занимает промежуточное положение между таковым в Баренцевом и Восточно-Сибирском морях.

² 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.

³ AMAP Assessment 2002: Human Health in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo: Nørhaven Book, 2003. 137 p.

Таблица 1. Статистические показатели содержания тяжелых металлов в ДО некоторых арктических морей, мкг/г сухой массы. Числитель – среднее арифметическое, знаменатель – медиана
 Table 1. Statistical indicators of heavy metals in sediments of some Arctic seas, $\mu\text{g/g}$ of dry weight.
 The numerator – the arithmetic mean, the denominator – the median

Объект	Cu	Zn	Ni	Cr	Pb
Баренцево море ($n = 559$)	15,37/14,70	62,10/57,50	29,42/30,73	53,58/45,70	16,00/16,10
Восточно-Сибирское море ($n = 25$)	18,70/17,5	109,5/106,3	33,20/29,23	69,81/72,94	15,92/16,23
Чукотское море ($n = 48$)	20,98/19,0	88,83/89,0	26,44/20,0	64,15/64,0	8,69/9,0

Содержание Zn, Cr и Pb в ДО Баренцева моря приблизительно равно их кларкам в литосфере, составляющим 83, 83 и 16 мкг/г соответственно [1]. Содержание Cu и Ni заметно ниже кларков в 47 и 58 мкг/г соответственно, что характерно и для ДО Баренцева, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, а также моря Лаптевых.

Для обоих сравниваемых нами массивов данных характерен высокий уровень корреляции рассматриваемых ТМ между собой в большинстве сочетаний. Статистический анализ уровней ТМ в исследованных пробах ДО Баренцева моря показал, что распределение содержания в ДО Ni, Cu и Pb соответствует нормальному закону (по критерию Колмогорова – Смирнова). Распределение содержания Cr и Zn в ДО Баренцева моря близко к нормальному (логнормальное). Авторами также отмечено, что распределение содержания всех указанных ТМ в пробах Восточно-Сибирского моря подчиняется нормальному закону. Нормальный тип распределения содержания микроэлементов в ДО арктических морей указывает на то, что оно формируется под влиянием множества относительно слабых и примерно равноценных (рассеянных) факторов, в числе которых, в принципе, может присутствовать и фактор глобального техногенного фона.

Рассматривая отмеченное сходство в содержании ТМ в ДО Восточно-Сибирского и Баренцева морей, следует помнить, что они отдалены друг от друга на тысячи километров. Первое относится к бассейну Северного Ледовитого океана и имеет гидрологический режим, весьма отличный от гидрологического режима Баренцева моря. В Восточно-Сибирском море резко доминирует приток вод из Центрального Арктического бассейна, в то время как в Баренцевом – из Атлантики. В Баренцевом море величина речного стока относительно невелика и составляет порядка 215 км³/год, в то время как в Восточно-Сибирском составляет 250 км³/год. Однако объем вод Баренцева моря в 6,5 раз превышает объем Восточно-Сибирского [8]. Особенно заметно влияние речного стока в восточной части Восточно-Сибирского моря. Восточно-Сибирское море почти круглый год покрыто льдом, а Баренцево море в последнее десятилетие практически круглогодично не замерзает на большей части акватории. Объединяет эти моря преобладающий тип донных осадков: на исследованном профиле Восточно-Сибирского моря отмечается алеврит пелитовый с включением алеврита псаммитового [5], что соответствует преобладающему типу осадков Баренцева моря [9].

Исходя из сказанного выше, можно предположить, что ситуация с уровнем содержания ТМ в ДО Баренцева моря характеризует преимущественно естественный геохимический фон, как впрочем и Восточно-Сибирского, Чукотского морей и моря Лаптевых. Для того чтобы ответить на вопрос: насколько характеризует, мы сравнили наши данные с данными специалистов из Норвежского государственного агентства по контролю загрязнением окружающей среды для прибрежной зоны (SFT) Норвежского моря. Для прибрежной зоны Норвежского моря последними были рекомендованы контрольные уровни загрязнения ДО различными поллютантами, включающие также и фоновые значения [4]. Это единственные региональные фоновые величины, которыми мы в настоящее время располагаем. Выбор фоновых значений норвежскими исследователями основывался на уровнях содержания ТМ в подповерхностных "доиндустриальных" слоях пробы ДО. Сравнение полученных нами результатов по среднему содержанию ТМ в ДО Баренцева моря с фоновыми значениями, предложенными SFT, показано в табл. 2. Указанные выше нормальный и близкий к нормальному тип распределения уровней содержания ТМ в ДО Баренцева моря, а также большое количество выполненных станций позволяет применить стандартную описательную статистику для дополнительного анализа этих данных. Доверительный интервал на уровне 95 % рассчитывался как удвоенное значение стандартной (среднеквадратичной) ошибки среднего арифметического.

Как следует из табл. 2, вычисленные средние значения содержания ТМ с ДО Баренцева моря почти для всех изученных металлов, кроме Ni, были заметно ниже установленных фоновых значений для Норвежского моря. По Ni, согласно статистике, примерно на 48 % исследованных станций его содержание в ДО Баренцева моря было ниже примененной фоновой величины, а на 52 % – выше. Получается, что при использовании приведенных фоновых значений статистика для Ni очевидным образом не согласуется со статистикой по содержанию Cu, Zn и Pb в ДО Баренцева моря. Очевидно, что рассматриваемые фоновые значения не достаточно информативны при их использовании для выявления уровней техногенного загрязнения ДО Баренцева моря. Мы предприняли попытку на основе статистического подхода вычислить собственные фоновые значения для содержания изучаемых ТМ в ДО Баренцева моря.

Таблица 2. Результаты статистического анализа сравнения содержания ТМ в ДО Баренцева моря с известными фоновыми характеристиками: CO – величина стандартного отклонения
Table 2. The results of the statistical analysis of comparing the content of the heavy metals in the Barents Sea sediments with the known background characteristics: CO – standard deviation

Металл	Среднее значение содержания в ДО \pm CO, мкг/г	Доверительный интервал среднего значения (при 95 %)	Фоновый уровень, предложенный SFT [4], мкг/г	Доля значений ниже фонового уровня, %
Ni	29,42 \pm 14,18	28,22–30,62	< 30	47,9
Cu	15,37 \pm 7,61	14,73–16,01	< 35	98,8
Cr	53,58 \pm 35,81	50,55–56,61	< 70	65
Pb	16,00 \pm 7,61	15,36–16,64	< 30	95,6
Zn	62,10 \pm 35,25	59,12–65,08	< 150	98,8
Hg	0,058 \pm 0,076	0,051–0,065	< 0,15	95,2

Поскольку Ni и Cu в ДО Баренцева моря распределены по нормальному закону, а их среднее содержание заметно ниже величин кларков, то, очевидно, можно говорить о присутствии в осадках Баренцева моря аномального отрицательного геохимического поля (поля выноса). Исходя из общих соображений, для величин, распределенных нормально, аномальные значения должны располагаться за пределами среднего арифметического плюс–минус 2 или 3 сигмы (CO). Этот подход часто используется в литохимии [10]. Другие специалисты в качестве величины контрастной аномалии предлагают значение 95 перцентиля [9]. Последняя величина может быть предпочтительнее, т. к. не накладывает ограничений на характер распределения случайной величины. С учетом данных, представленных в табл. 2, мы предположили, что фоновые значения содержания перечисленных ТМ в ДО Баренцева моря должны отличаться от предложенных SFT для Норвежского моря. Для проверки выдвинутого предложения о необходимости установления собственных фоновых значений содержания ТМ в ДО Баренцева моря был применен географический метод с использованием ГИС-технологий.

На рис. 1 и 2 показано распределение величин CO на акватории Баренцева моря для содержания Ni и Cu в ДО. На картограммах цветом (оттенками серого) выделены только области высоких величин CO. Величины CO в пределах $-1-0+1$ выполнены прозрачным фоном, т. к. содержание Ni и Cu в этих пределах мало отличается от среднего значения.

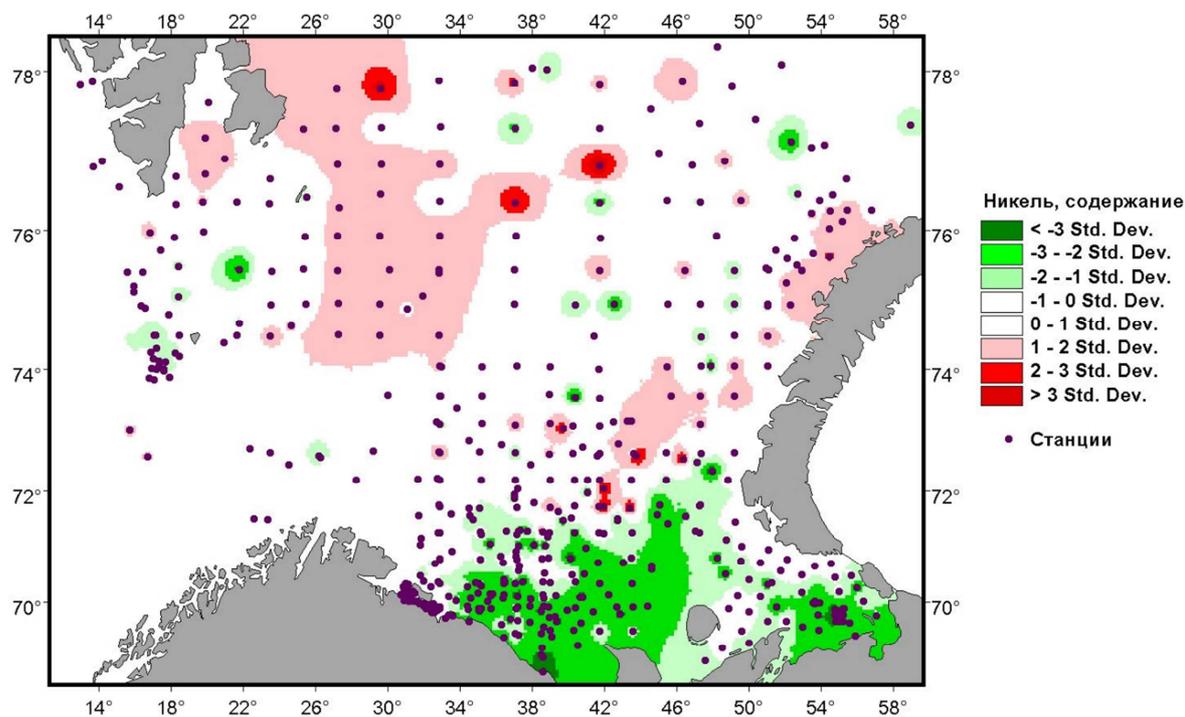


Рис. 1. Распределение значений содержания Ni в ДО Баренцева моря, заметно отличающихся от среднего арифметического (Std. Dev. – стандартное отклонение)
Fig. 1. The distribution of Ni content values which are significantly different from the arithmetic mean (Std. Dev. – Standard deviation) in the Barents Sea sediments

Из картограмм, представленных на рис. 1 и 2, следует, что максимальные концентрации Ni характерны для Центрального желоба и северных районов моря, а минимальные – для юго-восточного и западного районов. Для Cu характерно повышенное содержание в ДО узкой прибрежной зоны к западу от выхода из Кольского залива и в Центральном желобе, а пониженное – в основном на юго-востоке.

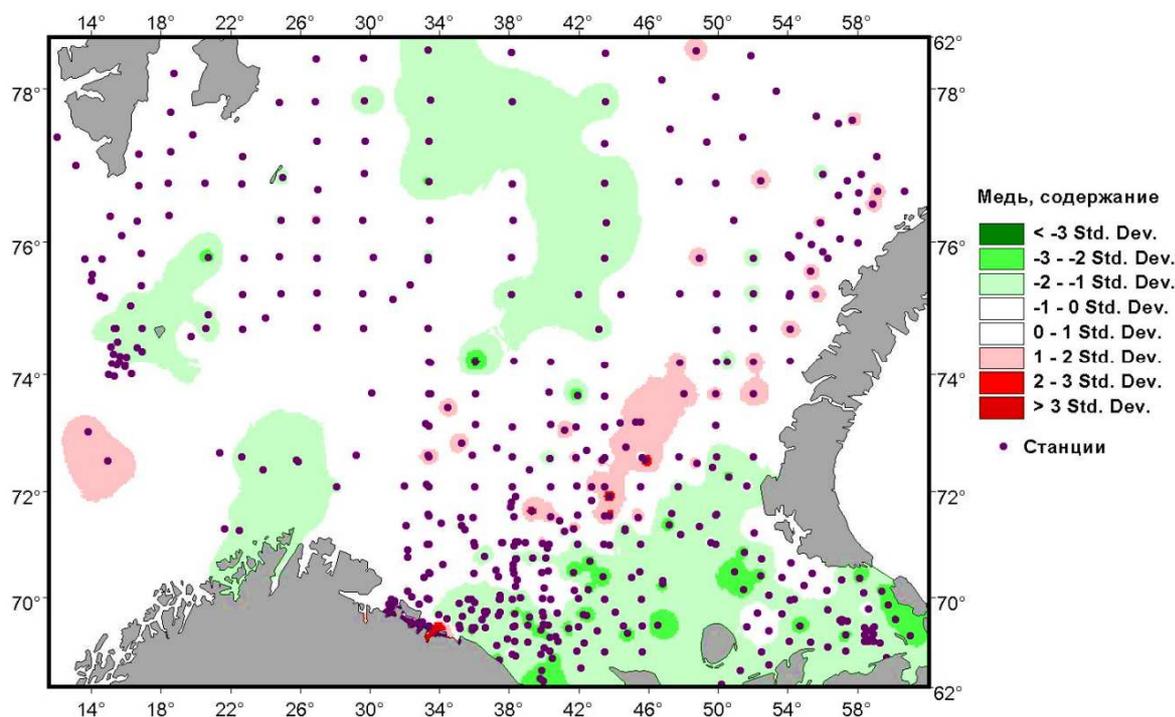


Рис. 2. Распределение значений содержания Cu в ДО Баренцева моря, заметно отличающихся от среднего арифметического (Std. Dev. – стандартное отклонение)

Fig. 2. The distribution of Cu content values which are significantly different from the arithmetic mean (Std. Dev. – Standard deviation) in the Barents Sea sediments

Области ДО, отмеченные на карте темным цветом, указывают на присутствие контрастных положительных и отрицательных аномалий содержания Ni в ДО, установленных вычислительными средствами Arcview 3.2 для случая нормального распределения исходных данных. Интересно, что на представленной карте можно достаточно четко проследить существование как минимум четырех аномальных геохимических полей (аномалий) содержания Ni в ДО. Однако мы не ставили перед собой задачу картирования геохимических полей содержания изученных ТМ в ДО Баренцева моря. Но на основании геопространственного анализа можно утверждать, что для получения содержательной информации о фоновом значении и признаках техногенного загрязнения исследуемых металлов следует использовать правило двух сигм: принять за фоновое значение величину суммы среднего значения содержания металла в ДО и двукратной величины стандартного отклонения (+ 2CO). Для данных по содержанию ТМ в ДО, не подчиняющихся нормальному закону, правильнее будет использовать в качестве критерия фоновой величины значения 97-го перцентиля (97-го квантиля). Полученные в итоге фоновые уровни содержания Ni, Cu, Cr, Pb, Zn и Hg представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета величины фоновых уровней содержания металлов в ДО Баренцева моря с использованием двух подходов (в скобках даны округленные значения)
Table 3. The results of calculating the amount of background levels of metals in the Barents Sea sediments with the use of two approaches (rounded values are given in brackets)

Металл	Фоновый уровень по критерию двух сигм, мкг/г сухой массы	Доля значений ниже фоновой величины, % (по критерию 2 сигм)	Фоновый уровень на основе значения 97 перцентиля, мкг/г сухой массы
Ni	< 57,8 (58)	98,0	< 52,3 (52)
Cu	< 30,6 (31)	97,8	< 28,3 (28)
Cr	–		< 116
Pb	< 31,2 (31)	97,0	< 31,1 (31)
Zn	–		< 111,8 (112)
Hg	–		< 0,15

Как видно из сравнения данных табл. 2 и 3, фоновые значения для Pb и Hg практически совпадают при нашем и норвежском подходах. В случае Cu они достаточно близки. Принципиально новые значения выведены нами для Ni, Cr и Zn: в первых двух случаях они заметно больше, в третьем – меньше. При практическом применении вышеприведенных фоновых значений можно использовать значения, вычисленные как первым, так и вторым способами. Учитывая, что обычно исследователи оперируют рабочими базами данных без выполнения статистических проверок на нормальность распределения случайных величин, целесообразно ориентироваться на округленную величину фонового уровня, установленного с использованием величины 97 перцентиля (см. табл. 3). На основании последнего показателя мы предприняли попытку проиллюстрировать общую ситуацию с превышением фоновых значений исследованных металлов в Баренцевом море.

На рис. 3 представлена карта-схема распределения содержания исследованных ТМ в ДО Баренцева моря в количествах, превышающих предложенные нами фоновые уровни. Эти уровни можно рассматривать как положительные геохимические аномалии [9]. Как следует из карты, повышенное содержание Ni, Cr и Pb в ДО встречается на значительной акватории Баренцева моря, но имеет районы локализации, связанные с особенностями рельефа дна. Повышенное количество ТМ отмечено в ДО Центрального и Западно-Новоземельского желобов, желоба Персея (Pb), а также в прибрежной зоне Западного Мурмана (на запад от выхода из Кольского залива до Варангер-фиорда). Ранее нами был сделан вывод о существовании стойкого техногенного загрязнения прибрежной зоны Западного Мурмана Cu, Ni, Zn и Pb [11]. Их содержание значительно превышает фоновые значения на множестве участков морского дна. Указанную зону осадков следует рассматривать как уверенную техногенную геохимическую аномалию. Существование аномалий содержания ТМ в других районах моря нуждается в дополнительных исследованиях. Это может быть поступление металлов, например Pb и Hg, в результате дальнего трансграничного переноса в виде аэрозолей. По некоторым данным [12], вклад аэрозолей, переносимых атмосферными потоками в осадконакопление Северного Ледовитого океана, составляет около 10 %, что близко к вкладу речного взвешенного вещества за пределами маргинальных фильтров рек [12]. Не следует сбрасывать со счетов и возможность обогащения придонных вод моря ТМ в результате разгрузки на дне эндогенных газово-флюидных источников, сипов и т. п. [5; 6; 13].

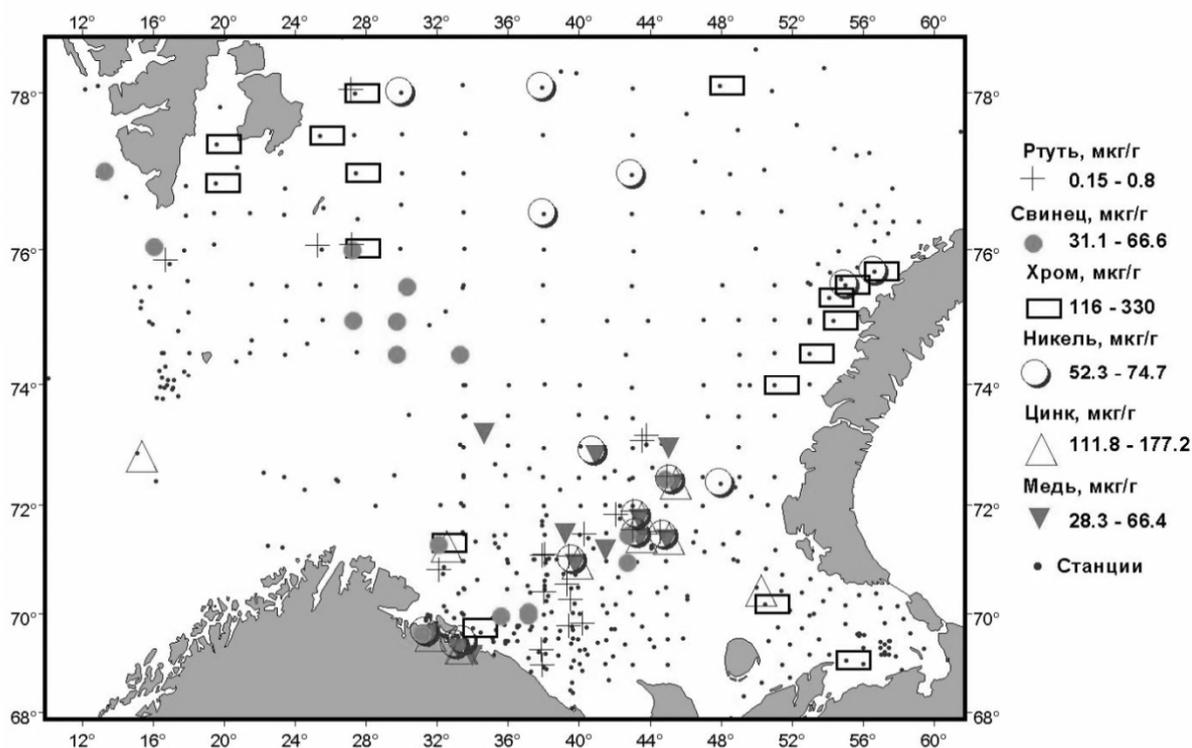


Рис. 3. Уровни содержания различных тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря, превышающие фоновые значения (геохимические аномалии)

Fig. 3. Levels of various heavy metals' content in the sediments of the Barents Sea, exceeding the background values (geochemical anomalies)

Как следует из карты, представленной на рис. 3, характер распределения высоких уровней содержания исследуемых металлов в ДО Баренцева моря свидетельствует в пользу правильности примененного нами комплексного подхода к оценке фоновых значений. Доля положительных аномалий не превышает 3 % значений, что при увязке с площадью исследованной акватории при нормальном распределении значений содержания

металлов в ДО соответствует примерно 3 % морского дна. Долю отрицательных аномалий мы не рассматривали, т. к. их присутствие не имеет значения в контексте загрязнения окружающей среды металлами.

Заключение

Проведенное сравнение содержаний ряда ТМ в ДО Баренцева и Восточно-Сибирского морей выявило высокий уровень их схождения. Это свидетельствует о том, что состав ДО арктического шельфа РФ характеризует единый природный геохимический фон. В результате проделанной работы с использованием методов математической и геостатистики, а также пространственного анализа рекомендованы новые фоновые значения содержания Ni, Cu, Cr, Pb, Zn и Hg в ДО Баренцева моря. Рекомендуемые фоновые величины содержания ряда ТМ в донных отложениях снимают многие вопросы относительно возможных спекуляций на тему о явных признаках техногенного загрязнения ДО Баренцева моря Ni и Cr. Считавшиеся ранее высокими содержания указанных металлов следует отнести на счет недостаточной применимости фоновых значений, предложенных норвежскими исследователями, для Баренцева моря. Обнаруженные нами в ДО Баренцева моря отрицательные геохимические аномалии Ni и Cu, а также общий характер распределения контрастных аномалий всех рассмотренных ТМ, позволяют сделать вывод о существовании признаков устойчивого антропогенного загрязнения ДО только узкой прибрежной полосы Западного Мурмана и района выхода из Кольского залива. В остальных случаях мы, по всей видимости, имеем дело с региональным геохимическим фоном. Отмеченный ряд контрастных аномалий всех исследованных ТМ в некоторых желобах (впадинах) Баренцева моря пока не имеет однозначного объяснения. Использование результатов новейших исследований и рекомендованные нами фоновые уровни содержания Ni, Cu, Cr, Pb, Zn и Hg, вероятно, позволят в будущем выяснить: являются ли эти аномалии в остальных, кроме прибрежных, районах Баренцева моря природными или техногенными.

Благодарности

Автор выражает благодарность научному сотруднику Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича А. М. Лаптевой за неоценимую помощь при проведении лабораторных исследований и консультации.

Библиографический список

1. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
2. Химия океана : в 2 т. Т. 2 : Геохимия донных осадков / отв. ред. И. И. Волков. М. : Наука, 1979. 536 с.
3. Лисицын А. П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.
4. Bakke T., Breedveld G., Kællgvist T. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter // SFT Veiledning, 2007. 12 p. (in Norwegian)
5. 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.
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.
7. Павлидис Ю. А., Щербаков Ф. А. Современные донные осадки арктических морей Евразии // Океанология. 2000. Т. 40, № 1. С. 139–147.
8. Леин А. Ю. Исследование морей Российской Арктики: мыслим процессами // Природа. 2014. № 8. С. 11–19.
9. Гуревич В. И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии. М. : Науч. мир, 2002. 135 с.
10. Астахов А. С., Гусев Е. А., Колесник А. Н., Шакиров Р. Б. Условия накопления органического вещества и металлов в донных осадках Чукотского моря // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 9. С. 1348–1365.
11. Новиков М. А., Жилин А. Ю. Характер распределения тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря (по результатам статистического анализа) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. Вып. 29, № 1. С. 78–88.
12. Шевченко В. П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М. : Наука, 2006. 226 с.
13. Бондур В. Г., Кузнецова Т. В. Исследование естественных нефте- и газопроявлений на морской поверхности по космическим изображениям // Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. академика В. Г. Бондура. М. : Науч. мир, 2012. С. 272–288.

References

1. Vinogradov A. P. Srednee sodержanie himicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh gornyykh porod zemnoy kory [Average content of chemical elements in the primary types of eruption of crust rocks] // Geohimiya. 1962. N 7. P. 555–571.
2. Himiya okeana [Ocean Chemistry] : v 2 t. T. 2 : Geohimiya donnykh osadkov / otv. red. I. I. Volkov. M. : Nauka, 1979. 536 p.
3. Lisitsyn A. P. Marginalnyi filtr okeanov [Marginal filter of oceans] // Okeanologiya. 1994. V. 34, N 5. P. 735–747.
4. Bakke T., Breedveld G., Kællgvist T. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter // SFT Veiledning, 2007. 12 p. (in Norwegian)
5. Shakirov R. B., Sorochinskaya A. V., Obzhirov A. I. Gazogeochemicheskie 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.
6. Astahov A. S., Rudzyan Van, Kreyn K., Ivanov M. V., Gao Ayguo. Litohimicheskaya tipizatsiya obstanovok polyarnogo osadkonakopleniya (Chukotskoe more) metodami mnogokomponentnogo statisticheskogo analiza [Lithochemical typing of polar sedimentation (the Chukchi Sea) using the multicomponent methods of statistical analysis] // Geohimiya. 2013. N 4. P. 303–325.
7. Pavlidis Yu. A., Scherbakov F. A. Sovremennyye donnye osadki arkticheskikh morey Evrazii [Recent bottom sediments of the Eurasian Arctic Seas] // Okeanologiya. 2000. V. 40, N 1. P. 139–147.
8. Lein A. Yu. Issledovanie morey Rossiyskoy Arktiki: myslim protsessami [A study of the seas of the Russian Arctic: thought by processes] // Priroda. 2014. N 8. P. 11–19.
9. Gurevich V. I. Sovremennyyi sedimentogenez i geoekologiya Zapadno-Arkticheskogo shelfa Evrazii [Recent sedimentogenesis and environment on the Western-Arctic shelf of Eurasia]. M. : Nauch. mir, 2002. 135 p.
10. Astahov A. S., Gusev E. A., Kolesnik A. N., Shakirov R. B. Usloviya nakopleniya organicheskogo veschestva i metallov v donnykh osadkakh Chukotskogo morya [Conditions of the accumulation of organic matter and metals in the bottom sediments of the Chukchi Sea] // Geologiya i geofizika. 2013. V. 54, N 9. P. 1348–1365.
11. Novikov M. A., Zhilin A. Yu. Karakter raspredeleniya tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh Barentseva morya (po rezultatam statisticheskogo analiza) [Distribution of heavy metals in bottom sediments of the Barents Sea from the results of statistical analysis] // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2016. Vyp. 29, N 1. P. 78–88.
12. Shevchenko V. P. Vliyanie aerorozley na sredu i morskoe osadkonakoplenie v Arktike [The impact of aerosols on the environment and marine sedimentation in the Arctic]. M. : Nauka, 2006. 226 p.
13. Bondur V. G., Kuznetsova T. V. Issledovanie estestvennykh nefte- i gazoproyavleniy na morskoy poverhnosti po kosmicheskim izobrazheniyam [The study of natural oil and gas on the sea surface manifestations using space images] // Aerokosmicheskii monitoring ob'ektov neftegazovogo kompleksa / pod red. akademika V. G. Bondura. M. : Nauch. mir, 2012. P. 272–288.

Сведения об авторе

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

M. A. Novikov

On the background values of heavy metal content in bottom sediments of the Barents Sea

Based on the long-term data the background content in the number of heavy metals in bottom sediments of the Barents Sea has been estimated. For the purpose to estimate the up-to-date state of the geochemical background the contents of heavy metals in bottom sediments of the Barents and the East Siberian Seas have been compared. To solve the problem of separating the natural background from the anthropogenic constituent the methods of mathematical statistics and geospatial analysis have been used. Mapping including geostatistical analysis has been performed in GIS application Arcview 3.2 environment with the use of a special approach. As a base map the bathymetric map of the Barents Sea made on the basis of own PINRO data has been used. The data from 559 stations in the Barents Sea and adjacent areas received from 1998 to 2015 have been processed. As a result of researches, the background content of nickel, copper, chromium, zinc, lead, and mercury in bottom sediments of that region has been suggested. The results of using different methods to estimate the background values including the suggested and Norwegian ones have been compared. It has been shown that the content of Ni and Cu in bottom sediments of the Barents Sea allowed us to speak about the regional negative geochemical anomaly concerning these metals. The distribution of contrast geochemical anomalies of the studied heavy metals in the Barents Sea area has been mapped. The conclusion about steady anthropogenic pollution of bottom sediments in the Western Murman coastal zone and the Kola Gulf mouth has been made. The other revealed geochemical anomalies need to be studied in future.

Key words: Barents Sea, bottom sediments, heavy metals, geochemical background.