

УДК 550.84.094

Эн.Э. Асадулин<sup>1</sup>, А.Ю. Мирошников<sup>2</sup>**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗНОРОДНЫХ ТЕРРИГЕННЫХ ДОННЫХ ОСАДКОВ  
В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ**

Основной компонент донных осадков Карского моря – терригенный материал с огромных площадей водосбора крупнейших сибирских рек Обь и Енисей. Материал переносится преимущественно в форме взвесей и коллоидов и осаждается на геохимических барьерах река–море. На запад от п-ова Ямал часть Карского моря находится в стороне от главного направления речного сноса. Здесь более заметная роль в формировании донных осадков может принадлежать береговой абразии континента и арх. Новая Земля. Работа посвящена идентификации и группировке разнородных донных осадков западной части Карского моря на основании их геохимических особенностей. Установлено преобладание в осадках терригенного материала обско-либо смешанного обско-енисейского геохимического типа. Широкое площадное распространение такого материала может происходить за счет миграции над соленой морской водой линз распресненных вод от эстуариев Оби и Енисея и осаждения транспортируемого терригенного материала на латеральном солевом геохимическом барьере. Области накопления минерального вещества иного происхождения, в частности за счет береговой абразии, трассируются повышенным или пониженным относительно обско-енисейского геохимического фона содержанием отдельных элементов и имеют меньшее площадное распространение.

*Ключевые слова:* Карское море, донные осадки, наносы Оби и Енисея, терригенное вещество, геохимические барьеры, информативные химические элементы, геохимическая идентификация.

**Введение.** Карское море отличается от всех морей российской Арктики наибольшим поступлением с континента пресных вод и терригенного осадочного материала, которые приносятся в первую очередь гигантскими речными системами Оби и Енисея. Среднегодовая суммарная масса речных наносов, по данным многих исследователей, превышает 27 млн т. Почти на таком же уровне оценивается количество твердых осадков, попадающих в Карское море за счет температурного и волнового разрушения его берегов [Михайлов, 1997; Васильев и др., 2006]. Терригенный материал с водосборных площадей Оби и Енисея концентрируется преимущественно в их эстуариях и на прилегающих участках морского бассейна, где происходит смешение пресных речных вод с солеными морскими. Эстуарии и дельты рек А.П. Лисицын рассматривает как первый глобальный уровень лавинной седиментации или маргинальный фильтр [Лисицын, 1988]. По А.И. Перельману, это геохимический макробарьер [Перельман, 1989], а Е.М. Емельянов трактует такие пограничные области, как «геохимические барьерные зоны» (ГБЗ), в которых проявляется несколько барьеров, включая солевой [Емельянов, 1998].

Подавляющая часть нерастворенного терригенного материала и связанных с ним химических элементов переносится реками в дисперсной форме. Это взвеси (грубодисперсная система с размером частиц >0,5–1 мкм) и коллоиды (частицы размером <1–0,5 мкм). С точки зрения миграционных свойств главная особенность коллоидов – их противостоя-

ние седиментации в гравитационном поле. Поэтому для удаления материала из коллоидной дисперсной системы важно наличие геохимических барьеров, на которых может происходить коагуляция – укрупнение размеров частиц и их гравитационное осаждение. В ГБЗ Оби и Енисея задерживается основная масса терригенного материала, однако часть его все же проникает в открытое морское пространство и осаждается на большой площади шельфа в центральной и восточной частях Карского моря. Особое положение занимает район Карского моря на запад от п-ова Ямал. Здесь речной сток минимален, а поступающие через проливы Карские Ворота и Югорский Шар соленые воды из Баренцева моря формируют мощное Ямальское течение в северном и северо-восточном направлении. Соответственно, ведущую роль в поступлении терригенного материала на дно западной и юго-западной части Карского моря должна играть береговая абразия. Наиболее податливы разрушению песчано-глинистые берега п-ова Ямал, в меньшей степени – преимущественно скальные берега Новой Земли.

Тем не менее на западе Карского моря отмечается влияние стока Оби и Енисея, проявляющееся в гидрохимических особенностях морской воды, биологической продуктивности района и свойствах донных отложений [Розанов, 2015]. Один из феноменов Карского моря – приповерхностные линзы распресненных вод обско-и енисейского происхождения, которые проникают в акваторию между Новой Землей и Ямалом [Маккаев и др., 2010]. Площадь таких линз достигает нескольких сотен квад-

<sup>1</sup> Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии Российской Академии наук (ИГЕМ РАН), лаборатория радиогеографии и радиогеоэкологии, ст. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: aasad@inbox.ru

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии Российской Академии наук (ИГЕМ РАН), лаборатория радиогеографии и радиогеоэкологии, ст. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: alexey-miroshnikov@yandex.ru

ратных километров при мощности до 10 м. Граница распресненных вод с нижележащими солеными образует латеральный геохимический барьер, способствующий осаждению дисперсного материала. Авторы попытались установить по геохимическим данным наличие обской и енисейской терригенной составляющей в верхнем слое донных осадков в западной части Карского моря и оценить масштаб их распространения.

В начале 1990-х гг. в редкометальном отделении ИГЕМ РАН А.И. Перельман инициировал тематические исследования по геохимическому определению источников терригенного вещества и условий его накопления в морских сланцевых толщах палеозойского и более позднего возраста в связи с их редкометальной рудоносностью. В качестве характеризующих признаков геологических объектов использовались химически малоподвижные микроэлементы, способные сохранять информацию о материнских породах в процессе экзогенных преобразований. Помимо прикладного значения эти исследования должны были послужить развитию информационного аспекта анализа миграции [Перельман, 1989]. В тот же период были начаты работы по изучению состава современных речных и морских донных осадков с радиоэкологической точки зрения. При этом использован опыт обращения с геохимическими данными как носителями информации, уже полученный при изучении древних морских отложений. Работа авторов продолжается междисциплинарные исследования, которые координировал А.И. Перельман. Объект изучения – терригенные донные осадки Карского моря в его западной части между арх. Новая Земля и п-вом Ямал.

**Материалы и методы исследований.** Материалы получены при проведении ряда комплексных экспедиций на научно-исследовательском судне (НИС) ГЕОХИ РАН «Академик Борис Петров» в Карском море, Обской губе и Енисейском заливе. Подъем проб донных отложений осуществлялся на якорных станциях с помощью дночерпателя грейферного типа «Океан-0.25» и коробчатого пробоотборника (боксорера). Для изучения осадков в западной части Карского моря использованы данные экспедиции 1995 г., когда дночерпателем опробовался только верхний «активный» слой отложений, но при большом числе (более 50) станций наблюдения. Преимущество этого материала, полученного таким образом, состоит в том, что станции располагались не только по профилям, но и по площади (рис. 1, а), все пробы проанализированы в одном месте на множество элементов с преобладанием литофильной группы. Пробы помещали в чистую герметично закрывающуюся пластиковую банку и в лабораторных условиях обезвоживали в сушильном шкафу при температуре ~60 °С. Содержание элементов в пробах определяли методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в группе ядерно-физических методов анализа ИГЕМ РАН (руководитель А.Л. Керзин).

Наиболее информативны для установления происхождения осадочного материала – микроэлементы литофильной группы, которые мигрируют в нерастворенной форме в составе минеральных матриц дезинтегрированных горных пород, вторичных минералов кор выветривания, или будучи сорбированными на диспергированном материале. Среди агентов переноса в обской и енисейской воде преобладают глинистые минералы, гидроксиды железа и органические остатки. Геохимически инертная форма миграции характерна для многих элементов, но литофильная группа элементов лучше других сохраняет в экзогенных процессах концентрацию и взаимосвязи, унаследованные от материнских горных пород.

Осажденное на маргинальных фильтрах в эстуариях Оби и Енисея терригенное вещество в процессе длительного переноса от мест размыва многократно перемешивалось. Поэтому можно считать, что распределение концентрации геохимически более или менее инертных элементов в отложениях одинаковых фациальных обстановок эстуариев Оби и Енисея отражает обобщенные региональные геохимические профили водосборных площадей этих рек и имеет характерные отличия. В предыдущих работах на основе сопоставления представительных выборок проб донных осадков из эстуариев этих рек авторами выделены элементы, отличающиеся по среднему содержанию и корреляционным свойствам в обском и енисейском материале. Однако, если рассматривать концентрацию отдельных элементов в пробах или малочисленных выборках, геохимическое различие обского и енисейского материала будет не столь очевидным. При объединении информативных элементов по аналогии с применяемым в прикладной геохимии методом выделения аддитивных геохимических полей элементов-спутников оруденения можно получить пригодный для практического применения аддитивный геохимический критерий различия наносов обского и енисейского происхождения.

Такой бинарный классификатор был разработан следующим образом. Раздельно суммированы элементы, содержание которых выше в эстуарных осадках Оби, и элементы с более высокой концентрацией в эстуарии Енисея. Получили два аддитивных показателя, элементы которых коррелируют между собой и имеют повышенное содержание в обской либо в енисейской выборках ( $agi_1$  и  $agi_2$  соответственно):

$$agi_1 = 1/13(Rb+Cs+La+Ce+Nd+Sm+Eu+Yb+Lu+Hf+Ta+Th+U),$$

$$agi_2 = 1/4(CaO+Sc+Cr+Co).$$

Логарифм отношения этих показателей дает аддитивный геохимический критерий распознавания обских и енисейских терригенных отложений  $agt_{O/E}$  с величинами решений, симметрично распределенными относительно нуля:

$$agt_{O/E} = \ln(agi_1/agi_2).$$

Положительные величины логарифма свидетельствуют в пользу обского осадочного материала, отрицательные – в пользу енисейского. Значения, близкие

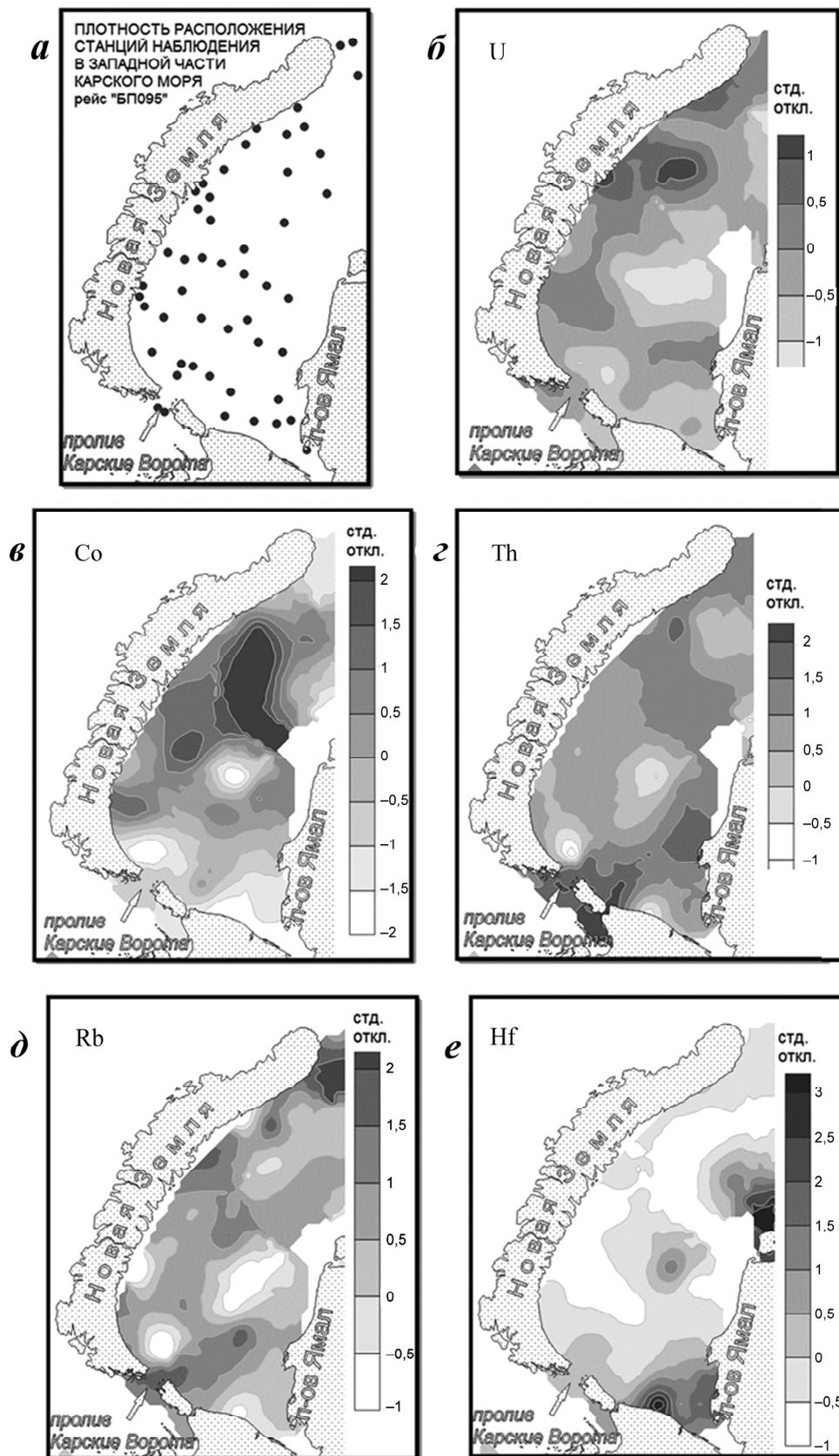


Рис. 1. План-схемы размещения станций наблюдения (а) и распределения химических элементов с проявленным группированием (б–е). Содержания элементов, преобразованные в стандартные отклонения от местного фона, показаны оттенками серого цвета

Fig. 1. Schemes showing (a) location of observational sites and (б–е) distribution of chemical elements and their groupings. Grey shading of different intensity corresponds to the content of elements converted into standard deviations from the local background values

к нулю, можно считать «отказом распознавания» либо предполагать перемешивание материала разного происхождения. Детальное описание разработки критерия с оценками вероятности ошибок, а также результаты его применения для центральной и восточной частей Карского моря приведены в публикациях авторов [Асадулин и др., 2013, 2015].

Необходимое условие для создания аддитивных формул – одинаковая размерность и одинаковая шкала измерений либо безразмерность составляющих частных признаков. Как известно, литосферные кларки химических элементов сильно отличаются в зависимости от порядкового номера элемента в периодической системе Менделеева (правило четности–нечетности Оддо–Гаркинса), т.е. кларки априори разномасштабны, что особенно ярко выражено в распространении редкоземельных элементов. Поэтому для многих операций с геохимическими данными наблюдаемые значения содержания элементов необходимо преобразовать в безразмерную форму – стандартизировать (выразить в долях стандартного отклонения разности между наблюдаемым значением и оценкой среднего) или нормировать на какие-либо условно-эталонные значения.

Для нормирования геохимических данных по осадочным породам с ведущей информационной ролью редкоземельных элементов принято использовать эталоны «постархейский австралийский сланец» (PAAS) или «северо-американский сланцевый композит» (NASC), что оправдано для терригенных морских и океанских отложений [Дубинин, 2006]. Авторами был выбран вариант NASC, рассчитанный по результатам нейтронно-активационного анализа и содержащий не только редкоземельные элементы [Gromet et al., 1984]. Для оценки изменчивости содержания отдельных элементов относительно локального фона Карского моря использована стандартизация измеренных содержаний.

Как уже отмечалось, разработанный ранее аддитивный геохимический критерий представляет собой бинарный классификатор, который в любом случае выдает решение либо «из Оби», либо «из Енисея». Наличие в осадках из западной части Карского моря существенных порций терригенного материала из иных источников сноса порождает проблемы при распознавании обской или енисейской составляющей отложений с помощью этого критерия. Поэтому для оценки степени сходства кривых на элементограммах частных проб с обским и енисейским геохимическими эталонами авторы дополнительно к аддитивному критерию использовали так называемое косинусное расстояние ( $\cos\theta$ ). Эта мера сходства, широко применяемая в кластерном и факторном анализе, вычисляется подобно коэффициенту корреляции и численно совпадает с ним при использовании стандартизированных данных [Дэвис, 1990]. Разница состоит в том, что наблюдения (пробы, эталоны, классы) и их признаки (химические элементы) меняются местами.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Анализ корреляционных связей химических компо-

нентов донных осадков из западной части Карского моря и сопоставление их с корреляционными матрицами по обскому и енисейскому материалу показал, что они достаточно высоко схожи. Во всех трех случаях наиболее выражена сильная положительная линейная корреляция большинства рассматриваемых микроэлементов с суммарным железом в форме  $Fe_2O_3$  (коэффициент корреляции  $r$  варьирует от +0,31 до +0,87 при 95%-ном уровне значимости 0,24). Соответственно, эти элементы связаны и между собой, что вполне объяснимо с точки зрения преобладающих форм их водной миграции, о чем упоминалось выше. Единственный элемент, для которого выявлена высокая значимая отрицательная корреляция с железом, – гафний:  $r = -0,67$ , при сходной величине  $r$  в эстуарии Оби ( $r = -0,61$ ) и отсутствии такой корреляции в эстуарии Енисея.

Естественно ожидать, что сильно коррелирующие с железом и между собой элементы должны иметь сходные вариации содержания по площади наблюдений. Однако для части элементов установлена некоторая собственная пространственная сгруппированность повышенного и пониженного содержания, различающаяся по месту положения (рис. 1, б–д). Содержание элементов здесь представлено в стандартизированном виде, т.е. в величинах стандартного отклонения от оценки геохимического фона донных осадков Карского моря. На схемах они выражены оттенками серого цвета. U и Co концентрируются примерно вдоль новоземельского побережья у одноименного желоба. Для Co (ярче) и Th (слабее) вырисовывается полоса, протягивающаяся поперек желоба от Новой Земли до п-ова Ямал. В целом распределение Th достаточно ровное, с небольшим повышением у пролива Карские Ворота и у Ямала вблизи Байдарацкой губы. Там же, на юге, а также недалеко от берегов северной части Новой Земли повышается содержание Rb. Высокая концентрация Hf локализована на самом юге Карского моря у Байдарацкой губы и особенно повышена у северной оконечности п-ова Ямал (рис. 1, е). Кроме того, для изученных элементов вырисовываются участки пониженных значений концентрации, протягивающиеся от пролива Карские Ворота в северо-восточном направлении.

По аддитивному геохимическому критерию почти все пробы с 50 наблюдательных станций в западной части Карского моря определены как «обские». Пять проб со станций со стороны новоземельского побережья можно интерпретировать как «неуверенно енисейские» или как смешанные. Две пробы почти у берега в северной части Новой Земли показали отчетливую енисейскую принадлежность, но этот результат оказался ошибочным, так как величины аддитивного критерия были искажены аномально высокими содержаниями Са, возможно, органического происхождения. Это побудило исключить СаО из аддитивной формулы при дальнейшем использовании.

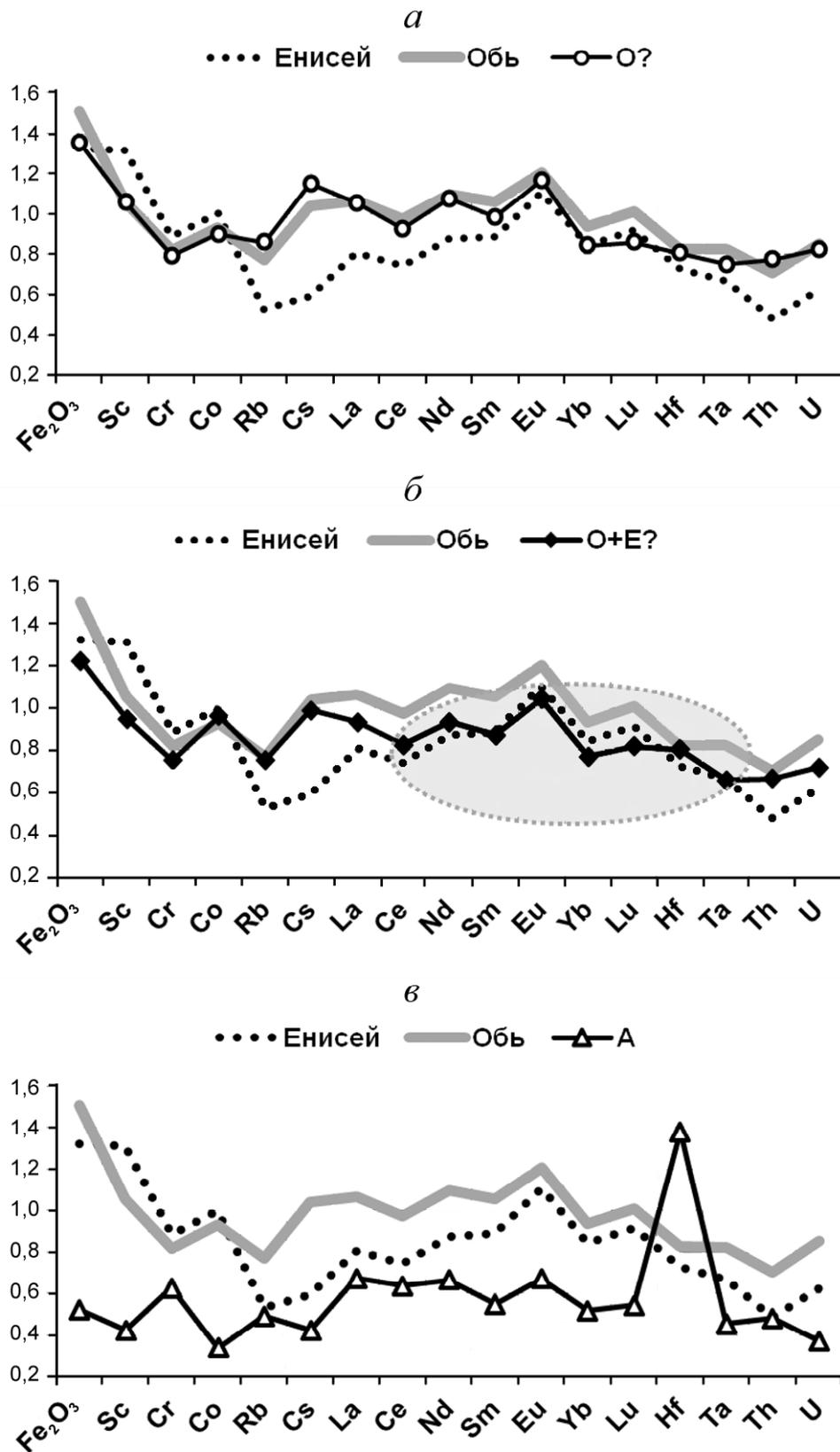


Рис. 2. Элементогаммы сопоставления разновидностей геохимических профилей донных осадков западной части Карского моря с эталонами для Оби и Енисея: *а* – осадки, похожие на обские, кривая «O?»; *б* – смешанный тип, кривая «O+E?», эллипсом отмечена часть кривой, соответствующая енисейскому эталону; *в* – аномальный по отношению к обскому и енисейскому эталонам тип осадков, кривая «A». По оси ординат – содержание элементов, нормированное на NASC

Fig. 2. Element plots displaying the correlation of diverse geochemical profiles of bottom sediments in the western Kara Sea with the Ob' and Yenisei standards: *a* – sediments of the Ob' type, «O?» curve; *б* – sediments of mixed type, «O+Ye?» curve, ellipse marks the part of the curve corresponding to the Yenisei standard; *в* – anomalous type of sediments with respect to the Ob' and Yenisei standards, curve «A». Y-axis shows content of elements normalized to NASC

Для проб со всех наблюдательных станций построены элементограммы – графики содержания элементов, нормированного на NASC. При последовательном визуальном сравнении на элементограммах кривых частных проб с эталонными кривыми для Оби и Енисея все данные рассортированы по трем группам. Первую группу, самую многочисленную, составили пробы с формой кривых, практически совпадающей с обским эталоном. Во второй группе одни элементы распределились на графике по обскому типу, другие – по енисейскому или заняли промежуточное положение. Среди западнокарских донных осадков не обнаружено проб, близких к енисейскому геохимическому типу по всему спектру элементов. Третью группу образовали несколько проб, которые можно считать аномальными по отношению ко всем остальным. В этих пробах фиксируется резко пониженное содержание большинства элементов, но с отдельными положительными пиками некоторых из них. Одна такая проба отобрана недалеко от северного берега Новой Земли, две пробы – в центре западной части Карского моря и три – у пролива Карские Ворота.

На рис. 2 представлены элементограммы, на которых среднегрупповые кривые нормированных значений содержания элементов сравниваются с речными эталонами. Видно, что элементограмма для первой группы проб (рис. 2, а) практически тождественна с обским эталоном. На элементограмме для второй группы (рис. 2, б) ближе всего к енисейскому типу расположены легкие редко-

земельные элементы Ce, Nd, Sm, Eu, а также Ta. Значения Sc, Cr, Rb, Cs и Th, наоборот, распределены по обскому типу. На третьей элементограмме (рис. 2, в) для аномальных проб преимущественно с низким содержанием элементов можно отметить приближение к енисейскому типу значений для Rb, Cs, La, Ce и Th. Торий здесь занял противоположную позицию по сравнению с первыми двумя группами. Совершенно обособленно выделился пик Hf.

Для количественного отображения степени геохимического сходства западнокарских донных осадков с обским или енисейским эталонами вычислены значения  $\cos\theta$ . Эта мера сходства в данном случае будет играть роль «коэффициента корреляции» между кривыми элементограмм. Величина «+1» означает полное сходство, величина «-1» – полное несходство (кривые в противофазе). Рис. 3 иллюстрирует пространственное распределение результатов. На рис. 3, а оттенки серого цвета оконтуривают области осадков с разной степенью их сходства с обским эталоном, на рис. 3, б – с енисейским. Соответствие оттенков градациям величин  $\cos\theta$  приведено в легенде. Обилие средне- и темно-серых тонов на первой схеме свидетельствует о доминировании обского типа распределения. Осветление участков отражает увеличение в осадках доли иного материала. Судя по преобладанию самых светлых градаций серого цвета на рис. 3, б, доля материала енисейского типа относительно обского достаточно мала.

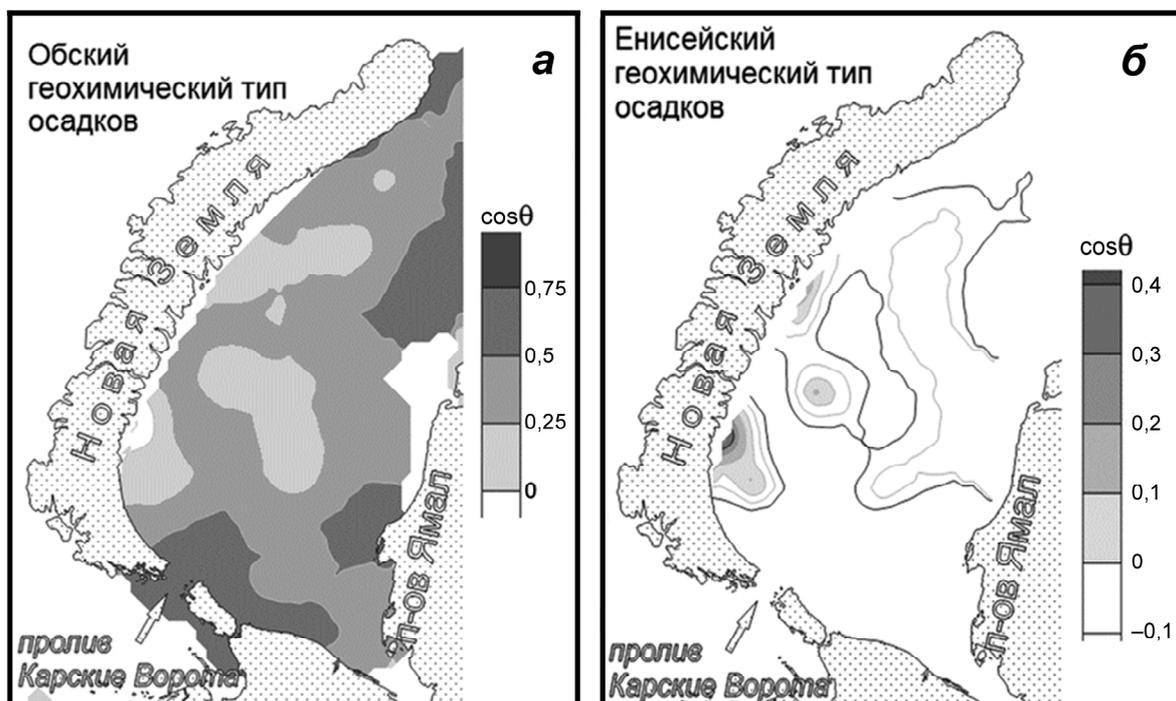


Рис. 3. План-схемы распределения в западной части Карского моря донных осадков, похожих на обский геохимический тип (а) и енисейский геохимический тип (б) по величинам «косинусного расстояния» как меры сходства. Оттенки серого цвета соответствуют градациям величины  $\cos\theta$ , рассчитанной по стандартизированным содержаниям элементов

Fig. 3. Schemes showing the distribution of bottom sediments in the western Kara Sea, (a) sediments of Ob' geochemical type and (b) Yenisei geochemical type, according to the values of «cosine distance» as a similarity measure. Grey shading of different intensity corresponds to the gradation value of  $\cos\theta$  calculated on the basis of standardized element concentrations

**Выводы:**

– пробы донных осадков из западной части Карского моря по микроэлементному составу, как правило, соответствуют обскому геохимическому типу либо обнаруживают и обские, и енисейские признаки одновременно. Диагностируемые с такими признаками отложения фиксируются почти повсеместно, обский тип преобладает. Распространение материала обского и енисейского геохимических типов имеет площадной характер с участками больших размеров, без выраженной линейности. Соответственно, должна существовать система переноса взвешенных и коллоидных частиц от эстуариев Оби и Енисея в западную часть Карского моря и их площадного выпадения в осадок. Таким условиям отвечают обнаруженные в Карском море огромные по площади

приповерхностные линзы распресненных вод из Оби и Енисея. На их контакте с нижележащими солеными водами образуется латеральный солевой геохимический барьер. Преобладание в составе донных осадков терригенного материала обского геохимического типа, скорее всего, связано с большей насыщенностью вод Оби взвешенным и коллоидным веществом по сравнению с водами Енисея;

– повышенное относительно фона содержание отдельных микроэлементов, которые концентрируются на небольших участках ближе к берегам, может быть признаком поступления порций терригенного материала за счет береговой абразии без обширного рассеяния по дну моря. Наиболее характерно в этом отношении распределение концентрации гафния.

**Благодарности.** Работа выполнена за счет Российского научного фонда (проект № 14-17-00764).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Асадулин Э.Э., Мирошников А.Ю., Величкин В.И. Геохимическая специализация донных осадков в зонах смещения вод Оби и Енисея с водами Карского моря // Геохимия. 2013. № 12. С. 1116–1129.

Асадулин Э.Э., Мирошников А.Ю., Усачева А.А., Величкин В.И. Геохимическое распознавание терригенного материала из Оби и Енисея в донных осадках восточной части Карского моря // Докл. РАН. 2015. Т. 461, № 2. С. 207–209.

Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Черкашев Г.А., Ванштейн Б.Г. Динамика берегов Карского моря // Криосфера Земли. 2006. Т. 10, № 2. С. 56–57.

Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 2006. 360 с.

Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: Пер с англ. Кн. 2. М.: Недра, 1990. 427 с.

Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане: Осадко- и рудообразование, геоэкология. Калининград: Янтарный сказ, 1998. 416 с.

Лисицын А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.

Маккаев П.Н., Стунжас П. А., Хлебонашев П. В. О выделении вод Оби и Енисея в распресненных линзах Карского моря в 1993 и 2007 гг. // Океанология. 2010. Т. 50, № 5. С. 740–747.

Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.

Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа. 1989. 528 с.  
Розанов А.Г. Геохимия донных отложений Карского моря к западу от п-ова Ямал // Океанология. 2015. Т. 55, № 2. С. 291–300.

Gromet P.L., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L. The «North American shale composite»: Its compilation, major and trace element characteristics // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1984. Vol. 48, N 12. P. 2469–2482.

Поступила в редакцию 01.03.2016

Принята к публикации 16.03.2016

En.E. Asadulin<sup>1</sup>, A.Yu. Miroshnikov<sup>2</sup>

GEOCHEMICAL VARIABILITY  
OF TERRIGENOUS BOTTOM SEDIMENTS  
IN THE WESTERN KARA SEA

The main component of the Kara Sea bottom sediments is terrigenous material from the huge catchment area of the largest Siberian rivers Ob' and Yenisei. The rivers carry this material mainly in suspended and colloidal forms; its further precipitation occurs on geochemical barriers «river-sea». The territory located westward from the Yamal Peninsula represents the part of the Kara Sea that is beyond the main direction of river flows. Here coastal abrasion of the continent and Novaya Zemlya Archipelago plays the major role in accumulation of bottom sediments. This work is devoted to the identification and grouping of diverse bottom sediments of the western Kara Sea according to their geochemical characteristics. Terrigenous material of the Ob' or mixed Ob'-Yenisei geochemical type was found to predominate in the composition of bottom sediments. The wide areal distribution of this material likely results from the migration of the lenses of freshened water from the Ob' and Yenisei estuaries above the saline seawater and precipitation of suspended terrigenous material on the lateral saline geochemical barrier. The areas where material of different

<sup>1</sup> Institute of Ore Deposits, Mineralogy, Petrography and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Laboratory of Radiogeology and Radiogeocology, Senior Research Scientist, PhD in Geology and Mineralogy; e-mail: aasad@inbox.ru

<sup>2</sup> Institute of Ore Deposits, Mineralogy, Petrography and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Laboratory of Radiogeology and Radiogeocology, Senior Research Scientist, PhD in Geology and Mineralogy; e-mail: Alexey-miroshnikov@yandex.ru

origin is accumulated, particularly, supplied by coastal abrasion, are traced by elevated or reduced content of certain elements relative to the Ob'-Yenisei geochemical background. These territories have limited areal extent.

**Keywords:** Kara Sea, bottom sediments, Ob' and Yenisei river drift, terrigenous matter, geochemical barriers, informative chemical elements, geochemical identification.

**Acknowledgements.** The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project N 14-17-00764).

## REFERENCES

- Asadulin En.E., Miroshnikov A.Yu., Velichkin V.I.* Geokhimicheskaya spetsializatsiya donnykh osadkov v zonakh smesheniya vod Obi i Yeniseya s vodami Karskogo morya [Geochemical Signature of Bottom Sediments in the Mixing Zones of Ob and Yenisei Waters with Kara Sea Water], *Geokhimiya*, 2013, no 12, pp. 1116–1129 (in Russian).
- Asadulin En.E., Miroshnikov A.Yu., Usacheva A.A., Velichkin V.I.* Geokhimicheskoye raspoznavanie terrigennoy materiala iz Obi i Yeniseya v donnykh osadkakh vostochnoy chasti Karskogo morya [Geochemical recognition of terrigenous material from the Ob and Yenisei Rivers in bottom sediments of the eastern part of the Kara Sea], *Doklady RAN*, 2015, vyp 461, no 2, pp. 207–209 (in Russian).
- Davis J.C.* Statisticheskiy analiz dannykh v geologii [Statistics and Data Analysis in Geology], *Perevod. s angl. Kn. 2*, Moscow, Nedra, 1990, 427 p. (in Russian).
- Dubinina A.V.* Geokhimiya redkozemel'nykh elementov v okeane [Rare Earth Element Geochemistry in the Ocean], Moscow, Nauka, 2006, 360 p. (in Russian).
- Gromet P.L., Dymek R.F., Haskin L.A., Korotev R.L.* The «North American shale composite»: Its compilation, major and trace element characteristics // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1984. Vol 48, N 12. P. 2469–2482.
- Lisitsyn A.P.* Lavinnaya sedimentatsiya i pereryvy v osadkonakoplenii v moryakh i okeanakh [Avalanche sedimentation and stratigraphical lacuna in seas and oceans], Moscow, Nauka, 1988, 309 p. (in Russian).
- Makkaveyev P.N., Stunzhas P.A., Khlebopashev P.V.* O vydelenii vod Obi i Yeniseya v raspresnennykh linzakh Karskogo morya v 1993 i 2007 gg. [The distinguishing of the Ob and Yenisei waters in the desalinated lenses of the Kara Sea in 1993 and 2007], *Okeanologiya*, 2010, vol. 50, no 5, pp. 740–747 (in Russian).
- Mikhailov V.N.* Ust'ya rek Rossii i sopredel'nykh stran: proshloye, nastoyashcheye i budushcheye [The River Mouths of Russia and adjacent countries: Past, present and future], Moscow, GEOS, 1997, 413 p. (in Russian).
- Perel'man A.I.* Geokhimiya [Geochemistry], Moscow, Vyssh. shkola., 1989, 528 p. (in Russian).
- Rozanov A.G.* Geokhimiya donnykh otlozheniy Karskogo morya k zapadu ot poluostrova Yamal [Geochemistry of the bottom sediments in the Kara Sea West of the Yamal Peninsula], *Okeanologiya*, 2015, vol. 55, no 2, pp. 291–300 (in Russian).
- Vasil'yev A.A., Streletskaya I.D., Cherkashev G.A., Vanshtein B.G.* Dinamika beregov Karskogo morya [The Kara Sea shores dynamics], *Kriosfera Zemli*, 2006, vol. 10, no 2, pp. 56–57 (in Russian).
- Yemel'yanov E.M.* Bar'yernyye zony v okeane: Osadko- i rudoobrazovaniye, geoekologiya [The barrier zones in the ocean: Sedimentation and ore formation, geoecology], Kaliningrad: Yantarnyi Skaz, 1998, 416 p. (in Russian).

Received 01.03.2016

Accepted 16.03.2016