

УДК 551.465

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В КАСПИЙСКОМ МОРЕ

© 2016 г. В. Н. Лукашин, А. П. Лисицын, О. М. Дара, Н. В. Козина,
А. А. Клювиткин, А. Н. Новигатский

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

e-mail: lukashin@ocean.ru

Поступила в редакцию 02.04.2015 г.

Представлены сведения по минеральному составу осадочного материала и его потокам в седиментационной системе Каспийского моря. Рассматривается речной сток, аэрозоли, взвесь, полученная из седиментационных ловушек, и верхний слой (0–1 см) донных осадков. Определены содержания обломочных минералов (кварца, альбита и КППШ), глинистых минералов (иллит, хлорит, каолинит) и карбонатов (кальцит, Mg-кальцит, доломит, арагонит, родохрозит). В донных осадках обнаружен гипс, отсутствующий в других объектах седиментационной системы.

DOI: 10.7868/S0030157416060101

Исследования разных аспектов седиментации в Каспийском море чрезвычайно важны, так как оно является уникальным внутренним бассейном, расположенным в гумидной, семиаридной и аридной зонах, что определяет характер питания бассейна осадочным материалом. В Северный Каспий осадочный материал поступает главным образом с речным стоком, тогда как в западную часть Среднего и Южного Каспия поставка осадочного материала осуществляется речным стоком и в виде аэрозолей через атмосферу, а в восточную часть этих акваторий только через атмосферу. Минеральное вещество, попав в море, распределяется в нем как минеральная компонента взвеси, состоящей преимущественно из биогенного вещества, формирующегося в море. Агрегирование минеральных терригенных частиц с биогенными компонентами взвеси обеспечивают осаждение (поток) тонкого терригенного вещества в составе крупных биогенных агрегатов (пеллет, аморфных агрегатов, панцирей планктона), которые сравнительно быстро достигают морского дна [22–25 и др.]. Поток служит основной количественной характеристикой, определяющей темпы поступления осадочного материала, в том числе минеральных частиц, сквозь водную толщу. Потоки выражаются в единицах массы, проходящей через единицу площади столба воды в единицу времени ($\text{мг}/\text{м}^2/\text{сут}$).

С целью исследования седиментационной системы Каспийского моря нами изучались аэрозоли [17, 18], рассеянное осадочное вещество, для сбора которого впервые была поставлена серия обсерваторий АГОС [14], а также донные осадки.

В результате получен уникальный материал, позволивший оценить потоки осаждающегося вещества, выявить закономерности их распределения в море, определить вещественный и минеральный состав вещества, а также установить характер внутригодовой изменчивости потоков [13, 15]. В настоящей работе представлены данные о минеральном составе осадочного вещества в седиментационной системе Каспийского моря – речная взвесь, аэрозоли, морское взвешенное вещество и донные осадки. Донные осадки в Каспийском море изучены достаточно подробно [7, 8, 11, 12, 21 и др.], тогда как минеральный состав аэрозолей и осаждающегося в толще воды вещества рассматриваются впервые. Для сравнения мы исследовали минеральный состав только самого верхнего слоя осадков (0–1 см).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сбор материала для изучения минерального состава вещества в компонентах седиментационной системы Каспийского моря проводился в рейсах НИС “Рифт” (рис. 1а) [1–4, 15]. Речная взвесь в рукавах дельты Волги исследовалась Кравчишиной с соавторами [9]. Аэрозоли отбирались в пяти рейсах НИС “Рифт” (рис. 1б) сетевым методом на ходу судна [17]. Рассеянный осадочный материал для исследования вертикальных потоков вещества был получен с использованием седиментационных ловушек на притоженных обсерваториях АГОС, поставленных на транскаспийском разрезе (рис. 1в) [14]. Донные осадки отбирались мультикорером фирмы KUM, позволя-

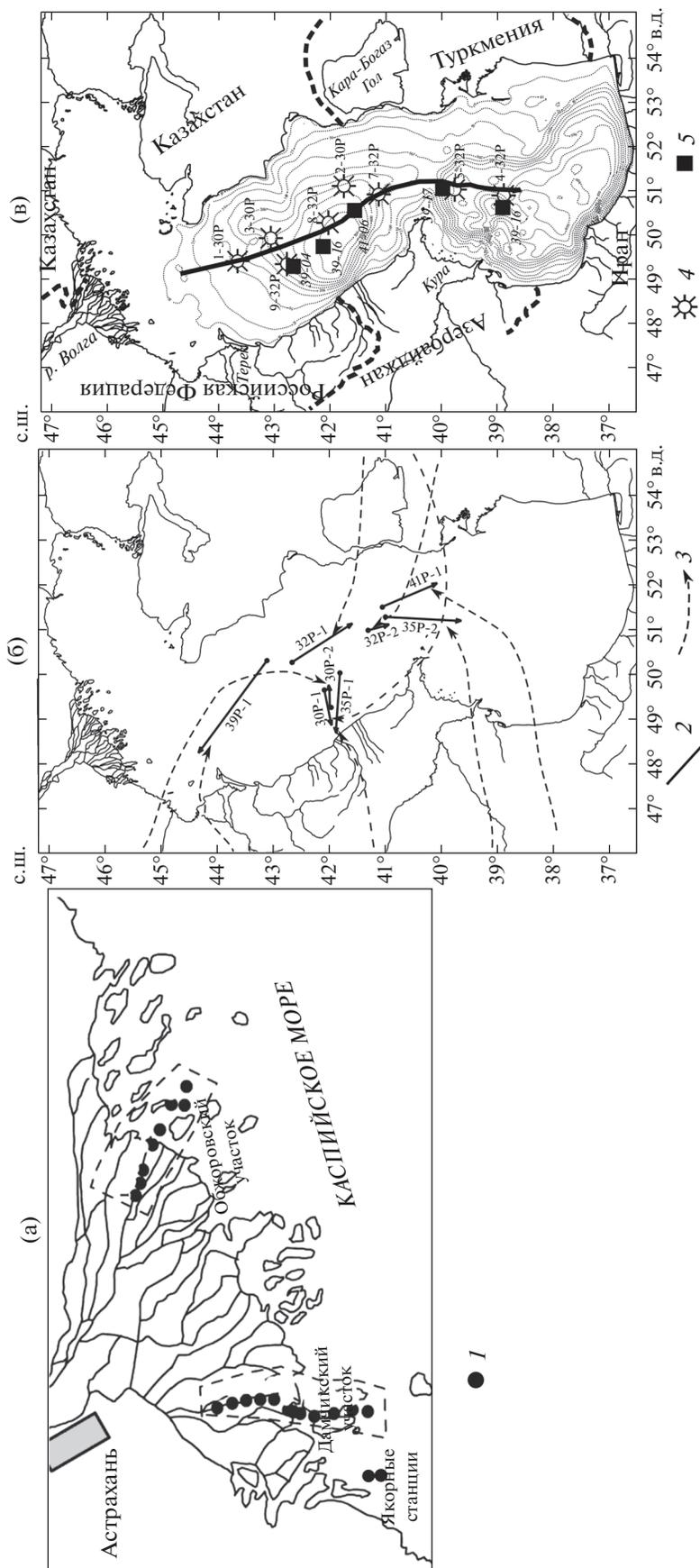


Рис. 1. Схемы точек отбора образцов речной взвеси (а), аэрозолей (б), осажденного в седиментационных ловушках осадочного материала и донных осадков на транскаспийском разрезе (в).
 1 — места отбора проб взвеси в рукавах дельты Волги в маргинальном фильтре; 2 — отрезки маршрутов судна, на которых проводился сбор аэрозолей; 3 — обратные траектории воздушных масс, рассчитанные на время сбора аэрозолей; 4 — обсерватория АГОС; 5 — места отбора донных осадков мультикорером.

Таблица 1. Минеральный состав взвеси р. Волга, взвеси ее маргинального фильтра и аэрозолей (осредненные данные)

Обломочные минералы				Глинистые минералы				Карбонатные минералы			Отношения	
Кварц	Альбит	КПШ	Амфибол	Иллит	Каолинит	Хлорит	Смектит	Кальцит	Доломит	Арагонит	кварц/ пш	обл./ глины
Взвесь дельты р. Волга												
60.8	5.2	3	3.7	9.8	9*		следы	5.2	2.8	н.о.	7.4	3.9
Гравитационная зона маргинального фильтра, взвесь												
28.5	16.5	10.5	4	15.5	5	6	2	3	3	2	1.1	2.1
Аэрозоли воздушных масс из Средней Азии												
54.7	7.2	4.2	6.1	11.2	0.7	6.4	н.о.	10.0	2.1	н.о.	4.8	4.0
Аэрозоли воздушных масс, проходящих через степи Калмыкии												
53.7	5.3	3.2	6.3	12.6	4.2	4.2	н.о.	3.2	3.2	н.о.	6.4	3.3
Аэрозоли с запада (через Кавказ)												
21	13.5	7.5	2.5	12.2	4	6	н.о.	10.5	2	н.о.	1.0	2.0

Примечание. н. о. – не обнаружено.

* каолинит + хлорит.

ющим отбирать наддонную воду, верхний разжиженный слой осадков и более плотные слои приблизительно до 40 см тонкими слоями – 0.5 см [3, 4].

Предварительная обработка проб речной взвеси, аэрозолей и осадочного вещества из седиментационных ловушек описана ранее [9, 16, 18]. После определения концентраций и величин потоков пробы отдавались на разные виды анализа, в том числе на определение минерального состава. Минеральный состав всего исследуемого материала был изучен рентгенодифрактометрическим методом порошка. Анализы выполнялись на рентгеновском дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS), Cu-K α , с Ni 0.02-фильтром, 40 кВ, 40 мА, с линейным детектором LYNXEYE. Для первичной обработки, расшифровки спектров и расчета использована программа DIFFRAC.EVA, а для количественного анализа использовались корундовые числа из базы данных ICDD. Порог обнаружения слоистых силикатов 0.5%, прочие минералы идентифицируются при содержании их пробе не менее 1–2% [5]. Анализ минерального состава глин проводился с использованием традиционных приемов [20]. Электронномикроскопические изображения гипса получены на сканирующем электронном микроскопе TESCAN (аналитик В.А. Карлов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Главным источником осадочного материала в Каспийском море являются реки, взвешенный речной сток, в основном р. Волги. Было проведено исследование минерального состава взвеси в половодье в двух рукавах дельты этой реки (рис. 1а) [9]. Минеральный состав взвеси в кристалличе-

ской фазе представлен обломочными, глинистыми и карбонатными минералами (табл. 1). В составе вещества абсолютно преобладают обломочные минералы (более 70%), среди которых больше всего кварца. Отношение кварц/полевые шпаты достаточно высоко – 7.4. Содержание глинистых минералов во взвеси – около 20%, преобладает иллит, отношение обломочные минералы к глинистым составляет 3.9. Карбонатные минералы, поступающие с водосбора Волги, содержащего карбонатные толщи [7], представлены кальцитом и, в меньшей степени, доломитом.

Пробы взвеси были получены также в гравитационной ступени маргинального фильтра на якорной стоянке (рис. 1а). Здесь минеральный состав взвеси значительно отличается от ее состава в рукавах дельты. Об этом свидетельствует двукратное уменьшение отношения обломочные/глинистые минералы (см. табл. 1). Уменьшается содержание карбонатных минералов, и во взвеси появился арагонит – вероятно, продукт истирания раковин моллюсков, целиком состоящих из арагонита [13]. Таким образом, уже на первой ступени маргинального фильтра минеральный состав взвеси значительно изменился за счет осаждения значительного количества обломочной части вещества.

Другим источником осадочного материала в Каспийское море является атмосфера, поставляющая аэрозоли на морскую поверхность (преимущественно сухое осаждение). По минеральному составу аэрозоли значительно различаются, что зависит от траекторий воздушных масс, проходящих по территориям с разными почвами – источниками аэрозолей. В 5-и рейсах НИС “Рифт” мы получили 8 проб аэрозолей. На рис. 1б показаны отрезки маршрутов судна, на которых собира-

лись аэрозоли, а также линии обратных траекторий воздушных масс. В одном случае проба собрана в воздушной массе, пришедшей из Европейской части России через степи Калмыкии, три пробы взяты в среднеазиатских воздушных массах, и четыре пробы получены в воздушных массах, переместившихся с запада Кавказский хребет. Для аэрозолей из среднеазиатских пустынь и полупустынь характерны высокие содержания кварца и кварц/полевошпатового отношения, а также и самое высокое отношение обломочных минералов к глинистым. Эти аэрозоли характеризуются сравнительно высоким содержанием карбонатов (см. табл. 1).

Воздушные массы, проходящие через калмыцкие степи, приносят аэрозоли, также содержащие много кварца, с высокими отношениями кварц/полевые шпаты и обломочные/глинистые минералы. В них, в отличие от других аэрозолей, немного карбонатов, причем содержание кальцита и доломита равны.

Воздушные массы, приходящие с запада через Кавказский хребет, приносят аэрозоли, значительно отличающиеся от рассмотренных выше. Прежде всего, в них немного кварца, а отношение кварц/полевые шпаты равно 1. Отношение обломочные/глинистые минералы также незначительно. Присутствует немного (12%) карбонатов — кальцит и доломит, кальцита намного больше.

Следует отметить, тот факт, что в пробах всех аэрозолей, а также в речной взвеси из карбонатов обнаружены только кальцит и доломит (терригенные карбонаты), что необходимо учитывать при исследовании карбонатов морской взвеси.

Материал, осажденный в седиментационных ловушках, состоит из агрегатов морской взвеси. Он представлен преимущественно биогенным веществом: аморфными детритными комками, пеллетами зоопланктона, раковинами диатомовых, а минеральные частицы включаются в эти биогенные агрегаты [16]. Минеральный состав взвеси Северного Каспия формируется под влиянием твердого речного стока, а также в результате волнового воздействия на донные осадки и ресуспензии их тонкой части. В составе взвеси содержатся обломочные и глинистые минералы, а также большое количество карбонатов разного генезиса [7, 21]. Исследование материала седиментационных ловушек из Среднего и Южного Каспия показало, что кристаллическая часть осадочного вещества составляет от 45 до 76% (табл. 2), а рентгенаморфное вещество, судя по химическому составу, состоит в основном из опаловых скелетов диатомовых водорослей и органического вещества. Кристаллическая часть материала представлена обломочными, глинистыми и карбонатными минералами.

Среди обломочных минералов почти везде преобладает кварц (13–30%), меньше альбита (13–24%), еще меньше калиевых полевых шпатов (КПШ) — 9–16%. Кроме этого, в нескольких пробах встречены слюды и амфиболы в следовых количествах. Сумма обломочных минералов варьирует от 41 до 62%. В минеральном составе взвеси двух рукавов дельты р. Волга абсолютно преобладает кварц (до 67%), а сумма полевых шпатов не превышает 10% [9]. В процессе механической дифференциации в маргинальном фильтре концентрации взвеси уменьшаются, она теряет крупные фракции и обогащается более тонкими фракциями, в состав которых включаются глинистые минералы и полевые шпаты (табл. 1). В аэрозольном материале эти же минералы меняют соотношения в зависимости от несущих их воздушных масс: среднеазиатские воздушные массы несут много кварца (до 53%), тогда как воздушные массы с Кавказа кварца содержат немного (до 25%), а альбита и КПШ больше [18].

В составе глинистых минералов преобладает иллит (9–17%), в небольших количествах обнаружены хлорит (5–11%) и каолинит (5–9%). Сумма глинистых минералов составляет 21–35%. Отношение сумм обломочных минералов к суммам глинистых составляет около 2 в пробах над северным шельфом и склоном, а также над южным склоном Дербентской впадины. В других пробах это отношение меньше. В стоке р. Волги и в аэрозолях содержания иллита такие же, хлорита и каолинита значительно меньше (табл. 1) [9, 18].

В карбонатной части вещества из седиментационных ловушек преобладает кальцит (до 22%), обнаружены также Mg-кальцит (3–6%), арагонит (3–14%), доломит (1–3%), а в двух пробах (с юго-восточного склона Дербентской впадины и склона Апшеронского порога в Южной впадине) найден родохрозит — по 2% в каждой. Сумма карбонатов составляет 4–29% (табл. 2). В аэрозолях над Каспийским морем и в стоке р. Волга определены только кальцит и доломит (см. табл. 1). Рентгенографические исследования раковин каспийских двустворчатых моллюсков, составляющих пояс ракушняка на шельфе (*Monodacna colorata*, *Dreissena caspia*, *D. polymorpha*, *Didacna protracta*, *Cerastoderma glaucum*, *Mytilaster lineatus*), показали, что они на 100% образованы арагонитом, причем, арагонитовый состав характерен как для целых раковин живых моллюсков, так и для обломков разного размера вплоть до мелкозернистого детрита. Mg-кальцит входит в состав аутигенных оолитов, которые, по данным рентгенодифракционного анализа, на 83% процента состоят из низкомагнезимального кальцита ($a = 4.956 \text{ \AA}$, $c = 16.957 \text{ \AA}$) и на 17% из арагонита. Вероятно, тонкие обломки раковинного детрита являются центрами кристаллизации для дальнейшего обрастания Mg-кальцитом с формированием оолитов.

Таблица 2. Минеральный состав осадочного материала из седиментационных ловушек, % от кристаллической фазы

№ станции АГОС	Координаты, глубина, м	Горизонт отбора проб, м	Кристаллическая фаза, %	Вертикальный поток кристаллической фазы вещества, г/м ² /год	Обломочные минералы				
					кварц	альбит	КПШ		
1-30P	43°40.31' с.ш. 49°18.23' в.д., 64	48	45	5093	18	13	10		
2-30P	41°45.87' с.ш. 50°57.74' в.д. 520	500	47	11	13	17	13		
5-32P	39°39.44' с.ш. 50°56.34' в.д. 716	696	51	277	18	14	16		
7-32P	41°26.83' с.ш. 50°51.82' в.д. 456	300	76	795	29	14	9		
7-32P	41°26.83' с.ш. 50°51.82' в.д. 456	435	76	1296	29	16	9		
8-32P	41°49.55' с.ш. 50°23.29' в.д. 753	735	64	44	30	24	9		
9-32P	42°43.64' с.ш. 49°17.44' в.д. 417	397	68	314	29	18	19		
№ станции АГОС	Глинистые минералы		Карбонатные минералы						
	Каолинит	Хлорит	Иллит	Смектит	Кальцит	Mg-кальцит	Арагонит	Доломит	Родохрозит
1-30P	5	7	9	следы	20	6	8	3	н.о.
2-30P	9	9	11	н.о.	22	5	н.о.	2	2
5-32P	5	5	17	н.о.	6	3	14	н.о.	2
7-32P	6	8	12	н.о.	13	4	4	1	н.о.
7-32P	6	8	11	н.о.	12	4	3	2	н.о.
8-32P	8	11	16	следы	2	н.о.	н.о.	2	н.о.
9-32P	7	9	13	следы	9	4	4	2	н.о.

Примечание. н.о. — не обнаружено.

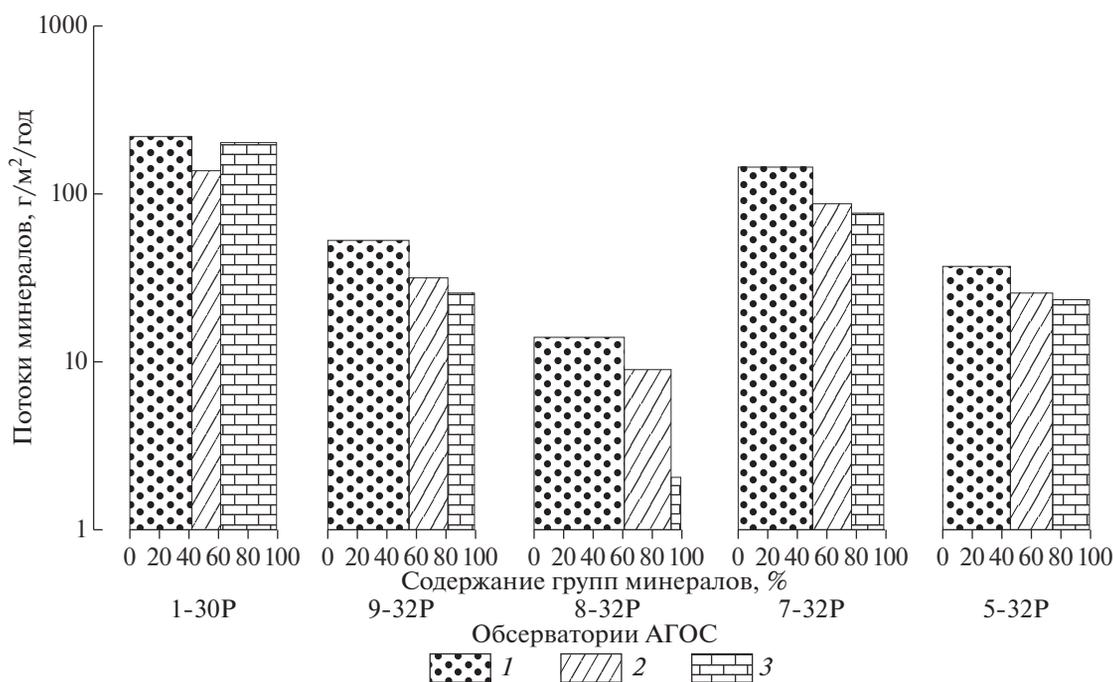


Рис. 2. Содержания (в %) и потоки (в г/м²/год) минералов в осадочном веществе толщи вод Каспийского моря. Группы минералов: 1 – обломочные минералы; 2 – глинистые минералы; 3 – карбонаты. Высота столбцов – потоки в г/м²/год, ширина – содержания групп минералов в %.

Карбонаты марганца связаны, вероятно, с высокими концентрациями растворенного Mn в восстановительных условиях придонных вод [6], а также, возможно, – с разгрузкой гидротермальных вод, обогащенных Mn, в районе Челекена [19]. Таким образом, из изложенного следует, что кальцит и доломит преимущественно приносятся в море с суши реками и через атмосферу, а арагонит, Mg-кальцит и родохрозит образуются в море.

Для распределения вертикальных потоков осадочного вещества в толще вод на транскаспийском разрезе характерно следующее. Максимальные потоки приурочены к приволжскому шельфу Дербентской впадины (контролируются речным стоком). С удалением в море (за пределы маргинального фильтра) потоки минералов уменьшаются. На склонах впадины (на глубинах около 400 м) характер такого распределения нарушается – в придонных слоях воды отмечается значительное увеличение вертикальных потоков (станции 7-32P и 9-32P). Это связано с поступлением в седиментационные ловушки взвеси из нефелоидного слоя [16].

Распределения обломочных, глинистых и карбонатных минералов во взвеси и их потоки показаны на рис. 2 (в % и г/м²/год). На северном шельфе моря (АГОС 1-30P, глубина 65.5 м) отмечены максимальные вертикальные потоки, а в кристаллической части преобладают обломочные минералы (41%), в них преобладают полевые шпаты. Карбонатов – 37% (преобладает кальцит). Содержание глинистых минералов – 21%. Среди

них незначительно преобладает иллит (табл. 2). Таким образом, здесь отмечены максимальные потоки минералов – более 900 г/м²/год обломочных, немного меньше карбонатов и вдвое меньше глинистых (рис. 2).

Над северным и южным склонами Дербентской впадины (АГОС 9-32P и 7-32P) соотношение групп минералов очень сходно, на обеих станциях преобладают обломочные минералы (55 и 54% соответственно). Вдвое меньше глинистых минералов (27 и 25%), в составе которых преобладает иллит. Меньше всего в обоих пробах карбонатов (18 и 21%), и состав их примерно одинаков (табл. 2). Сходный по минеральному составу материал в ловушках на двух противоположных склонах Дербентской впадины формируется под влиянием взвеси нефелоидного слоя, образованного в результате воздействия контурного течения на неустойчивый слой донных осадков и их ресуспензии [14, 16].

В центре Дербентской впадины (АГОС 8-32P, глубина 735 м) вертикальные потоки вещества ниже, чем над склонами (рис. 16). Значительно отличается и их минеральный состав. Преобладают обломочные минералы (62%), в составе которых кварц и полевые шпаты находятся примерно в равных количествах. Глинистых минералов здесь 34%, в их составе преобладает иллит. Карбонаты представлены в равных долях кальцитом и доломитом, и их очень мало (4%). Состав карбонатов предполагает, что основным их источником являются аэрозоли. Вертикальные потоки

минеральной части осадочного вещества малы. Наименьшие потоки — у карбонатов, состав которых соответствует составу карбонатов аэрозолей.

Минеральная взвесь в потоках вещества северного склона Южно-Каспийской впадины (АГОС 5-32Р) характерна преобладанием группы обломочных минералов (48%) с доминантой полевых шпатов. Из глинистых минералов (их содержание 27%) больше всего иллита. Среди карбонатов преобладает арагонит, кальцит и Mg-кальцит, нет доломита, обнаружен карбонат Mn — родохрозит. В Дербентскую впадину поступает огромное количество терригенного кальцита с речным стоком. Терригенные карбонаты здесь превалируют над автохтонными. В Южно-Каспийской впадине преобладают карбонаты, образовавшиеся в морских условиях. Потоки глинистых и карбонатных минералов близки по значениям (рис. 2).

Таким образом, минеральный состав осаждающегося осадочного вещества в Каспийском море в придонном слое неодинаков. Это зависит от ряда факторов, обуславливающих дифференциацию вещества в водной толще: источников осадочного материала, способов его транспортировки и удаленности места исследования от источников над разными морфологическими структурами, наличие контурного течения, перераспределяющего осадочный материал по пути следования.

В районах постановки седиментационных ловушек был исследован верхний слой донных осадков — разжиженный неустойчивый слой 0–0.5 см (наилки) и осадок — 0.5–1 см. В табл. 3 представлены краткое описание исследованных осадков и данные по их минеральному составу. Из таблицы видно, что в осадках обнаружены в основном те же минералы, что и во взвеси. Однако отсутствует карбонатный минерал арагонит, неустойчивый в морской среде, а также обнаружен гипс, которого не было ни во взвеси, ни в аэрозолях.

На северном склоне Дербентской впадины (ст. 3904) сумма обломочных минералов составляет в наилке 60%, а в осадке — 35%, уменьшение процентного содержания обломочных минералов в осадке происходит за счет высокого содержания здесь гипса. В составе обломочных минералов преобладает кварц, причем в наилке его больше, чем в осадке, отношение кварц/полевые шпаты в наилке выше, чем в нижележащем осадке (1.4 и 0.94 соответственно). Во взвеси (АГОС 9-32Р) также преобладает кварц, но отношение кварц/полевые шпаты — 0.78, т.е. в осадках кварца относительно больше, чем во взвеси.

Сумма глинистых минералов в наилке составляет 23%, а в осадке — 34%. Преобладает иллит, меньше хлорита, еще меньше каолинита и 1–2% смектита. Во взвеси содержания глинистых минералов идут в таком же порядке, а смектит обнаружен в следовых количествах. Сумма карбонатных

минералов в осадках незначительна. В наилке и в осадке преобладает кальцит, причем Mg-кальцит и доломит обнаружены только в наилке (1 и 2% соответственно). Во взвеси из седиментационных ловушек кальцит также преобладает, а содержания Mg-кальцита значительно больше, чем в осадках, есть также арагонит (в осадках отсутствует).

В осадках центральной части Дербентской впадины (ст. 3907) сумма обломочных минералов равна 41% в наилке и 51% в осадке. В их составе и в наилке, и в осадке преобладает кварц, меньше альбита и КПШ. Отношение кварц/полевые шпаты в наилке и осадке — 0.78 и 1.1 соответственно. Во взвеси (АГОС 8-32Р) сумма обломочных минералов равна 61%, в ней также преобладает кварц, а отношение кварца к полевым шпатам такое же, как в осадках. Сумма глинистых минералов в наилке составляет 42%, а в осадке — 30%. В составе глинистых минералов преобладает иллит (16% в наилке, 12% в осадке), хлорита меньше (15 и 8% соответственно), еще меньше каолинита (10 и 6%), смектита мало — 1% в наилке и 4% в осадке. В наилке содержание суммы глинистых минералов такое же, как суммы обломочных минералов, а в осадке меньше. Во взвеси содержания глинистых минералов близко к наблюдаемым в осадках, смектит обнаружен в следовых количествах, менее 1%. Карбонаты в наилке представлены кальцитом и доломитом в небольших количествах, Mg-кальцит отсутствует. Мало карбонатов и во взвеси (табл. 2). В осадке карбонатов больше, причем здесь кроме кальцита и доломита обнаружен Mg-кальцит. Арагонит отсутствует, его не было и во взвеси.

В осадках нижней части склона Апшеронского порога в Дербентской впадине (ст. 4106, глубина 690 м) сумма обломочных минералов составляет 40%. Преобладает кварц, альбита меньше, а содержание КПШ — 5% (табл. 3). В составе глинистых минералов преобладает иллит, немного меньше хлорита, вдвое меньше каолинита и всего 2% смектита. Карбонатов немного — 5% кальцита и 1% Mg-кальцита, арагонит и доломит не обнаружены.

На южном склоне Апшеронского порога (Южно-Каспийская впадина, ст. 3917) исследован только наилки 0–1 см. Сумма обломочных минералов составляет 40%. Полевых шпатов здесь больше, чем кварца. Полевые шпаты преобладают и во взвеси (табл. 2, АГОС 5-32Р). Глинистых минералов в наилке тоже 40%. Преобладает иллит — 17%, хлорита 12%, каолинита почти вдвое меньше, смектит — 4%. Во взвеси глинистых минералов меньше, чем в наилке, смектит отсутствует. Карбонаты представлены кальцитом и Mg-кальцитом. Во взвеси этих минералов было столько же, но были обнаружены арагонит и родохрозит (табл. 2).

Таблица 3. Минеральный состав поверхностного слоя донных осадков, % от кристаллической фазы

№ станции	Координаты, глубина (м)	Горизонт (см), описание осадка	Кристаллическая фаза, %	Обломочные минералы					
				кварц	альбит	КПШ			
3904	42°43' с.ш. 49°17' в.д. 424	0–0.5 Наилкок – хлопьевидный алевропелитовый темно-зеленый с небольшой примесью раковин.	59	35	15	10			
		0.5–1 Алевропелитовый ил болотно-рыжего цвета сильно обводненный.	50	17	12	6			
3907	42°11' с.ш. 49°37' в.д. 720	0–0.5 Наилкок – хлопьевидный пелитовый черного цвета, запах H ₂ S.	54	18	13	10			
		0.5–1 Пелитовый ил, чередование черных и рыжих прослоев, запах H ₂ S.	67	27	14	10			
4106	41°31' с.ш. 50°35' в.д. 690	0.5–1 Пелитовый ил серо-черного цвета с примесью гидротроилита.	47	22	13	5			
3917	39°43' с.ш. 51°03' в.д. 670	0–1 Наилкок – пелитовый хлопьевидный зеленого цвета.	58	17	14	9			
3916	38°58' с.ш. 50°45' в.д. 1000	0–0.5 Наилкок в виде черных и зеленых хлопьев, запах H ₂ S.	36	20	13	12			
		0.5–1 Пелитовый ил зелено-рыжего цвета слабоизвестковый с многочисленными черными включениями.	50	13	12	12			
№ станции	Осадок	Глинистые минералы				Карбонатные минералы			Гипс
		Каолинит	Хлорит	Иллит	Смектит	Кальцит	Mg-кальцит	Доломит	
3904	Наилкок	4	7	11	1	8	1	2	5
	Осадок	7	11	13	3	4	н.о.	н.о.	27
3907	Наилкок	10	15	16	1	5	н.о.	1	11
	Осадок	6	8	12	4	11	5	1	3
4106	Осадок	6	10	12	2	5	1	н.о.	24
3917	Наилкок	7	12	17	4	6	2	н.о.	12
3916	Наилкок	7	12	16	следы	7	1	н.о.	9
	Осадок	7	10	14	следы	6	0	н.о.	21

Примечание. н.о. – не обнаружено.

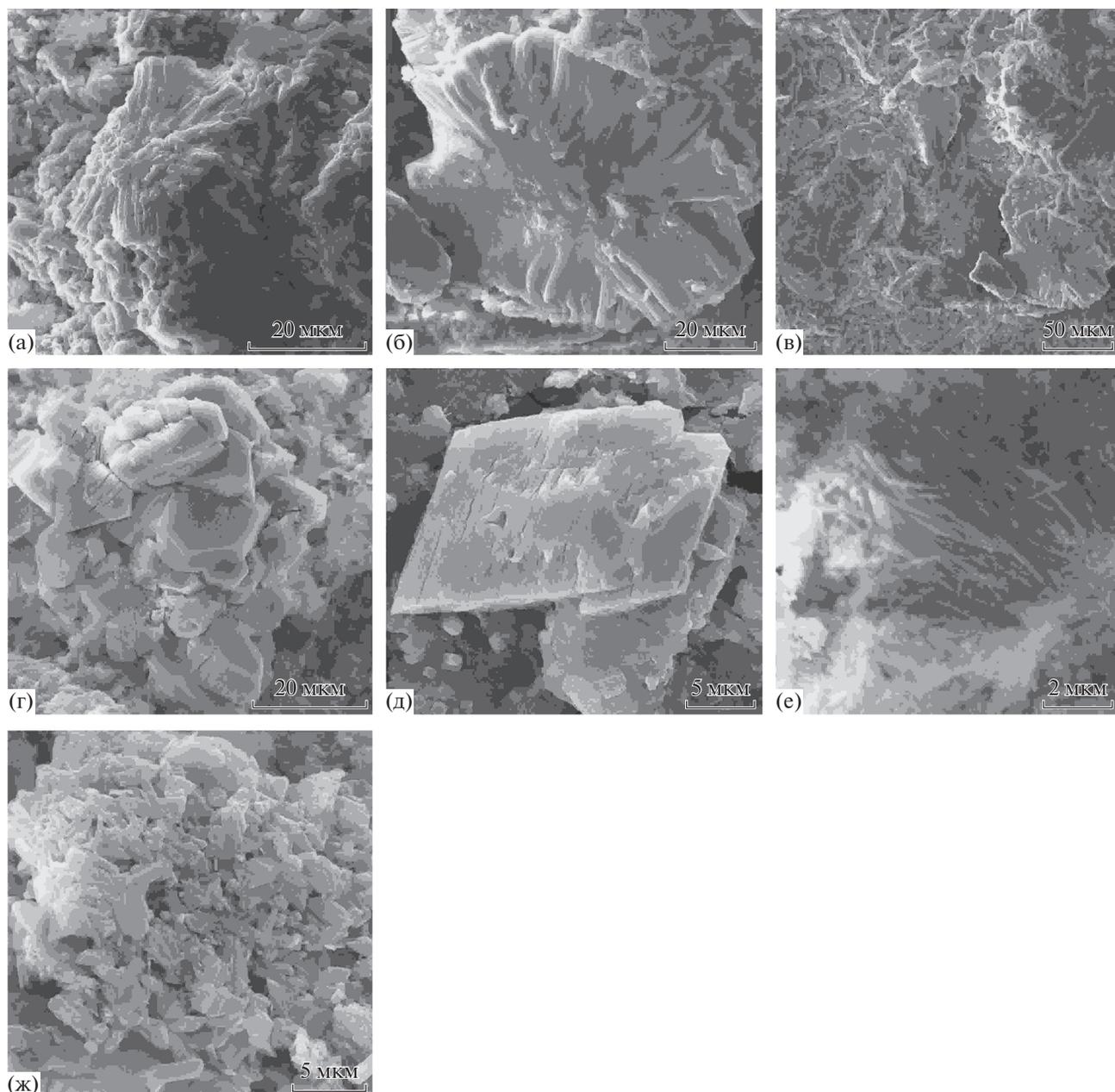


Рис. 3. Фотографии минералов гипса из донных осадков Каспийского моря. (а, б, в) – радиально-лучистые агрегаты гипса, ст. 3916, горизонт 9–10 см; (г) – сростки призматических кристаллов, ст. 3904, горизонт 0.5–1 см; (д) – призматические кристаллы с совершенной спайностью, ст. 3904, горизонт 1.5–1.8 см; (е) – сростки параллельно шестоватых агрегатов, ст. 3916, горизонт 5–6 см; (ж) – сростки кристаллических сплошных масс, ст. 3907, горизонт 6–7 см.

В осадках центральной части Южно-Каспийской впадины (глубина 1000 м) сумма обломочных минералов в наилке составляет 45%, кварца 20%, а полевых шпатов в сумме 25%. В осадке (0.5–1 см) кварца меньше, чем в наилке, а полевых шпатов столько же (табл. 3). В глинистых минералах преобладает иллит и в наилке, и в осадке (16 и 14% соответственно), хлорита и каолинита меньше, смектита – следы. Карбонаты представлены кальцитом, другие минералы практически отсутствуют (в наилке 1% Mg-кальцита).

В современных донных осадках Каспийского моря в пелитовых и алевроито-пелитовых илах широко распространен гипс. Он обнаружен во всех рассмотренных осадках, однако его нет в речном стоке, аэрозолях и в морской взвеси. Гипс в осадках Каспийского моря отмечался ранее (например, [10]). Вероятно, в донных осадках он аутигенный, о чем свидетельствуют формы и хорошая сохранность кристаллов. Гипс был встречен в виде радиально-лучистых агрегатов (розочек) (рис. 3а–3в), сростков призматических кри-

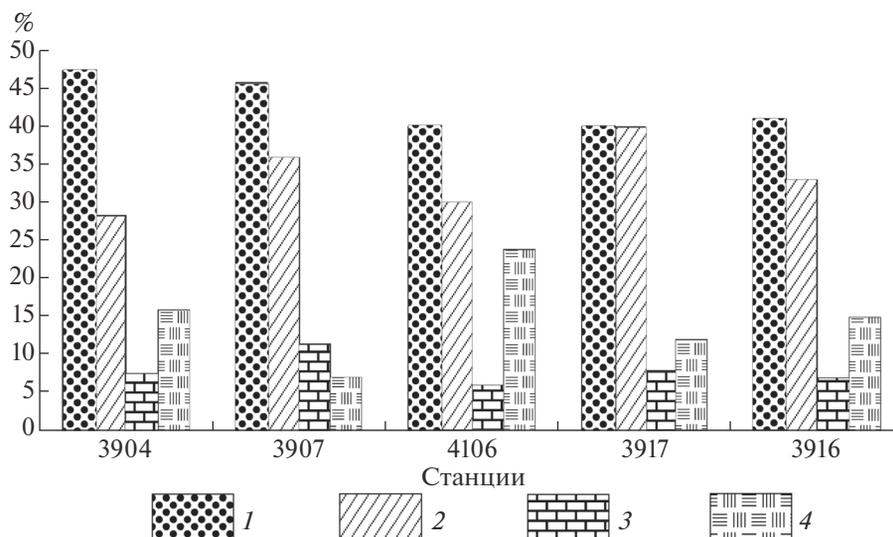


Рис. 4. Содержания групп минералов и гипса в донных осадках на транскаспийском разрезе, в %. 1 – обломочные минералы; 2 – глинистые минералы; 3 – карбонаты; 4 – гипс.

сталлов (рис. 3г), призматических кристаллов с совершенной спайностью (рис. 3д), параллельношестоватых агрегатов (рис. 3е), кристаллических сплошных масс (рис. 3ж). Размер кристаллов гипса варьирует от 1–3 (кристаллические сплошные массы) до 50 микрон (радиально-лучистые агрегаты). Максимальное содержание гипса отмечено в глубоководной впадине Среднего Каспия (ст. 4106).

На рис. 4 показано распределение групп минералов в осадках на транскаспийском разрезе. Видно, что на всем разрезе в осадках преобладают обломочные минералы, особенно на северном склоне Дербентской впадины. В осадках глубоководных впадин соотношение обломочных и глинистых минералов примерно одинаково. На северном склоне Апшеронского порога обломочные и глинистые минералы находятся в равных количествах. Карбонатов в верхнем слое на всем разрезе мало. На рис. 4 показано также распределение гипса – оно неравномерно.

Таким образом, минеральный состав компонентов седиментационной системы Каспийского моря свидетельствует, что морская взвесь и донные осадки в целом наследуют минеральный состав терригенного материала, поступающего в море с речным стоком и аэрозолями. Минеральный состав взвеси в водах Каспийского моря в придонном слое характеризуется: 1) повсеместным преобладанием обломочных тонкодисперсных минералов, а на шельфе и склонах их в 1.5–2 раза больше чем глинистых (доминируют кварц и полевые шпаты); 2) возрастанием роли группы глинистых минералов к центру котловины при доминировании иллита и почти полным отсутствием смектитов; 3) карбонатные минералы занимают

третье место – их много на мелководьях, содержания и потоки уменьшаются в сторону больших глубин.

Вместе с тем обнаружение арагонита, Mg-кальцита, родохрозита и гипса во взвеси и в осадках, минералов, отсутствующих в реках и аэрозолях, свидетельствует о биогенном (арагонит) и собственно аутигенном минералообразовании. Этот процесс широко распространен в Каспийском море – аутигенные минералы найдены во всех образцах взвеси и донных осадков на транскаспийском разрезе.

Работа выполнена по Государственному заданию (проект № 0149-2014-0026), а также поддержана грантами РФФИ № 14-05-00769 и № 14-05-00875, НШ-2493.2014.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Буренков В.И. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 32-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 751–757.
2. Амбросимов А.К., Лукашин В.Н., Либина Н.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 35-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2012. Т. 52. № 1. С. 150–155.
3. Амбросимов А.К., Кловиткин А.А., Гольдин Ю.А. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 39-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // *Океанология*. 2014. Т. 54. № 3. С. 428–432.
4. Амбросимов А.К., Кловиткин А.А., Артамонова К.В. и др. Комплексные исследования системы Каспийского моря в 41-м рейсе научно-исследова-

- тельского судна “Рифт” // Океанология. 2014. Т. 54. № 5. С. 715–720.
5. Зевин Л.С., Завьялова Л.Л. Количественный рентгенографический фазовый анализ. М.: Недра, 1974. 184 с.
 6. Иванов М.В., Саввичев А.С., Клювиткин А.А. и др. Возобновление сероводородного заражения водной толщи глубоководных впадин Каспийского моря // Докл. РАН. 2013. Т. 453. № 1. С. 76–81.
 7. Каспийское море: Проблемы седиментогенеза / Под ред. Холодова В.Н. и др. М.: Наука, 1989. 184 с.
 8. Кленова М.В., Соловьев В.Ф., Арутюнова Н.М. и др. Современные осадки Каспийского моря. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 304 с.
 9. Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Политова Н.В. и др. Исследование биогенной и абиогенной частей взвеси дельты реки Волги в период весеннего половодья (май 2008 г.) // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 2. С. 151–164.
 10. Куприн П.Н., Ферронский В.И., Поповчак В.П. и др. Состав донных осадков Каспийского моря как показатель изменения его водного режима // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 2. С. 154–172.
 11. Лебедев Л.И., Маев Е.Г., Бордовский О.К., Кулакова Л.С. Осадки Каспийского моря. М.: Наука, 1973. 118 с.
 12. Лебедев Л.И., Алексина И.А., Кулакова Л.С. и др. Каспийское море: Геология и нефтегазоносность. М.: Наука, 1987. 296 с.
 13. Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Дара О.М. Минеральный состав и потоки минералов во взвеси из толщи вод Каспийского моря // Докл. РАН. 2015. Т. 463. № 2. С. 221–225.
 14. Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Новигатский А.Н. и др. Глубоководные обсерватории на транскаспийском разрезе – непрерывные исследования потоков рассеянного осадочного вещества // Докл. РАН. 2014. Т. 456. № 4. С. 485–489.
 15. Лукашин В.Н., Амбросимов А.К., Либица Н.В. и др. Комплексные исследования в северной части Каспийского моря в 30-м рейсе научно-исследовательского судна “Рифт” // Океанология. 2010. Т. 50. № 3. С. 472–476.
 16. Лукашин В.Н., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. и др. О вертикальных потоках вещества в Каспийском море // Океанология. 2014. Т. 54. № 2. С. 216–225.
 17. Лукашин В.Н., Новигатский А.Н. О химическом составе аэрозолей в приводном слое атмосферы среднего Каспия зимой и осенью 2005 г. // Океанология. 2013. Т. 53. № 6. С. 813–824.
 18. Лукашин В.Н., Новигатский А.Н., Клювиткин А.А. и др. Аэрозоли в приводном слое Каспийского моря // Материалы VII Всероссийского Литологического совещания. Новосибирск, 28–31 октября 2013 г. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. Т. II. С. 193–197.
 19. Печенкин И.Г., Печенкин В.Г. Рудогенез в нефтегазоносных бассейнах с эксфильтрационным гидродинамическим режимом // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2009. Т. 4. № 3. С. 1–17.
 20. Рентгенографические методы изучения и структура глинистых минералов / Под ред. Браун Г. М.: Мир, 1965. 600 с.
 21. Хрусталева Ю.П. Закономерности современного осадконакопления в Северном Каспии. Ростов-на-Дону: Ростовский ун-т, 1978. 206 с.
 22. Alldredge A.L., Silver M.W. Characteristics, dynamics and significance of marine snow // Progress in Oceanography. 1988. V. 20. P. 41–82.
 23. Kerpka, P.E. Particle aggregation and the biological activity of colloids // Marine Ecology Project Series. 1994. V. 109. P. 293–304.
 24. Komar P.D., Morse A.P., Small L.F., Fowler S.W. An analysis of sinking rates of natural copepod and euphausiid fecal pellets // Limnol. Oceanogr. 1981. V. 26. P. 172–180.
 25. Lisitzin A.P. Sediment fluxes, natural filtration and sedimentary systems of a “Living Ocean” // Russian Geology and geophysics. Special Issue. 2004. V. 45. P. 12–43.

Mineral Composition of the Sedimentary Matter in the Caspian Sea

V. N. Lukashin, A. P. Lisitzin, O. M. Dara, N. V. Kozina, A. A. Klyvitkin, A. N. Novigatsky

The data on mineral composition of sedimentary material and its fluxes in the sediment system of the Caspian Sea are presented. We consider the river runoff, aerosols, particle matter from the sediment traps and upper layer (0–1 cm) of the bottom sediments. The contents of detrital minerals (quartz, albite and potassic feldspar), clay minerals (illite, chlorite, kaolinite) and carbonates (calcite, Mg-calcite, dolomite, aragonite, rhodochrosite) are determined. We found gypsum in the bottom sediments. It is absent in the other objects of the sediment system of the Caspian Sea.