

Глава 2

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННОГО МАТЕРИАЛА

Выяснению закономерностей пространственного распределения взвешенного материала в водной толще Каспийского моря и изучению его вещественного состава посвящены работы С.В. Бруевича, Б.А. Скопинцева [1946, 1947], М.В. Федосова [1950, 1958], А.С. Пахомовой [1959а,б], Д.Е. Гершановича, З.С. Грундульса [1969], Е.А. Яблонской [1969], Ю.П. Хрусталева [1977] и др. Особо следует отметить исследования, проведенные Т.А. Хачатуровой [1974а,б] и А.Б. Зинковским [1957] под руководством Д.Е. Гершановича.

Анализ литературных сведений и новых данных позволил более детально осветить сезонную динамику количественного распределения взвеси, а также выявить основные закономерности формирования составляющих ее компонентов (минеральной и биогенной).

Вещественный состав взвешенного материала. По вещественно-генетическому признаку выделяются терригенные и хемогенные компоненты, а также органические остатки. В высоком состоянии взвесь представляет собой плотный осадок буроватого, коричневатого, серовато-зеленого и серого цветов. По мнению Д.Е. Гершановича и З.С. Грундульса [1969],

окраска обусловлена интенсивностью аэрации водной толщи, а по нашему мнению [Хрусталев, 1978] – количеством основных составляющих ее компонент – карбонатов кальция и органического вещества. Из-за повышенного содержания карбонатов взвесь восточного шельфа и глубоко-водных впадин окрашена в серый или буровато-серый цвет. Для западного шельфа и Северного Каспия характерна коричневая окраска взвеси, что связано с преобладанием в составе минеральных, преимущественно глинистых частиц, привнесенных с речным стоком [Хачатурова, 1974 а,б]. В вегетационные периоды взвесь может приобретать зеленый цвет за счет остатков синезеленых и диатомовых водорослей.

Минеральная составляющая взвеси Каспийского моря представлена в основном пелитовыми фракциями, количество которых колеблется в широких пределах. Только на мелководье в условиях активного гидродинамического режима и в переходных областях река–море возрастает количество частиц песчаной и алевритовой размерности. По данным гранулометрического анализа единичных проб, отобранных А.С. Пахомовой в 1959 г. в Северном Каспии, содержание фракций 0,1–0,05 мм колебалось от 2,9 до 56,9%, 0,05–1,01 – от 23,5 до 37,2 и менее 0,01 мм – от 17,6 до 63,5%. Минеральные зерна алевритовой размерности встречаются также (до 7%) во взвеси западного мелководья Среднего и Южного Каспия, куда они поступают с речным стоком. Присутствие их на восточном шельфе связано с абразионными процессами, а также с поступлением эолового материала из прилегающих пустынь [Хачатурова, 1974 а,б]. По мере удаления от берега во взвеси не только исчезает алевритовый материал, но и уменьшается содержание крупно- и среднепелитовых частиц. Взвесь иногда на 80–90% представлена субколлоидными минералами в виде сгустков. При увеличении глубин происходит незначительное повышение количества крупного и среднего пелита.

Минеральная часть взвеси состоит из зерен кварца, полевого шпата, обломков горных пород, слюд, субколлоидных минералов, хемогенного и терригенного кальцита и минералов тяжелой фракции. В авандельте Волги во взвешенном состоянии преобладают зерна кварца и полевого шпата. Обращают на себя внимание некоторые различия в минеральном составе взвеси и донных отложений. В осадках преимущественное развитие получил кварц, а во взвеси он незначительно преобладает над полевым шпатом. Это свидетельствует о более высокой транспортабельности полевых шпатов в водной толще по сравнению с кварцем. Казалось бы, и минералы группы слюд должны превалировать во взвеси, широко распространяясь по акватории водоема. Однако ареал их крайне невелик и совпадает с областью повышенных значений в донных отложениях, т.е. ограничивается преддельтовыми отложениями Волги, Терека, Самура. Минералы тяжелой фракции встречаются во взвеси в единичных зернах, как правило, только на продолжении основных русел рек. Количество их может ограниченно возрастать во взвешенном материале наддонного слоя после сильных штормов [Хрусталев, 1971].

В составе взвеси Каспийского моря значительную роль играют органические компоненты, находящиеся на различных стадиях биохимического разложения. По данным микроскопических исследований, а также на основании литературных источников [Гершанович, Грундульс, 1969; Яблон-

ская, 1969; Хачатурова 1974а,б] установлено, что в составе ВОВ (взвешенное органическое вещество) по генетическому признаку выделяются обломки и целые створки морских планктонных водорослей, аллохтонный детрит, остатки зоопланктона, бактерий и органоминеральные сгустки. Органическое вещество аллохтонного происхождения — фрагменты тканей высших растений и пресноводных водорослей — тяготеет к авандельтам рек. Максимальное количество его во взвеси отмечается в период весеннего паводка. Как правило, соотношение генетических групп ВОВ автохтонного происхождения варьирует в широких пределах и определяется продукционными процессами и гидродинамическим режимом. Основу ВОВ Каспийского моря составляют остатки фитопланктона [Бордовский, 1969; Хачатурова, 1974а,б]. Обилие свежего детрита наблюдается, как правило, в Северном Каспии и в продуктирующем слое западного и восточного шельфа Среднего Каспия. Органическое вещество взвеси Южного и центральной части Среднего Каспия представлено преимущественно сильно измененными фрагментами водорослей. Как и следовало ожидать, с глубиной роль минерализованного детрита заметно возрастает: глубже 200 м содержание его достигает 99% [Хачатурова, 1974а,б].

Концентрация ВОВ максимальна в переходных областях системы река-море. Влияние речного стока проявляется не только непосредственно (увеличивается содержание растительного детрита аллохтонного происхождения), но и косвенно (от количества поступающих питательных веществ зависит продуктивность фито- и зоопланктона). Функции его в формировании продуктивности и течении биогеохимических процессов в водной толще значительны и многообразны. Материковый сток определяет соленость и солевой состав вод, оказывая тем самым прямое воздействие на видовые ассоциации фито- и зоопланктона, интенсивность фотосинтеза и скорость минерализации органического вещества.

Распределение ВОВ в Каспийском море подвержено сезонным колебаниям (табл. 7). Увеличение количества планктонных водорослей и уменьшение значимости минеральных частиц отмечается на большей части акватории в летний период [Яблонская, 1969]. В Северном Каспии цикл с повышенным количеством ВОВ несколько растянут, что вполне естественно, так как этому в значительной мере благоприятствует громадный сток питательных веществ с волжскими водами, приходящийся на середину весны и начало лета. Таким образом, в Каспийском море четко выражены биологические сезоны, изменение первичной продукции органического вещества носит пульсационный характер, а концентрация ВОВ варьирует в значительных пределах (рис. 7–9).

Очень часто на шельфе можно наблюдать постепенный рост относительных и абсолютных значений ВОВ по мере увеличения глубин. Подобная ситуация возникает при спокойном гидродинамическом режиме и высокой продуктивности фито- и зоопланктона, когда сочетание этих двух параметров обусловливает более интенсивное осаждение планктонного детрита по сравнению с минеральными частицами пелитовой размерности.

В глубоководных областях Каспия картина распределения ВОВ совершенно иная. Почти на всех станциях содержание органического углерода увеличивается на горизонтах 10–30 и 75–100 м. В первом случае повышение объясняется развитием планктонных организмов в зоне термоклина,

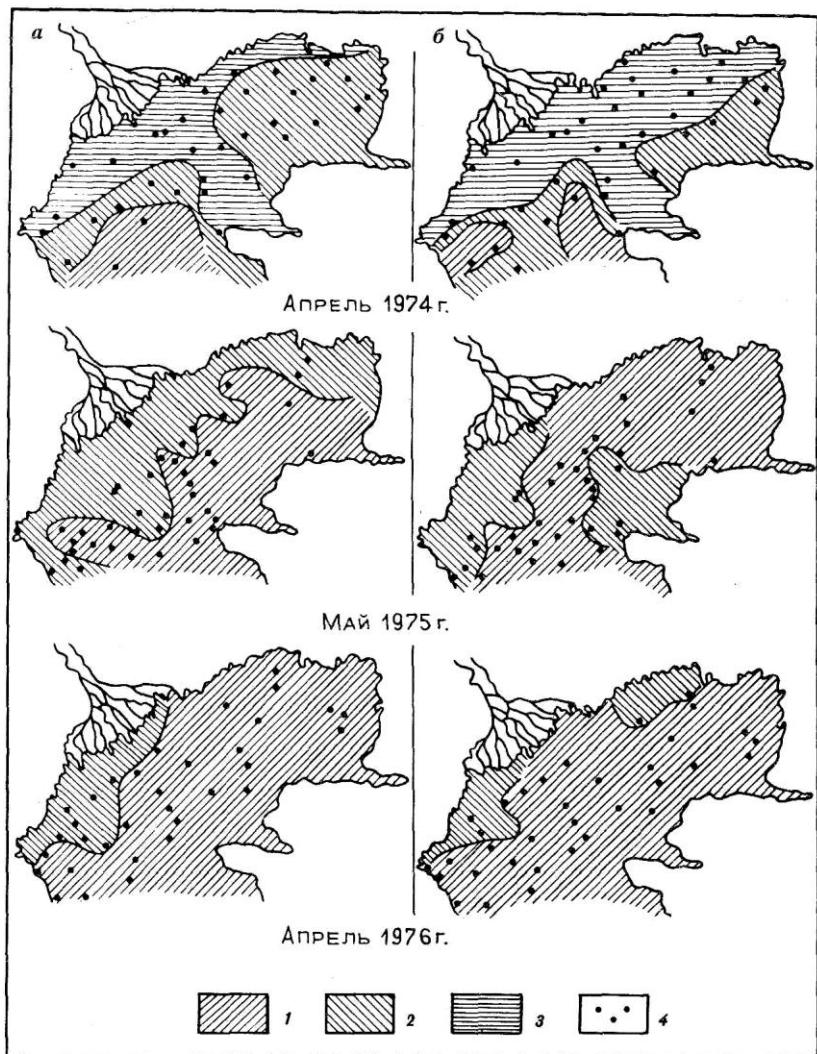


Рис. 7. Распределение ВОВ в поверхностном (а) и наддонном (б) слоях водной толщи Северного Каспия весной 1974–1976 гг., мг/л
1 – < 5; 2 – 5–10; 3 – > 10; 4 – места отбора проб

во втором — плоскостной стратификацией вод, когда в приграничном слое скапливаются оседающие органические остатки [Хачатурова, 1974 а, б]. Минимальные значения приходятся на глубину 100 м, к дну количество планктоногенного детрита постепенно возрастает (рис. 10). Следовательно, вертикальное распределение ВОВ в глубоководных впадинах контролируется нижней границей зоны фотосинтеза, продуктивностью фито- и зоопланктона и их биохимическим составом, гидрологическим режимом и морфологией дна.

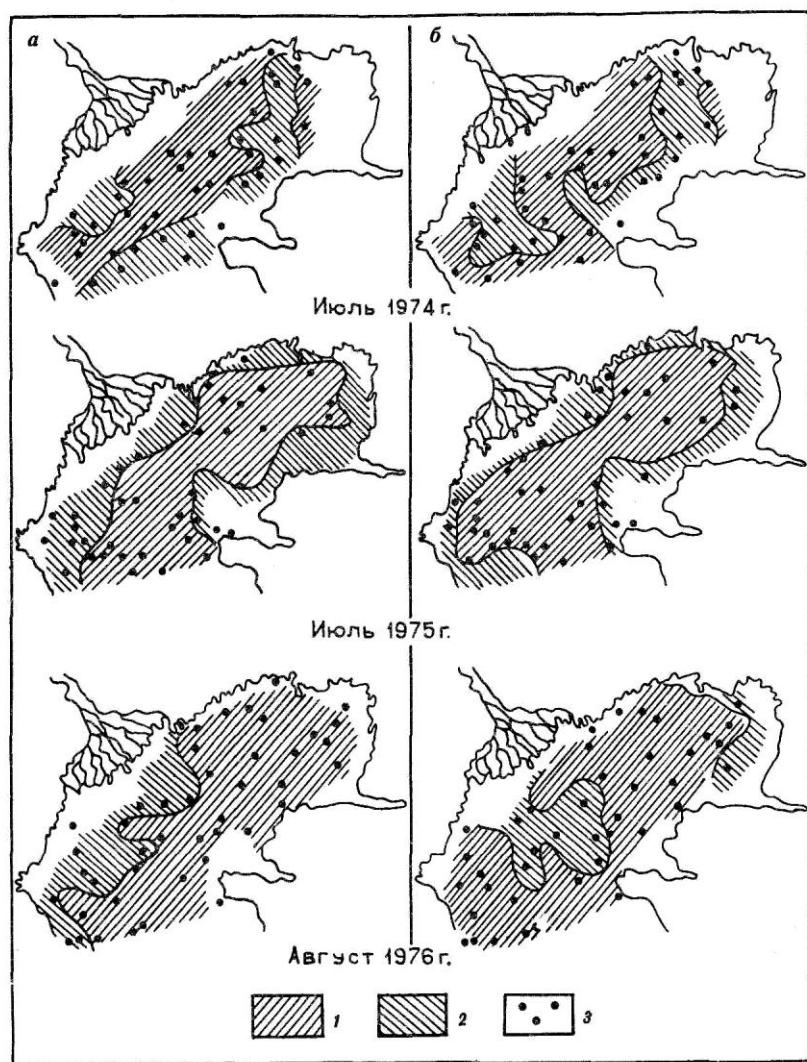


Рис. 8. Распределение ВОВ в поверхностном (а) и наддонном (б) слоях водной толщи Северного Каспия летом 1974–1976 гг., мг/л
 1 – < 5; 2 – > 5; 3 – места отбора проб

Несмотря на значительное поступление органического вещества с речным стоком и эоловыми наносами, основой ВОВ Каспийского моря являются растительные остатки автохтонного происхождения. Среди них преобладает детрит на разных стадиях, чаще всего глубокого биохимического преобразования. Повышенные количества свежих остатков фитопланктона наблюдаются в продукирующем слое, глубже масса их значительно уменьшается и в составе ВОВ преобладают трудно диагностируемые обломки водорослей и зоопланктона.

Таблица 7
Сезонная динамика содержания и объема взвеси в 1974–1976 гг.

Северный Каспий

Показатель	Год	Весна		
		Взвесь	Составляющая	
			минераль- ная	органичес- кая
Содержание по горизонтам, мг/л				
в поверхностном	1974	48,7	41,3	7,4
	1975	30,6	25,9	4,7
	1976	37,9	34,5	3,4
в придонном	1974	53,4	42,6	10,8
	1975	40,7	36,9	3,8
	1976	41,7	37,7	4,0
Среднее содержание взвеси, мг/л	1974	51,0	41,9	9,1
	1975	35,7	31,4	4,3
	1976	39,8	36,1	3,7
Объем взвеси, млн т	1974	20,7	17,0	3,7
	1975	14,5	12,8	1,7
	1976	16,2	14,7	1,5

Примечание. Время отбора проб: 1974 г. – апрель, июль, октябрь; 1975 г. – май, июль, октябрь; 1976 г. – апрель, август, октябрь.

Максимальные значения ВОВ отмечаются в переходных областях системы река–море и на мелководьях; по направлению к глубоководным впадинам содержание его понижается. Поскольку Каспийское море относится к числу высокопродуктивных водоемов, концентрация в нем ВОВ значительно выше, чем в открытом океане и других морях.

Особый интерес с позиций седиментогенеза представляют размерность находящегося во взвешенном состоянии органического вещества и сопоставление ее с гранулометрическим спектром терригенной составляющей. В водной толще морей величина органических остатков в отличие от минеральных частиц изменяется в довольно широких пределах – от 0,001 до 1,0 мм [Яблонская, 1969; Хачатурова, 1974а, б]. По данным микроскопических исследований, в Каспийском море в слое 10–15 м постоянно встречаются остатки фито- и зоопланктона алевритовой размерности. С глубиной количество их уменьшается, и в наддонной воде преобладает детрит размером 0,001–0,01 мм.

Вертикальное изменение гранулометрического состава обусловлено рядом природных факторов, и в первую очередь растворением и механическим разрушением органических остатков в процессе волнового перемешивания водной толщи. И не случайно поэтому в наддонном слое по сравнению с поверхностным возрастает роль детрита и редко встречаются хорошо сохранившиеся остатки планктона. Кроме того, часть дошедших до дна целых панцирей фитопланктона, потребляясь детритофагами и илоедами, разрушается на отдельные обломки. Очевидно, что даже при незначительной глубине водоема крупность ВОВ, претерпевшего значитель-

Взвесь	Лето		Осень			
	Составляющая		Взвесь	Составляющая		
	минераль- ная	органическая				
24,8	20,4	4,4	35,3	31,5	3,8	
30,9	26,4	4,5	44,2	40,6	3,6	
31,3	27,1	4,5	45,6	42,4	3,2	
33,6	28,1	5,5	44,5	39,1	5,4	
30,7	24,9	5,8	52,4	47,9	4,5	
36,3	32,6	4,0	54,0	49,6	4,4	
29,2	24,2	5,0	39,9	35,3	4,6	
30,9	25,7	5,2	48,3	44,3	4,0	
33,8	29,9	3,8	49,8	46,0	3,8	
11,8	9,8	2,0	16,2	14,3	1,9	
12,5	10,4	2,1	19,6	18,0	1,6	
13,7	12,1	1,6	20,2	18,7	1,5	

ные биогеохимические преобразования, уменьшается от поверхности ко дну. Отсюда следует, что чем больше глубина водоема, тем выше степень минерализации органических остатков и меньше их размер.

Наиболее активно распад и минерализация органического вещества протекают в летнее время (июнь–август), что в значительной мере объясняется высокой температурой воды в этот период. Например, в августе за 4 сут органическое вещество отмершего планктона у о-ва Чечень минерализовалось на 99,5%, т.е. практически полностью, у о-ва Тюлений – на 74%, в октябре величина распада органического вещества резко уменьшилась [Федосов, Барсукова, 1959].

Проведенные исследования гранулометрического состава ВОВ позволяют сделать следующие выводы. Повсеместно и независимо от глубины и удаленности от берега во взвешенном состоянии присутствуют остатки фитопланктона различной величины. Это свидетельствует о том, что в распределении органической части не проявляется четко выраженной механической дифференциации, свойственной терригенному материалу. Как правило, во взвеси размеры частиц фитогенного происхождения в десятки, а иногда и в сотни раз превышают размеры минералов. Особенно велико соотношение в поверхностном слое, где органические остатки преимущественно алевритовой размерности ассоциируют зачастую с тонко- и среднепелитовыми фракциями обломочного материала. В наддонном и придонном слоях разница в размерах постепенно уменьшается за счет увеличения диаметра терригенных частиц, дробления и частичного растворения створок водорослей.

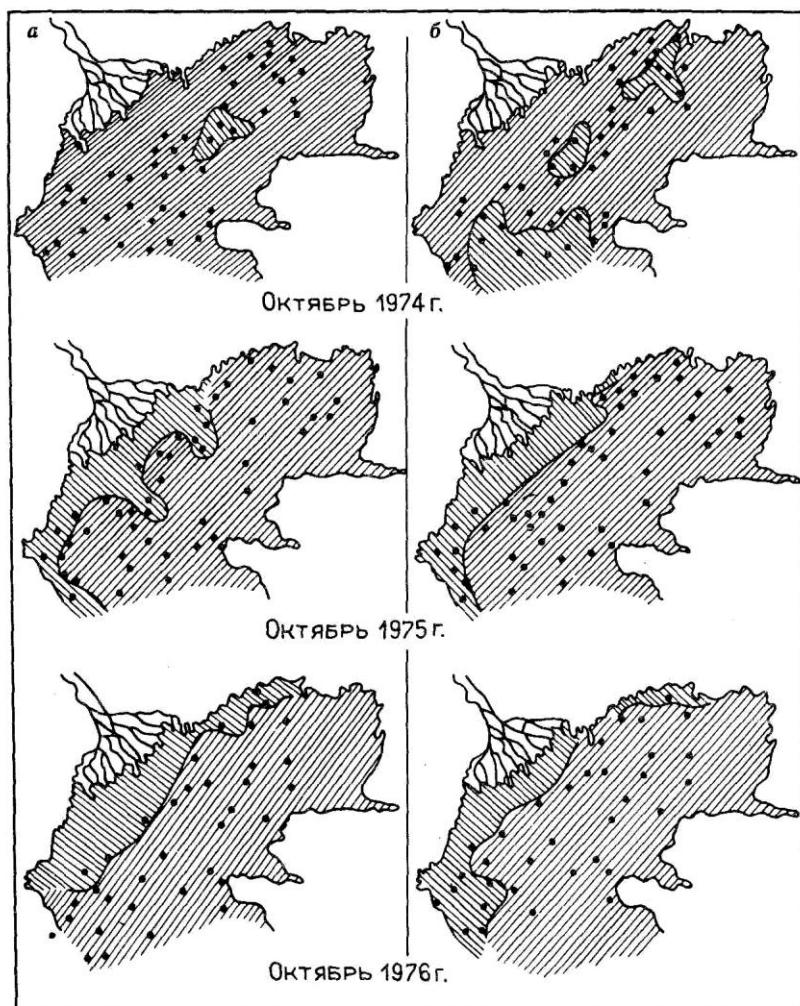


Рис. 9. Распределение ВОВ в поверхностном (а) и наддонном (б) слоях водной толщи Северного Каспия осенью 1974–1976 гг., мг/л
Условные обозначения см. на рис. 8

Обычными компонентами взвеси Каспийского моря являются карбонаты кальция и магния. Только в морях аридной зоны находится во взвешенном состоянии такое многообразие морфогенетических типов и установлены такие высокие концентрации карбонатов [Хрусталев, 1986]. Обычно карбонаты встречаются в виде мельчайших зерен размером немногим более 0,001 мм, игольчатых удлиненных (до 0,01–0,02 мм по длинной оси) кристаллических индивидуумов и лепешковидных образований алевритовой размерности. Первые две морфологические разновидности образуются хемогенным путем, третья –тесным образом связана с речным

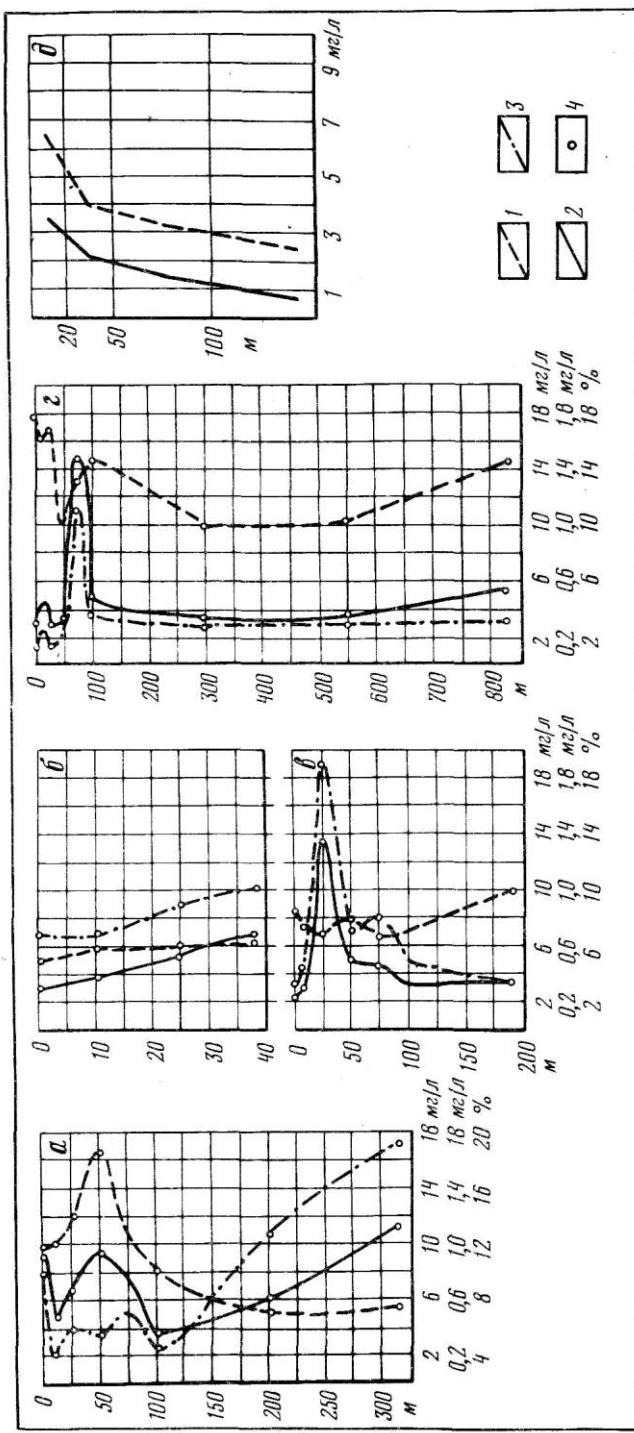


Рис. 10. Вертикальное распределение взвеси и ВОВ в Каспийском море (составлено по данным Т.А. Хачатуровой)
 а — на северной оконечности Дербентской впадины; б — на границе Северного и Среднего Каспия; в — в западной части Дербентской впадины;
 г — в Южно-Каспийской впадине; д — в Среднем Каспии. 1 — взвесь, мг/л; 2 — ВОВ, мг/л; 3 — BOB, %; 4 — места отбора проб

стоком, т.е. имеет обломочное происхождение. В наддонном слое эпизодически после сильных штормов можно наблюдать и раковинный детрит. В преддельтовых областях, особенно Волги и Урала, часто встречаются карбонатно-глинистые агрегаты, представляющие собой скопления карбонатных и главным образом субколлоидных минералов. Образовались они в процессе коагуляции в зоне смешения речных и морских вод. Этому способствует, по-видимому, и абсорбция каолинитом и гидрослюдой ионов кальция.

Во взвеси Каспийского моря находится достаточно большое количество карбонатов. По данным А.С. Пахомовой [1959а,б], в предустьевой области Волги оно колеблется от 1,16 до 11,86%. В восточной части Северного Каспия карбонатность увеличивается до 25, 33%, а около дельты Урала – до 28, 65%. Максимальные значения (до 90%) зафиксированы Т.П. Хачатуровой [1974а,б] в восточной половине Северного Каспия при щилевой погоде.

Поведенные микроскопические исследования показали, что содержание карбоната кальция во взвешенном состоянии подвержено сезонным колебаниям. Максимально количество его (до 60%) в летние месяцы преимущественно на восточном мелководье и в глубоководных впадинах. Карбонаты в это время представлены в основном игольчатыми кристаллами хемогенного происхождения. Весной и осенью концентрация их несколько понижается, в составе взвеси появляется больше лепешковидных образований за счет выносов рек и эоловых наносов. Весной лепешковидный кальцит приурочен к придельтовой области Волги, осенью эта разновидность преобладает на восточном шельфе. Подобное распределение содержаний и морфогенетических типов карбонатов взвеси определяется гидрохимическими и гидродинамическими условиями карбонатонакопления, а также различной ролью источников поступления их в течение года.

Воды Каспийского моря пересыщены карбонатом кальция, в результате чего создаются предпосылки для повсеместной хемогенной его садки. Как показали исследования, проведенные А.С. Пахомовой и Б.М. Затучной [1966], степень насыщения им северокаспийских вод возрастает от весны к лету, достигая своего максимума в августе. Высокие концентрации ионов Ca^{2+} и HCO_3^- зафиксированы в июне и в июле (рис. 11). Вполне понятно и увеличение количества взвешенного карбоната в этот период года. Наибольшее пересыщение карбонатом кальция наблюдается в области между восточной и западной частями Северного Каспия, а также в зоне смешения речных волжских, уральских и морских вод. Именно здесь условия для образования хемогенного кальцита, по-видимому, наиболее благоприятны.

Хемогенная садка кальцита в средней и южной частях Каспийского моря, вероятно, протекает только в поверхностном горизонте и преимущественно на восточном шельфе. Прямые наблюдения, подтверждающие данное предположение, в настоящее время практически отсутствуют, однако имеются косвенные данные. Прежде всего, следует отметить, что в Среднем Каспии уже на глубине 30 м, а в Южном – 60 м насыщение воды CaCO_3 ниже равновесного, т.е. вода пересыщена карбонатом кальция от поверхности до слоя, характеризующегося максимальными градиентами температуры. Глубже насыщенность уменьшается, и на дне она составляет 0,4–0,5% [Пахомова, Затучная, 1966]. Снижение насыщенности глубинных

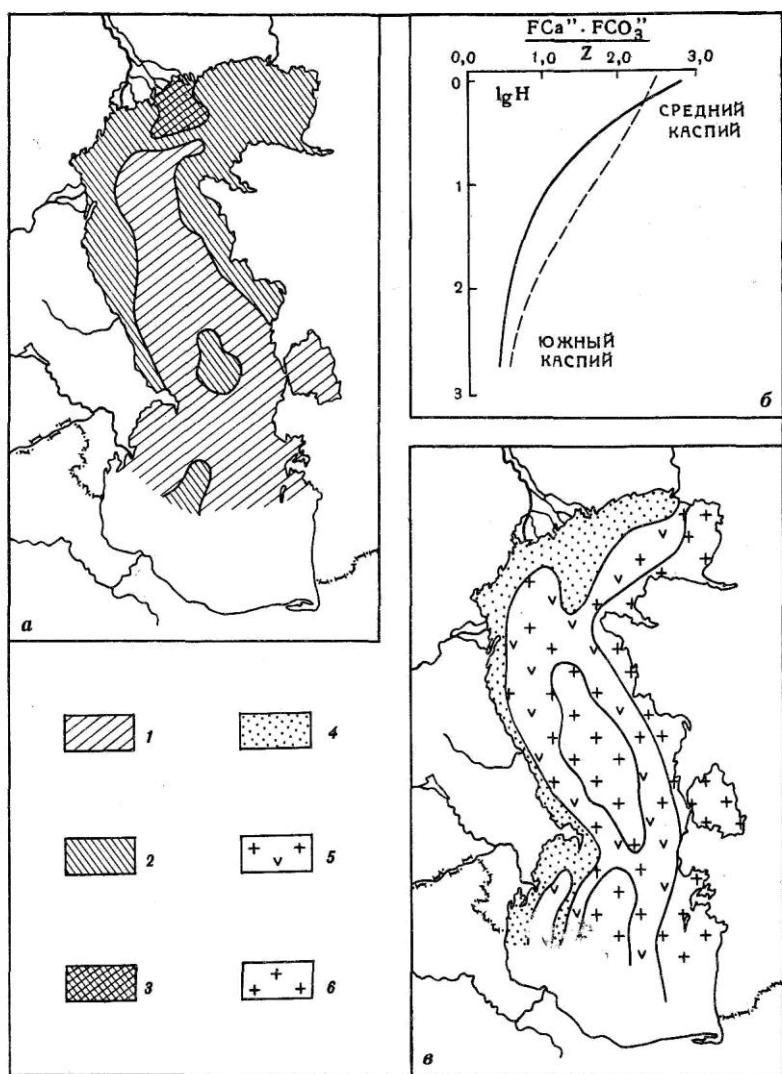


Рис. 11. Распределение величин насыщенности воды карбонатом кальция на поверхности (а) (по А.С. Пахомовой, Б.М. Затучной [1966]) и по вертикали (б) (по А.С. Пахомовой, Б.М. Затучной [1966]) и основные типы взвеси (в) Каспийского моря (с использованием данных Т.А. Хачатуровой [1974])

Степень насыщенности, мг/л: 1 – < 3, 2 – 3–5, 3 – > 5; типы и разновидности взвеси: 4 – терригенный, 5 – органокарбонатно-терригенный, 6 – карбонатно-терригенный

вод Каспийского моря карбонатом кальция, по-видимому, сопровождается частичным растворением образовавшегося в поверхностном слое кальцита. И не случайно поэтому содержание CaCO_3 в донных осадках впадин ниже, чем в пределах западного и особенно восточного шельфа (90%), где он представлен терригенными и биогенными модификациями [Кленова и др., 1962].

Наиболее обогащенной карбонатом является взвесь поверхностного слоя восточного шельфа и центральных районов Среднего и Южного Каспия. Здесь карбонаты совместно с терригенным материалом составляют минеральную основу взвеси. Интенсивно хемогенная садка карбонатов протекает и в Южном Каспии, где взвесь содержит значительное количество игольчатых кристаллов кальцита.

Таким образом, природные условия Каспийского моря позволяют не только существовать во взвешенном состоянии привнесенному с аллювием и эоловой пылью карбонату, но и образовываться хемогенному кальциту. Интенсивность хемогенной садки на акваториях водоема далеко не одинакова. Оптимальные условия для перехода растворенного карбоната в твердую фазу создаются в придельтовых областях рек и особенно во внешней части зоны смешения речных и морских вод. Образование карбоната активно происходит также на открытых мелководьях, замкнутых и полузамкнутых акваториях, характеризующихся высокой температурой и интенсивным испарением, что способствует увеличению солености, изменению основных гидрохимических параметров, в частности росту персыщенности ионами Ca^{2+} и HCO_3^- водной толщи.

Пространственное распределение взвешенного материала. По характеру распределения концентраций и вещественного состава взвеси на акватории Каспийского моря можно выделить четыре области: Северный Каспий, западный и восточный шельф и глубоководные впадины. Наиболее сложны и многообразны процессы седиментогенеза в Северном Каспии. Основные параметры взвешенного материала на его территории определяются совокупностью природных факторов, к числу которых в первую очередь следует отнести твердый и жидкий сток рек, особенно Волги, и гидродинамический режим [Гершанович, Грундульс, 1969; Хрусталев, 1978].

В весенне время максимальные количества взвеси для Северного Каспия отмечаются в устьевых областях Волги и Урала (рис. 12). И это вполне естественно, так как эти реки являются основными поставщиками осадочных веществ в Каспийское море. Следует, однако, отметить, что влияние твердого стока Урала не всегда проявляется контрастно [Хрусталев, 1978]. Объяснение можно найти, анализируя ход внутригодового поступления аллювия этой реки в Северный Каспий. Данные пофиксированному стоку показывают, что максимум паводка в Урале приходится на май [Современный..., 1972]. По аналогичной причине невысоки концентрации взвешенного материала в этот период года и на взморье Терека.

На остальной территории Северного Каспия основную роль в распределении взвеси играет гидродинамический режим. Обычно в весенне время преобладают ветры юго-западного, юго-восточного и северо-восточного румбов со скоростями 3–5, иногда до 10 м/с. В условиях малых глубин, свойственных Северному Каспию, с увеличением скорости ветра возрастает соответственно и подвижность вод, что приводит к взмучиванию поверх-

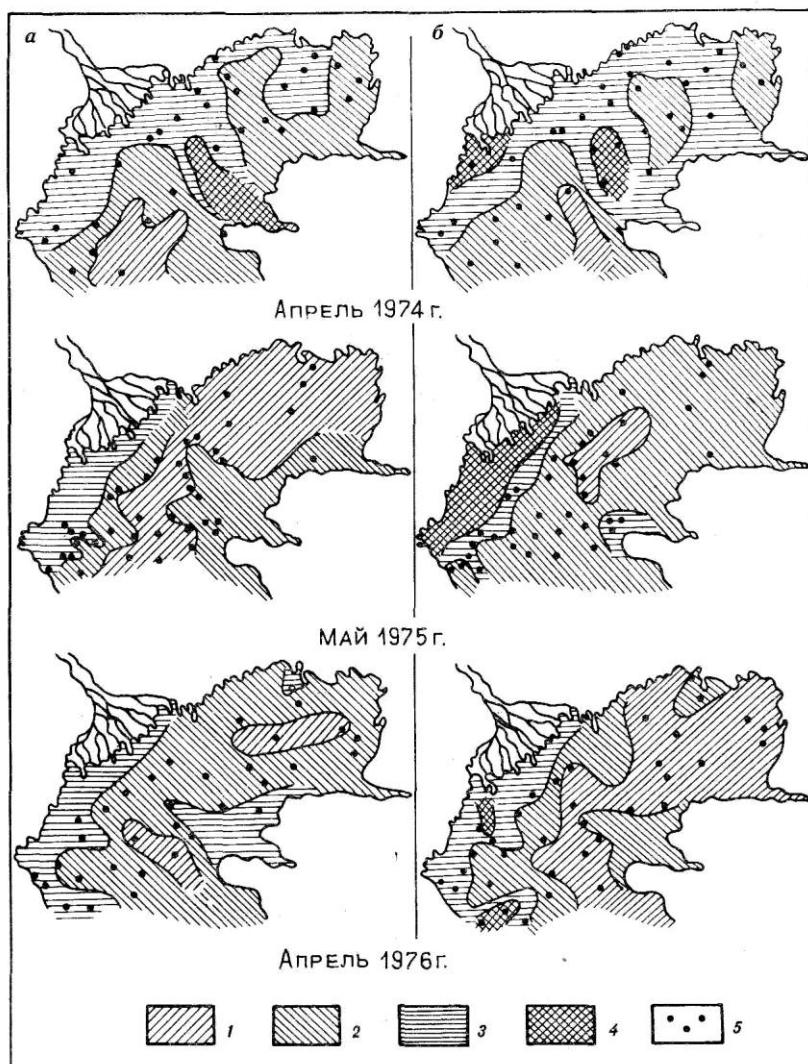


Рис. 12. Распределение взвеси в поверхностном (а) и наддонном (б) слоях водной толщи Северного Каспия весной 1974–1976 гг., мг/л
 1 – < 25; 2 – 25–50; 3 – 50–100; 4 – > 100; 5 – места отбора проб

ностной пленки осадков и обогащению взвешенными веществами наддонного слоя, а местами и всей водной толщи. Существенное воздействие на концентрацию взвеси, особенно в восточной половине Северного Каспия, оказывает привнос золовой пыли при сильных ветрах восточных направлений. Относительно высокое содержание взвешенного вещества можно также увязать с поступлением обломочного материала при таянии льда, содержащего значительные количества золовой пыли, привнесенной в зимнее время.

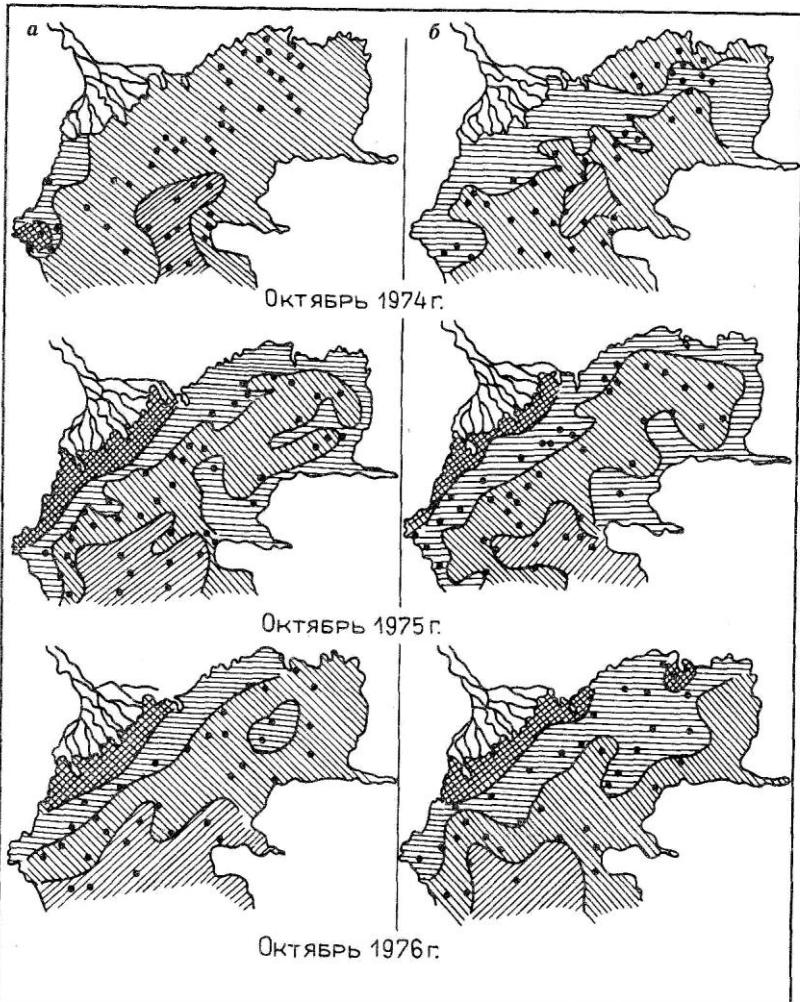


Рис. 13. Распределение взвеси в поверхностном (а) и наддонном (б) слоях водной толщи Северного Каспия осенью 1974–1976 гг., мг/л
Условные обозначения см. на рис. 12

Летом концентрация взвешенного материала в Северном Каспии обычно ниже, чем весной. Этот период характеризуется меньшим речным стоком и более спокойной гидродинамической ситуацией. Роль последнего фактора проявляется наиболее активно на мелководных участках. Как правило, в это время года скорость ветра не превышает 7–8 м/с, а волнение 2–3 баллов. В результате происходит незначительное взмучивание донных отложений и дополнительное обогащение водной толщи взвешенным материалом.

При общем уменьшении количества взвеси содержание органического вещества возрастает и обычно бывает выше, чем в другие периоды го-

да (см. табл. 7). По данным М.С. Куна [1956], у наиболее распространенного вида диатомей Северного Кавказа — ризосолении, а также у синезеленых и перидиниевых водорослей "цветение" происходит при температуре 15 и 20°С соответственно (т.е. в начале лета). Фиксируемые органические остатки и являются результатом активного развития теплолюбивого фитопланктона. На основе приведенных данных можно сделать вывод о том, что в летний период во взвеси Северного Кавказа уменьшается роль терригенной составляющей и увеличивается — органической.

Осенью в западной половине Северного Каспия наблюдается зональность в распределении взвеси: ее количество постепенно уменьшается от устьевых областей Волги и Терека по направлению к морю, что свидетельствует о ведущей роли твердого стока в балансе осадочного материала и в этот промежуток времени. Особенно высокие значения (до 214 мг/л) отмечаются в районе о-ва Чечень (рис. 13). Примечательно, что в поверхностном слое концентрация взвеси выше, чем в наддонном. По-видимому, в это время из Аграханского залива выносятся большие объемы мутных вод, которые расплываются на значительной территории. Гидрохимические условия не благоприятствуют коагуляции и осаждению тонкозернистого материала взвеси, что и сказывается на аномальных ее концентрациях и неравномерном распределении по вертикали. По мере проникновения водных масс на глубоководье мутные воды смешиваются с более чистыми морскими, частично погружаясь на большие глубины. Благодаря этому ареал повышенных концентраций взвеси в наддонном слое увеличивается по сравнению с поверхностным. Осенью содержание ВОВ редко превышает 10%. Как правило, максимальные значения тяготеют к авандельте Волги.

Проведенные исследования показывают, что в Северном Каспии круглый год концентрации взвеси оставались на высоком уровне, испытывая незначительные сезонные изменения. Акватории свойственно увеличение количества взвешенного материала от поверхности к дну, и только периоды сильных и продолжительных штормов сопровождаются относительно равномерным размещением седиментационных веществ.

Механизм распределения взвешенного материала на остальной акватории Каспийского моря также сложен, но менее изучен, чем в северной его части, и в настоящее время может быть представлен лишь в виде принципиальной схемы, отдельные детали которой, естественно, нуждаются в дальнейшем уточнении. Прежде всего, рассматривая вещественный состав взвеси и ее количественные критерии как функции климатической обстановки, складывающейся на водохранилищах и в пределах водоема, следует выделить два основных регулирующих агента, которыми являются, как это было показано для Северного Каспия, речной сток и ветер.

В Среднем Каспии по сравнению с Северным концентрация взвешенного материала изменяется в более узком диапазоне величин: на поверхности водной толщи — от 0,4 до 21,2 и в наддонном слое — от 0,2 до 18,8 мг/л. Взвесь западного шельфа формируется под непосредственным влиянием твердого стока Сулака, Самура, Куры и других малых рек, берущих начало на Кавказе. Эти реки при естественном стоке выносили громадное количество взвешенных веществ. Достаточно отметить, что до зарегулирования сток Куры достигал 37 млн т/год [Пахомова, Затучная, 1966].

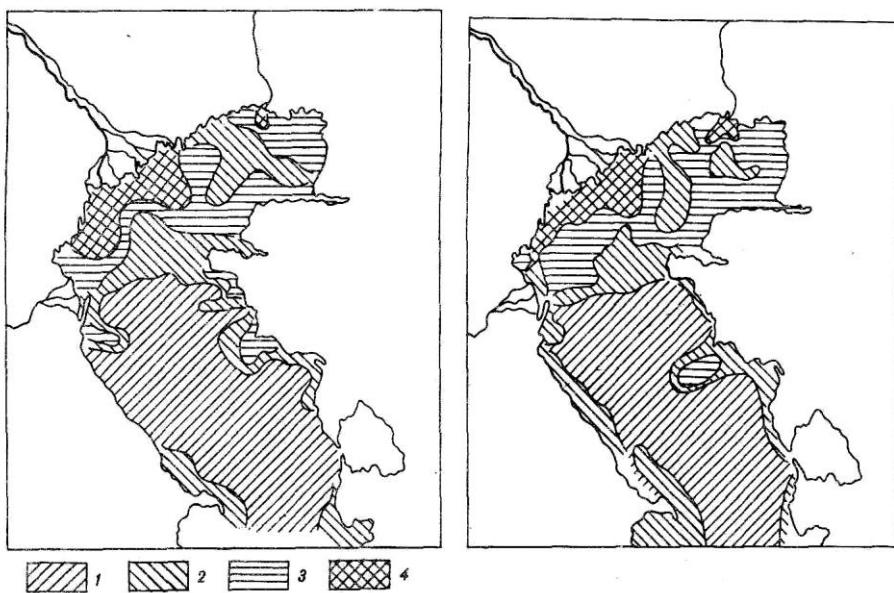


Рис. 14. Распределение взвеси в поверхностном слое водной толщи Каспийского моря, мг/л

1 – < 5; 2 – 5–10; 3 – 10–30; 4 – > 30

Рис. 15. Распределение взвеси в наддонном слое водной толщи Каспийского моря, мг/л
Условные обозначения см. на рис. 14

И, как следствие, концентрация взвеси в пределах западного шельфа достигает максимальных величин для Среднего Каспия. Существенное влияние на количество взвешенного материала оказывают вдольбереговые течения, благодаря воздействию которых из Северного Каспия в Средний поступает достаточно большой объем осадочных веществ. По нашим данным, ежегодно выносится около 13 млн т тонкозернистого материала [Хрусталев, 1978].

Седиментогенез восточного шельфа в отличие от западного протекает в условиях пустынского климата и полного отсутствия речного стока. Как правило, вещественный состав взвеси формируется за счет продуктов абразии берегов и эоловых наносов [Кленова и др., 1962], объем которых значительно уступает речному стоку на западный шельф. Широкое развитие на дне ракушечных осадков также не способствует переходу осадочного материала во взвешенное состояние. Вследствие этого водная толща восточного шельфа по сравнению с западным в 1,5–3 раза беднее взвесью. Особенно велик этот контраст в прибрежной зоне [Яблонская, 1969]. По мере увеличения глубины разница в концентрации постепенно сглаживается. И тем не менее на восточном шельфе отчетливо наблюдаются три ареала с повышенным содержанием взвешенного материала (рис. 14, 15). Первый из них расположен южнее п-ова Тюб-Караган (от мыса Урдюк до мыса Сагындык), второй – мористее Песчаного мыса и третий – в юго-восточной части моря. Возникновение повышенных концентраций

взвеси обусловлено поступлением тонкозернистого кластического материала золового происхождения. Наличие обширных полупустынных областей, прилегающих к восточному побережью Каспийского моря, значительные скорости ветра и беспрепятственность воздушной транспортировки способствуют переносу на мелководье громадных масс золовых наносов [Хрусталев, 1978].

К числу других параметров, обуславливающих различие содержания и вещественного состава взвеси на западном и восточном шельфе Среднего и Южного Каспия, следует отнести гидрохимические условия, являющиеся отражением климатической обстановки. По данным А.С. Пахомовой, Б.М. Затучной [1966], воды западного шельфа имеют пониженную соленость, восточного — повышенную. Различаются и другие элементы гидрохимического режима: щелочно-хлорный коэффициент, рН, насыщенность вод карбонатом кальция. Все это приводит к обогащению взвеси восточного шельфа карбонатом кальция за счет его выпадения из пересыпанной воды в условиях ограниченного поступления терригенного материала. Не исключено также, что своеобразие природной среды определяет и более высокую интенсивность коагуляции.

Сравнение западного и восточного шельфа позволяет проследить влияние климата на количество взвешенного материала в водной толще: оно минимально на восточном шельфе, расположенному в аридной зоне, и максимально — на западном, в пределах которого седimentогенез определяется речным стоком из гумидных областей.

Резкая континентальность климата обуславливает довольно значительный размах сезонных колебаний вещественного состава и количества взвешенного материала. Как показали исследования Е.А. Яблонской [1969], коэффициент сезонных колебаний (соотношение между максимальными и минимальными значениями в различные сезоны года) в наддонном слое верхней части западного (9,0 мг/л в апреле и 5,9 — в июне) и восточного (3,4 мг/л в августе и 2,4 — в апреле) шельфа около 1,5. По мере удаления от прибрежных мелководий закономерно происходит уменьшение взвеси и коэффициента сезонной динамики.

Количество взвешенного материала подвержено не только пространственным, сезонным и межгодовым, но и суточным изменениям. Наблюдения за колебаниями суточных показателей проводились А.Б. Зинковским [1987] на трех стационарах, расположенных в Северном Каспии, на Мангышлакском и Аштеронском порогах. Несмотря на различие природных условий в пределах стационаров общие закономерности, определяющие ход седиментации осадочного материала, проявляются достаточно отчетливо. Установлено, что масштабы синоптической и суточной изменчивости наиболее значительны в Северном Каспии, где концентрации взвеси колеблются с периодами синоптического (4 сут), квазисуточного и суточного характера. На Мангышлакском и Аштеронском порогах масштабы колебаний величин осадочного материала были не столь велики [Зинковский, 1987]. Содержание взвеси в водной толще Каспийского моря является интегральным выражением всей совокупности седиментационных процессов, на что указывают коррелятивные связи между концентрациями ее в 5-метровой толще. Суточная динамика количества взвешенного материала в Каспийском море имеет достаточно выраженные вечерний и ночной макси-

мумы. Все вышеизложенное свидетельствует о высокой динамичности седиментационных процессов в исследуемом водоеме.

Отмеченные различия в концентрации взвеси на западном и восточном щельфах постепенно сглаживаются на подводном склоне, и в глубоководных частях впадин распределение ее обычно равномерно (см. рис. 14, 15). Исключение составляют участки, куда в силу гидрологических или каких-либо других причин поступает повышенное количество седиментационных веществ. Местами на глубинах 500–600 м Южно-Каспийской и Дербентской впадин концентрация взвеси увеличивается до 15 мг/л за счет развития подводных оползней и возникновения суспензионных потоков [Хачатурова, 1974 а, б]. Не исключено, что обогащение глубинных слоев водной толщи может происходить и в результате периодически проявляющегося грязевого вулканизма.

В глубоководных впадинах в зависимости от характера вертикального распределения взвеси можно выделить два слоя: верхний (мощностью до 50–100 м) и глубинный. Их отличие заключается в том, что в верхнем слое процесс седиментогенеза крайне динамичен: по сезонно происходят изменения и вещественного состава, и количества осадочного материала. В глубинном слое стратификация уменьшается и приближается к безразличной [Косарев, 1975], сезонный ход взвеси незначителен, перераспределение взвешенных веществ осуществляется подводными течениями. К тому же сам минеральный материал здесь тонкодисперсный, но не успевает осаждаться в течение длительного времени, тем самым нивелируя сезонные колебания, столь характерные для активного верхнего слоя.

В Среднем и Южном Каспии можно выделить три типа вертикального распределения взвешенного материала. Первый тип свойствен прибрежному мелководью с глубинами до 40–50 м, в пределах которого содержание взвешенных веществ незначительно увеличивается у дна (см. рис. 15). Пространственно данный тип совпадает с зоной взмучивания. Подобное размещение взвеси характерно также для Азовского моря, Северного Каспия и северо-западной части Черного моря. По-видимому, можно сделать вывод о том, что для зон взмучивания закономерен рост взвешенного материала с глубиной. Второй тип характерен, как правило, для внешней части щельфа Каспийского моря. Здесь отмечаются относительно равное количество взвешенного материала во всей водной толще или незначительное уменьшение его у дна. Наиболее сложен третий тип. Почти на всех станциях глубоководных впадин наблюдается максимум концентраций в слое температурного скачка, ниже которого происходит постепенное обеднение водной толщи взвешенным материалом (см. рис. 10). В отличие от Среднего в Южном Каспии пик повышенных содержаний выражен менее рельефно. Аналогичное распределение осадочных веществ отмечается в Черном и Средиземном морях [Емельянов, 1962].

Таким образом, Каспийское море характеризуется контрастным распределением взвешенного материала. Отчетливо выделяются устьевые области рек, где под влиянием поступления с речным стоком терригенных частиц концентрация взвеси постоянно максимальна. По мере удаления от устьев и увеличения глубин содержание взвеси постепенно понижается и достигает величин, свойственных таким морям аридной зоны, как Красное и Аравийское. Это в первую очередь относится к глубоководным впадинам.

Исключением является Северный Каспий, где концентрация взвешенного материала максимальна для морских водоемов и аномальна для данной климатической зоны [Лисицын, 1974]. Основные причины подобного явления — малые размеры и мелководность, благоприятствующие периодическому взмучиванию донных отложений, а также поступление громадных масс терригенного тонкозернистого материала. Для распределения взвеси в Среднем и Южном Каспии характерна циркумконтинентальная зональность: количество осадочного материала максимально в прибрежной полосе и минимально в водной толще глубоководных впадин. Сезонные колебания концентраций взвеси в Каспийском море невелики, в то время как в морях умеренной и холодной зон их коэффициент возрастает в десятки раз [Лисицын, 1974]. По этому показателю оно близко водоемам, расположенным в аридном климате (Аравийское, Красное моря, Аденский залив).

Вещественно-генетические типы и закономерности формирования вещественного состава, взвеси. Каспийское море характеризуется разнообразием вещественного состава взвешенного материала. Как показали исследования, на акватории Каспийского моря выделяются три вещественно-генетических типа взвеси: терригенный, карбонатно-терригенный и органотерригенный.

Терригенный тип широко распространен в Каспийском море. Он тяготеет к предустьевым областям и западному шельфу Среднего и Южного Каспия (см. рис. 11), в пределах которых взвесь образуется в основном за счет твердого стока рек. Обломочный материал представлен преимущественно пелитовыми фракциями, только на взморьях превалируют мелкоалевитовые частицы. В авандельте Волги, Терека в составе органического вещества преобладает аллохтонный детрит [Яблонская, 1969; Хачатурова, 1974 а, б; Хрусталев, 1978].

Карбонатно-терригенная взвесь наблюдается в восточной части Северного Каспия (периодически она охватывает всю Уральскую бороздину), на восточном шельфе и в глубоководных впадинах (см. рис. 11). В пределах шельфа карбонатно-терригенная взвесь характеризуется незначительным количеством органического вещества, повышенным содержанием крупного пелита, а также терригенных и хемогенных карбонатов. Вещественный состав взвешенного материала глубоководных впадин отличается преобладанием тонкопелитовых частиц и широким развитием хемогенного кальцита.

Органотерригенная взвесь в Каспийском море развита ограниченно и встречается чаще всего в периоды вегетации фитопланктона на взморьях рек Волги, Урала, Терека, а также на свale глубин. Органическое вещество, за исключением предустьевых областей рек, представлено остатками синезеленых и диатомовых водорослей, концентрация которых в единичных пробах достигает 50% и более.

Площади распространения различных вещественно-генетических типов крайне непостоянны; выделение их, особенно в мелководных областях, затруднено в связи с постоянными изменениями вещественного состава, которые могут происходить не только по сезонам, но и по более коротким промежуткам времени. Высокая динамичность и разнообразие вещественного состава взвешенного материала являются одной из особенностей се-

диментогенеза не только Каспия, но и других внутренних морей аридной зоны [Хрусталев, 1986]. Обычно максимальные значения взвеси отмечаются осенью и весной, т.е. в сезоны, характеризующиеся повышенной ветровой активностью и более дальним переносом осадочного материала от мест его поступления. Зимой (при наличии ледового покрова) и летом природные условия благоприятствуют осаждению взвешенных веществ в областях аккумуляции, что и предопределяет их низкие концентрации.

С большой убедительностью А.П. Лисицын [1974] показал, что в океане контрасты в распределении концентраций взвеси (сезонные и многолетние) максимального размаха достигают в гумидных областях и слабее выражены в аридных. По-видимому, исключением из этого правила являются внутренние водоемы аридной зоны, получающие основную массу седиментационных веществ из гумидных зон. Сезонный ход концентраций взвеси определяется, помимо речного стока, рядом других природных факторов: гидродинамическим и гидрохимическим режимами, поступлением эоловых наносов и абразионного материала, развитием фитопланктона, интенсивностью биоседиментации и коагуляции и т.д. Поскольку влияние данных параметров неодновременно, сезонные колебания концентраций в годовом цикле несколько нивелируются, но тем не менее они достаточно значительны.

Наиболее рельефно изменение вещественного состава и количества взвеси в устьевых областях рек. Обычно в паводковое время концентрация взвешенного материала резко возрастает, увеличивается количество минеральной компоненты, расширяются ареалы влияния речных вод. Именно с волжским стоком можно связать возникновение первого максимума концентраций взвеси в Северном Каспии в апреле–мае. В этот период года на предустьевом взморье отмечается самое высокое содержание взвешенного материала (250 мг/л). Данный вывод подтверждается и годовым ходом твердого стока, %: зимой – 2, весной – 70, летом – 22, осенью – 6 [Байдин и др., 1956]. Паводок и твердый сток Тerek, Самура, Куры приходятся на более позднее время (май–август). Однако сток растворенных и взвешенных веществ Тerek сказывается на формировании вещественного состава взвеси Каспия лишь ограниченно, подтверждая вывод о том, что основная масса терригенных веществ этой реки аккумулируется непосредственно в Аграханском заливе. Незначительно влияние речного стока и на западном шельфе Среднего и Южного Каспия. Основная причина подобного явления видится в том, что устьевые области Самура, Куры открыты для ветрового и волнового воздействия. В результате поступающее в береговую зону осадочное вещество достаточно быстро выносится в глубоководные впадины.

Вещественный состав, количество и сезонное распределение взвеси существенно зависят от растворенных веществ, выносимых реками. Этот фактор, а также благоприятный температурный режим определяют время и интенсивность цветения фитопланктона, активность хемогенной садки карбонатов. В отличие от твердого стока поступление биогенов несколько задерживается во времени, и, например, максимальное количество их Волгой выносится в мае и июне. В эти два месяца в Северный Каспий поступает до 60% растворенного кремния, азота и до 50%

фосфора [Байдин и др., 1956]. Немного позже намечается максимум гидрохимического стока: в мае–июне выносится более 60% ионов кальция, магния и HCO_3' .

Неодновременность ионного и твердого стока рек обуславливает последовательное изменение вещественного состава и количества взвеси в водной толще переходных областей системы река–море. Первоначально в паводок формируется терригенная составляющая, затем создаются благоприятные условия для обогащения взвеси органическим веществом. В дальнейшем в конце паводка начинается хемогенная садка кальцита. И тем не менее несмотря на многообразие процессов, происходящих в устьевых областях, во все периоды года (за редким исключением) терригенный материал является преобладающим компонентом.

Вне пределов устьевых областей сезонная динамика вещественного состава взвеси менее существенна. Как правило, на мелководьях с глубинами до 100 м зона взмучивания и слой фотосинтеза характеризуются увеличением концентрации в вегетационный период органического вещества, в теплое время года – карбоната кальция, а при сильных штормах – терригенной составляющей. В глубоководных впадинах сезонные колебания соотношений между минеральной и органической компонентами также незначительны. Обычно отмечается изменение качественного состава водорослей, формирующих органическую часть взвеси [Яблонская, 1969]. Объясняется это тем, что минеральный материал во впадинах очень дисперсный и его длительное пребывание в водной толще нивелирует сезонные различия [Лисицын, 1974].

Количество взвешенного материала и его вещественный состав на внутренней части шельфа зависят от гидродинамического режима, действие которого особенно существенно весной и осенью. В это время возрастают частота северо-восточных ветров и продолжительность штормов, следовательно, увеличивается интенсивность перемешивания водной толщи. В зоне взмучивания интенсивность волнового воздействия достигает апогея, определяя экстремальное содержание взвешенного материала и преобладание терригенной составляющей на большей территории шельфа. Нижняя граница зоны взмучивания в Каспийском море приходится на глубины 60–100 м.

Как правило, при интенсивных волнениях во взвешенное состояние переходит поверхностная пленка донных отложений, представленная пелитовыми частицами и органическими коллоидами. Проведенные Д.Е. Гершановичем и З.С. Грундульсом [1969] расчеты показали, что в Северном Каспии при взмучивании пленки на площади 10 000 km^2 и средней мощности взмучиваемого слоя 1 мм во взвешенное состояние переходит 11 млн т осадочного материала. Кроме того, активизация гидродинамических процессов способствует увеличению пелагического цикла деструкции сестона и скорости минерализации органических осадков, благоприятствуя поступлению продуктов распада в зону активного фотосинтеза. В период ветровой депрессии усиливается коагуляция взвешенного материала, повышается скорость осаждения, распад планктонных организмов происходит в основном в придонном слое, что приводит к активному продуцированию в бентали [Хрусталев, 1978].

Усиленная ветровая активность и наличие обширных пустынь и полу-

пустынь, окружающих водоем, обусловили своеобразие седиментогенеза в Каспии – типичном представителе внутриконтинентальных морей аридной зоны. На его акваторию поступает огромная масса золового материала, вызывая резкое повышение концентрации взвеси и коренным образом изменяя ее вещественный состав. Так, ежегодно на акваторию только Северного Каспия с золовой пылью поступает 15,81 млн т терригенных веществ, а для восточного шельфа Среднего и Южного Каспия золовые наносы являются в настоящее время по существу единственным источником осадочного материала.

Влияние золового фактора наиболее интенсивно проявляется весной и летом. Вынос аэрозоля сочетается с повсеместным взмучиванием донных отложений, что способствует увеличению общей концентрации взвешенных веществ в пределах практически всего восточного и западного шельфа. Однако, как показали исследования, количество осадочного материала здесь уступает содержанию взвеси в преддельтовых областях Волги, Урала, Терека, Куры, что может привести к неверному выводу о незначительном поступлении золовой пыли по сравнению с речными выносами. Разница в концентрациях объясняется различным гранулометрическим составом аллювиального и золового материала. Преобладание песчаных и алевритовых частиц в аэрозоли предопределяет их быстрое осаждение в береговой зоне. Переходу в осадок также способствует поступление пелитовых частиц в виде органоминеральных агрегатов.

Каспийское море, как и другие внутриконтинентальные моря аридной зоны, характеризуется высокой интенсивностью коагуляционных процессов [Хрусталев, 1978, 1982, 1986]. Как правило, глинистые минералы в каспийской воде находятся преимущественно в агрегатном состоянии, а не в виде дискретных частиц. Наиболее благоприятные условия для агрегации создаются при высоких концентрациях взвеси (250–300 мг/л) и критической солености 1,56^{0/00} [Скопинцев, 1946, 1947]. Повышение солености и уменьшение количества взвешенного материала резко понижают коагулирующий эффект. В экспериментах установлено, что наиболее склонны к образованию агрегатов субколлоидные частицы. В результате коагуляции паводковой взвеси практически исчезает большая часть фракции менее 0,001 мм. Образовавшиеся агрегаты имели средние размеры 0,0035 мм [Скопинцев, 1946, 1947].

Необходимо отметить и другую особенность седиментогенеза в Каспийском море. Благодаря своеобразному солевому составу каспийских вод и активному проявлению аридного климата в водной толще наряду с агрегатами, состоящими исключительно из глинистых минералов, повсеместно встречаются глинисто-карбонатные образования, в которых пелитовым частицам сопутствует хемогенный (в основном) и терригенный карбонат кальция. Пространственно ареалы коагуляции взвеси и хемогенной садки кальцита в устьевых областях Волги, Урала и Терека совпадают. Причем процессы как коагуляции, так и хемогенной садки наиболее интенсивно протекают на взморье Волги до свала глубин. Аналогичное явление можно наблюдать на восточном и западном шельфах Каспия.

Активно и своеобразно воздействуют на концентрацию и веществ-

венный состав каспийской взвеси различные формы органического вещества. Как считает Б.А. Скопинцев [1946], коагуляция органического вещества, поступившего с речным стоком, в морской воде протекает замедленно, а его присутствие тормозит коагулирующее действие солей. С таким тезисом нельзя полностью согласиться. По-видимому, этот вывод в полной мере относится только к растворенному ОВ. Проведенные микроскопические исследования взвеси указывают на широкое распространение в водной толще Каспийского моря органоминеральных агрегатов, что свидетельствует об одновременном и совместном осаждении растительных остатков и терригенных частиц.

По условиям седиментогенеза акваторию Каспийского моря можно разделить условно на три части. Взвесь одной из них образуется за счет поступления осадочного материала с речным стоком из гумидной зоны и, как правило, состоит из терригенных частиц. Этой акватории (Северный Каспий и западный шельф) свойственны высокие концентрации взвеси и аномальные значения взвешенного органического вещества, не характерные для морей аридной зоны. Резко отличается характер седиментогенеза на восточном шельфе Каспийского моря, куда терригенные частицы поступают с золовой пылью и при абразии берегов. Кроме того, здесь совершенно иные гидрохимические и гидробиологические условия. Воды восточного шельфа пересыщены карбонатом кальция и благоприятны для хемогенной садки кальцита. В то же время они обеднены биогенами, что не способствует активному развитию фитопланктона. В результате здесь резко понижается концентрация взвешенного органического вещества и взвеси, изменяется ее состав: она становится карбонатной, т.е. образование взвеси попадает под влияние климата прилегающих к морю пустынь и полупустынь. Седиментогенез в глубоководных впадинах практически не связан с условиями мобилизации осадочного материала и почти не зависит от его поставки с суши. В качестве ведущего фактора осадкообразования выступает среда самого водоема. И, как следствие, содержание взвеси здесь минимально и в принципе не отличается от количества в типично аридных морях, таких, как Красное или Аравийское. Состав взвеси становится карбонатно-терригенным, концентрация органического вещества незначительна, к тому же степень его минерализации экстремальна для водоема.

Каспийское море характеризуется аномально высокими концентрациями взвеси, что не свойственно, как было показано А.П. Лисицыным [1974], водоемам аридной зоны. Одна из основных причин подобного явления — поступление громадных масс мелкоалевритовых и пелитовых частиц со стоком рек, большая площадь водосборов которых находится в гумидных областях. Аномально высоко и количество взвешенного органического вещества. Здесь влияние оказывает речной сток, определяя интенсивность и циклический характер продукции процессов. Аридность климата находит отражение в постоянном присутствии во взвешенном состоянии карбоната кальция различного генезиса. Благодаря поступлению значительных объемов растворенных веществ и минеральных компонентов из другой климатической зоны седиментогенез Каспийского моря теряет характерные черты, свойственные морским водоемам, расположенным в аридном климате, и приобретает своеобра-

зие, выражающееся в совокупности отдельных черт, свойственных различным климатическим зонам.

Приведенные данные свидетельствуют о многообразии природных факторов, обуславливающих вещественный состав и количество взвешенного материала, и взаимосвязи процессов, происходящих как непосредственно в водной толще водоема, так и на водосборной его площади. В различные периоды года проявление этих факторов различно. В весеннее время – это поступление седиментационных веществ с речным стоком, высокая интенсивность гидродинамических процессов. На летние месяцы приходится седиментация осадочных веществ, в составе взвеси возрастает роль органических остатков и хемогенного кальциита, чему в значительной степени благоприятствуют высокая температура, цветение фитопланктона, перенасыщенность вод карбонатами. Осень сопровождается активизацией гидродинамических процессов, поступлением громадных масс золовой пыли.