

УДК 551.463.8(262.8)

ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДАХ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ*Д. Е. ГЕРШАНОВИЧ и З. С. ГРУНДУЛЬС*

Как известно, северная часть Каспийского моря выделяется своей высокой продуктивностью. Один из важнейших факторов, обуславливающих такую продуктивность — интенсивное воздействие на режим и воды Северного Каспия волжского стока, поставляющего большое количество разнообразных минеральных и органических питательных веществ. Эти вещества поступают в Каспий в растворенном и взвешенном состоянии. Используемые организмами, они включаются в циклы трофических связей, характерных для Северного Каспия, и обеспечивают создание благоприятной для развития многих промысловых рыб кормовой базы.

Высокое содержание взвешенных веществ в водах Северного Каспия постоянно привлекало внимание исследователей. Данные о больших концентрациях взвесей в северокаспийских водах мы находим в работах В. В. Валединского и Б. А. Апполова (1930), П. К. Божича (1939), С. В. Бруевича и Н. И. Аничковой (1941), М. В. Федосова (1949, 1952), И. В. Самойлова (1956), Н. А. Скриптунова (1958), А. С. Пахомовой (1959), Л. Г. Виноградова и Е. А. Яблонской (1965) и ряда других авторов. Вопросы качественного состава взвесей и происхождения отдельных их компонентов рассматриваются Бруевичем и Аничковой (1941), Б. А. Скопинцевым (1947), Федосовым (1949, 1952), Т. И. Горшковой (1951, 1952), П. И. Усачевым (1948), Л. К. Осницкой (1954, 1956), А. И. Жуковой (1955), И. А. Алексиной (1958), М. С. Кун (1959). Большое внимание изучению взвешенных веществ в дельте Волги и в некоторых районах Северного Каспия уделяют Л. А. Барсукова и Н. И. Винецкая.

Существенный интерес при изучении взвешенных веществ представляют также исследования, посвященные донным отложениям Северного Каспия, с которыми при малых глубинах теснейшим образом связано содержание взвесей. Характеристику донных осадков Северного Каспия мы находим в работах М. В. Кленовой и Л. А. Ястребовой (1938—1956), А. С. Пахомовой (1956), Н. М. Арутюновой (1957), М. П. Гудкова и Т. И. Горшковой (1959). К этим исследованиям примыкают и работы Я. А. Бирштейна и Н. Н. Спасского (1953); Е. А. Яблонской (1953), Л. Г. Виноградова (1959) и других, характеризующие донную фауну Северного Каспия.

Изменения в уровне Каспийского моря, колебания жидкого и твердого стока Волги, а также происшедшие изменения очертаний, площади и глубин Северного Каспия заметным образом сказались на количестве и распределении взвесей. Совместные исследования ВНИРО, КаспНИРО и Гидрорыбпроекта, выполненные в 1957 и 1958 гг. и проведенное позднее обобщение их результатов, дали в этом отношении ряд новых данных. Одновременно были получены дополнительные материалы по составу, происхождению и динамике взвешенных веществ. Предлагаемая работа дает характеристику северокаспийских взвесей с учетом итогов обработки проб 1957—1958 гг. и некоторых литературных материалов.

МЕТОДИКА РАБОТЫ

Пробы взвешенных веществ Северного Каспия были собраны в нескольких экспедициях. В июне 1957 г. З. С. Грундульс провела сбор взвесей на 43 станциях, расположенных более или менее равномерно в основных районах Северного Каспия (рис. 1, а). В октябре 1957 г. аналогичные сборы выполнялись Л. Г. Виноградовым и Д. Е. Гершановичем, осуществившими их на 60 станциях (рис. 1, б). В 1958 г. эти работы были продолжены. В мае 1958 г. с целью получения некоторых данных о динамике взвесей в связи с ветровым режимом вели стационарные наблюдения в двух пунктах Северного Каспия. Один из них находился в западной части авандельты на глубине около 3 м вблизи Волго-Каспийского канала, второй — на такой же глубине к югу от восточных рукавов дельты Волги. Наблюдения продолжались 12 дней. Одновременно Е. А. Яблонская и Д. Е. Гершанович собирали взвешенные вещества во многих районах дельты Волги. В июне 1958 г. Е. А. Яблонская собрала взвеси в мористых участках Северного Каспия, а З. С. Грундульс — в мелководных. Эти работы были сопряжены с полной океанографической съемкой всего Северного Каспия и дали наиболее полные результаты (рис. 2).

При исследовании взвесей много внимания уделялось тем разделам работ, которые позволяли судить не только о количественной характеристике взвешенных веществ, но и их качественном составе и происхождении. Особое внимание было уделено органическим компонентам взвесей. Собирали также грунтовые пробы и находящуюся на поверхности грунта окисленную пленку, тесно связанную со взвешенными веществами и имеющую первостепенное значение для питания некоторых бентосных организмов Северного Каспия.

Взвешенные вещества собирали двояким образом. Во-первых, использовали метод отстаивания больших количеств воды, взятых в различных районах. При отстаивании отделяли наиболее крупные частицы, осевшие непосредственно на дно больших бутылей, в которых находились пробы воды; затем с помощью 13%-ного раствора сернокислого алюминия проводили коагуляцию коллоидальных частиц. Применение этого коагулятора для выделения северо-каспийских взвесей описано Горшковой (1951).

Во-вторых, для получения качественных и количественных проб взвешенных веществ широко использовался метод мембранной ультрафильтрации под вакуумом. Это метод, разработанный микробиологами (Разумов, 1932), в последнее время неоднократно применялся при изучении микробиологии и взвешенных веществ Каспийского моря (Крисс, 1956; Осницкая, 1954, 1956; Жукова, 1955; Алексина, 1958) и дал весьма положительные результаты. Для выделения органических частей взве-

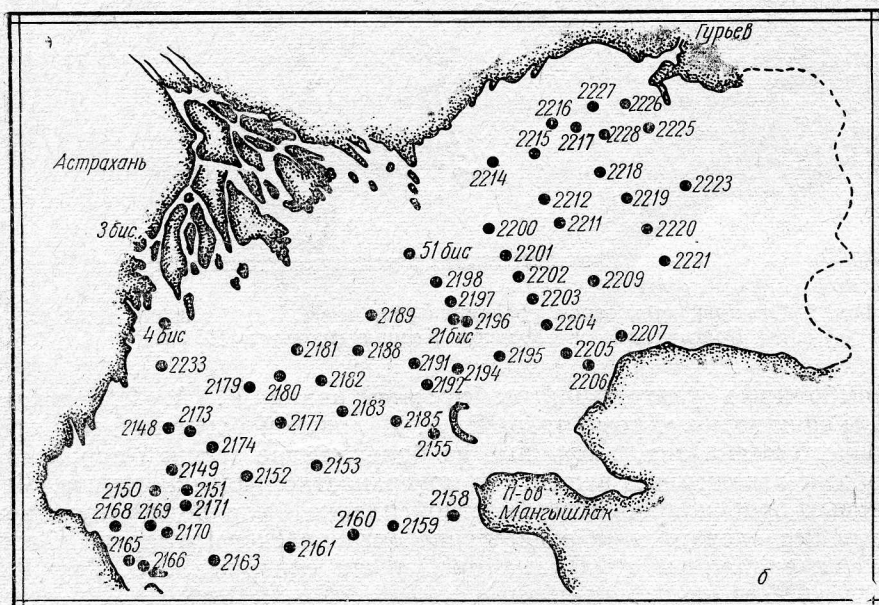
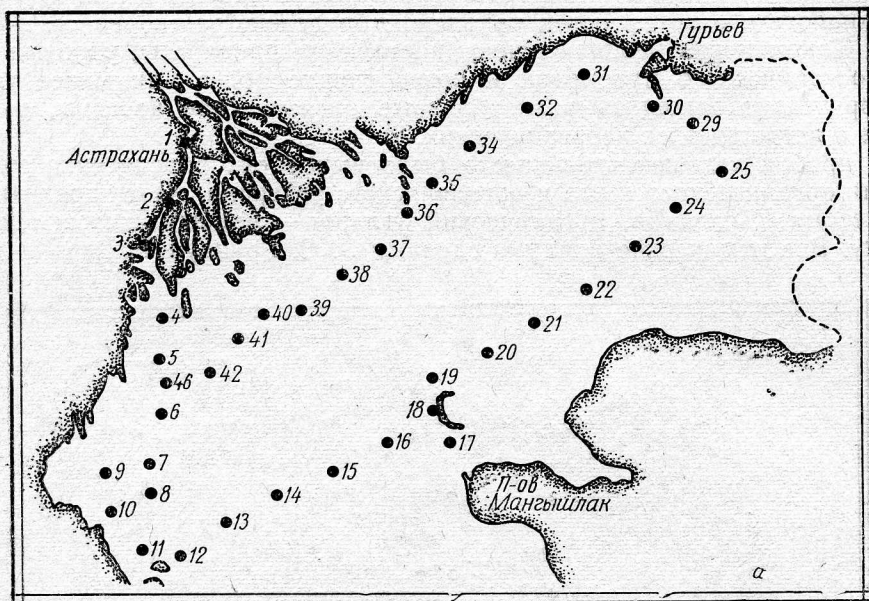


Рис. 1. Станции, на которых проводили сбор взвешенных веществ в Северном Каспии 1957 г.:
 а — в июне; б — в октябре.

сей при последующей обработке мембранных фильтров использовались микробиологические красители.

Мембранные ультрафильтры, главным образом ультрафильтры № 3 с размером пор 0,7 мкм, после фиксации в парах формалина и высушивания окрашивались 1%-ным раствором эритрозина в 5%-ной карболовой кислоте и осветлялись в канадском бальзаме, растворенном в ксилоле. Таким путем были получены постоянные препараты, удобные для микроскопического просмотра и позволяющие более или менее удовлетворительно выделять разнообразные органические частицы, в том числе и детритные, от неорганических.

В пробах взвешенных веществ было выполнено определение содержания органического азота и органического углерода. Азот определялся по методу Кьельдаля, органический углерод — мокрым сжиганием по Кнопу. Все химические анализы сделаны З. С. Грундульс.

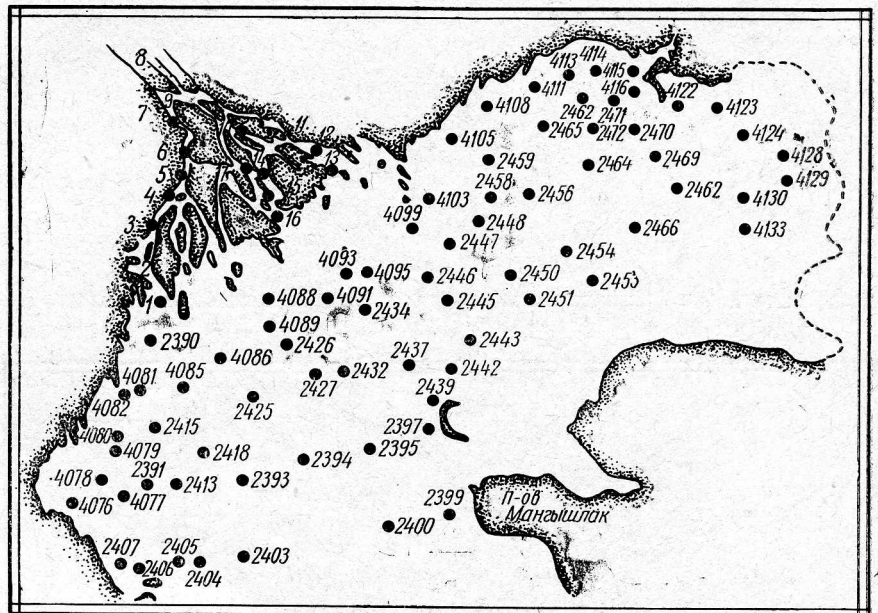


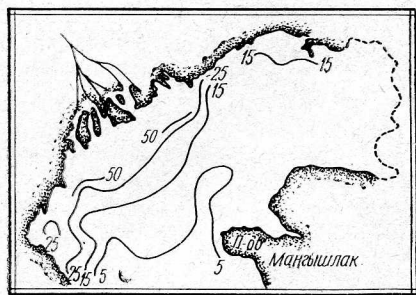
Рис. 2. Станции, на которых проводили сбор взвешенных веществ в дельте Волги (май) и Северном Каспии (июнь) в 1958 г.

Мембранные ультрафильтры просматривали Е. А. Яблонская и Д. Е. Гершанович. Кроме того, Е. А. Яблонской были изучены пробы осадочного планктона, собранные на большинстве станций параллельно с пробами взвешенных веществ и поверхностной пленки грунта. Часть грунтовых проб и проб поверхностной пленки была подвергнута химическому исследованию на содержание органического углерода и азота. Химические анализы грунтовых проб были сделаны З. С. Грундульс.

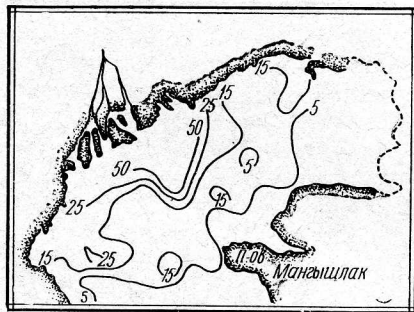
СОДЕРЖАНИЕ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОДАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Исследования 1957—1958 гг., как и ранее выполненные работы (Федосов, 1949), показали, что содержание и пространственное распределение взвешенных веществ в водах Северного Каспия подвержено боль-

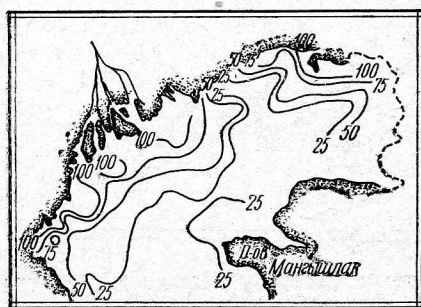
шим колебаниям. На рис. 3, а, б, в приведены данные о концентрациях взвешенных веществ (в воздушносухом состоянии) на 1 л воды по результатам сборов в июне 1957 и 1958 гг. и в октябре 1957 г., на рис. 4 — аналогичные данные по Федосову для июня — июля 1941 г. Мы видим, что и в разные годы и в различные сезоны количество взвесей уменьшается по мере удаления от дельты Волги и по мере увеличения глубин. На всех картах пониженное содержание взвешенных веществ



а



б



в

Рис. 3. Содержание взвешенных веществ в Северном Каспии в 1957 г. (мг/л, поверхность):
а — в июне; б — в октябре;
в — в июне 1958 г.

является характерным для района Уральской бороздины и переходной зоны к Среднему Каспию. Более высокие концентрации взвесей свойственны предустьевым участкам р. Урала. Если принять объем мелководной части Северного Каспия равным 70 км^3 при средней концентрации взвесей в 40 мг/л , а объем остальной части Северного Каспия в 330 км^3 при средней концентрации 10 мг/л , то воды Северного Каспия должны содержать около 6 млн. т взвешенных веществ.

Годовой сток взвешенных наносов для р. Волги у Верхне-Лебяжьего, т. е. у пункта, который принято считать за начало дельты Волги, по Самойлову (1956), составляет 12,5 млн. т. Колебание стока — от 8 до 17 млн. т. Для периода 1954—1957 гг. приводятся несколько большие цифры содержания взвешенных веществ. Так, в частности, в 1955 г. сток взвешенных веществ равнялся 21 млн. т, в 1957 г. — 17,2 млн. т.

С 1959 г. в связи с зарегулированием Волги у Волгограда твердый сток резко сократился и в среднем за 1959—1962 гг. составил 7,9 млн. т (Барсукова, 1965).

Полагая, что значительная часть этого количества взвешенных веществ попадает в Каспийское море, мы видим близость значения поступающей в море части годового твердого стока Волги к общему содержанию взвесей в северокаспийских водах в каждый период проведенных исследований.

Распределение взвешенных веществ в северной части Каспийского моря в июне 1957 г., по данным наших наблюдений (см. рис. 3) и одновременных исследований Пахомовой (1959), вырисовывается в следующем виде. Непосредственно вблизи дельты концентрация взвесей

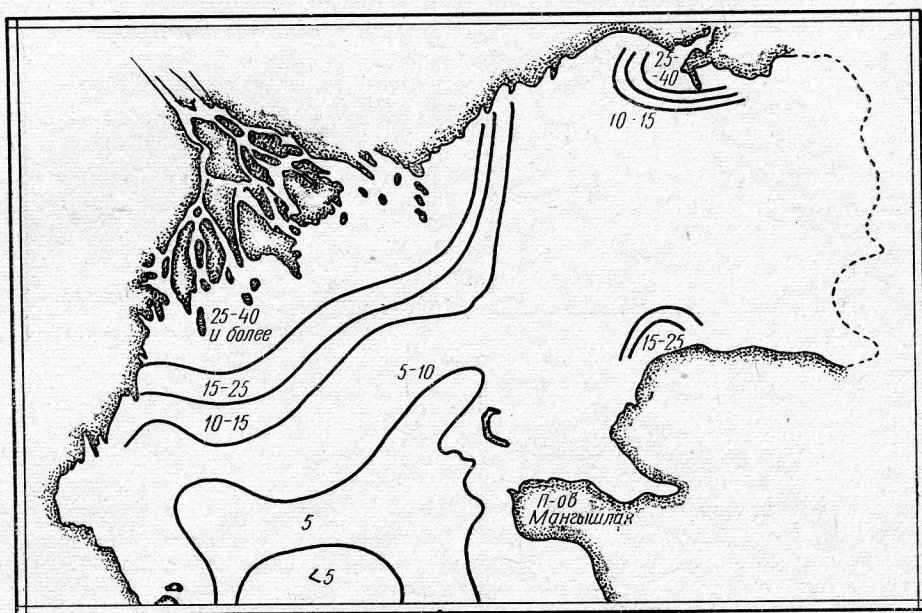


Рис. 4. Содержание взвешенных веществ в Северном Каспии в июне — июле 1941 г. (по М. В. Федосову, мг/л).

оказалась достаточно высокой: в пределах авандельты Волги она превосходила 50 мг/л, к югу от авандельты — 25 мг/л. Близкие концентрации взвешенных веществ прослеживались также на западе Северного Каспия, где, по-видимому, воды движутся в направлении от дельты Волги к Среднему Каспию и где изолинии равного содержания взвесей оказались ориентированными почти по меридиану. В районе так называемого «свала глубин» и близ дельты Урала концентрации взвешенных веществ были несколько меньше — 15—25 мг/л. В центральной части Северного Каспия и в районе Уральской бороздины содержание взвесей изменялось от 5 до 15 мг/л, в зоне перехода к Среднему Каспию количество взвешенных веществ было минимальным и обычно не превосходило 5 мг/л. Таким образом, в июне 1957 г. на значительной части площади Северного Каспия общее содержание взвешенных веществ оказалось сравнительно небольшим. Только вдоль волжской дельты и на западе Северного Каспия, в меньшей степени у дельты Урала находились участки с высокими концентрациями взвешенных веществ. Зона «свала глубин» являлась зоной перехода от больших концентраций к малым. Проникновение волжских взвесей в восточную часть Северного Каспия, насколько можно судить по результатам сборов в июне 1957 г., выражено очень слабо.

Сходное распределение взвешенных веществ в Северном Каспии было

установлено и в июне — июле 1941 г. Карта содержания взвешенных веществ, составленная Федосовым, весьма близка к карте, приведенной на рис. 3.

Распределение взвешенных веществ в северной части Каспийского моря в июне 1958 г. (рис. 3, в) заметно отличалось от того, что наблюдалось в июне 1957 г. Общее содержание взвесей в водах различных районов Северного Каспия в июне 1958 г. оказалось более значительным, нежели в этот же период 1957 г. Так, в пределах авандельты Волги количество взвесей обычно превышало 75 мг/л. Изолинии 50 мг/л охватывали значительно большую площадь в западной части Северного Каспия и в районе к югу от восточных рукавов дельты Волги. Очень высокие концентрации взвесей (более 75 мг/л, а местами более 100 мг/л) прослеживались вблизи дельты Урала. Для района «свала глубин» характерно содержание взвешенных веществ в количестве около 25 мг/л. Эти же концентрации наблюдались на севере Уральской бороздины. Значительно более высокие концентрации были установлены в районе острова Кулалы и полуострова Мангишлак. В зоне перехода от Северного Каспия к Среднему и на большей части Уральской бороздины содержание взвесей было минимальным. Но и оно существенно превосходило количества, установленные в июне 1957 г.

Распределение взвешенных веществ в октябре 1957 г. (рис. 3, б) в своих основных чертах было сходным с июньским распределением этого же года, хотя и несколько отличалось от него. Количественное содержание взвесей в Северном Каспии в октябре 1957 г. для соответствующих районов было примерно таким же, как и в июне. Сравнительно четко вырисовывался язык повышенных концентраций взвешенных веществ против восточных рукавов дельты Волги, который в июне 1957 г. не имел столь резких очертаний, но превосходно был выражен в июне 1958 г. Участки с содержанием взвесей 25 мг/л и более несколько сместились к северу и сократились по площади. Уменьшилось количество взвешенных веществ в районе Уральской бороздины и к югу от «свала глубин». Не столь четко прослеживался вынос взвешенных веществ с севера на юг вдоль западного берега Северного Каспия, хорошо выраженный в июне. Учитывая, что гидрологический режим Северного Каспия в первую очередь зависит от волжского стока и ветрового режима, рассмотрим некоторые данные о стоке р. Волги в 1957 и 1958 гг. и ветровом режиме в период исследований и связь стока и ветрового режима с концентрациями взвешенных веществ.

В табл. 1 приводятся среднемесячные расходы воды и взвешенных веществ в 1957 и 1958 гг. по данным Волжской устьевой станции для Верхне-Лебяжьего, любезно предоставленные Ф. Н. Линбергом.

Таблица 1
Среднемесячные расходы воды (м³/сек) и взвешенных наносов (кг/сек)
у Верхне-Лебяжьего в 1957 и 1958 гг. по данным Волжской устьевой станции

Год	Месяц												Средне- довой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>Среднемесячные расходы воды</i>													
1957	4390	5090	4660	8 000	20 300	23 200	7 270	6210	4840	4950	4950	4710	8210
1958	4480	6470	9670	10 500	15 900	22 900	10 400	6280	5700	4930	4480	3040	8750
<i>Среднемесячные расходы взвешенных наносов</i>													
1957	43,4	50,4	53,4	1020	3610	1250	213	122	68,4	73,2	63,4	47,3	552
1958	86,3	165	343	746	1710	1720	379	143	123	100	80,8	74,3	472

Из табл. 1 видно, что 1957 и 1958 гг. были многоводными годами, сравнительно близкими по величинам жидкого и твердого (взвешенного) стоков. Несколько большим жидким стоком характеризовался 1958 г., нежели 1957 г., как в течение всего года, так и в паводковый период, особенно в начале его. Твердый сток, судя по данным Волжской устьевой станции, наоборот, в 1957 г. был выше, чем в 1958 г. Это наблюдалось не только за весь год, но и за время максимального содержания взвешенных веществ в Волге — в апреле и мае. Именно апрельские и майские концентрации взвесей в дельте Волги могли бы существенно сказаться на количестве взвешенных веществ в водах Северного Каспия в июне 1957 и 1958 гг.

Известно, что содержание взвешенных веществ в водах дельты Волги в различное время года резко меняется. Максимальное содержание взвешенных веществ может достигать 100—300 мг/л и более. Минимальное количество взвешенных веществ в дельте Волги составляет — 5—15 мг/л. Количество взвешенных веществ в течение года приводится по Барсуковой в табл. 2.

Таблица 2

Количество взвешенных веществ (мг/л воздушносухой массы) в воде Волги и различных участков Волжской дельты (по Барсуковой, 1956)

Участки	Год	Месяц										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Волга (у Астрахани)	1950	—	—	—	16	231	58	30	31	38	61	36
	1951	8	—	7	292	114	43	24	15	15	9	15
Дельта Белинского банка	1950	—	—	—	—	191	54	28	31	23	—	—
	1951	—	—	—	278	113	53	33	28	25	—	—
Кировского Авандельта	1950	—	—	—	—	172	47	43	37	24	—	—
	1951	—	—	—	201	109	23	13	17	18	—	—

Наблюдения, проведенные в дельте Волги во второй половине июня и в начале 1957 г., показали, что содержание взвешенных веществ в Главном банке и в Волго-Каспийском канале было примерно одинаковым и составляло 53—60 мг/л. Уменьшение концентраций взвешенных веществ по мере движения от Астрахани к Астраханскому рейду прослеживалось весьма слабо. Совершенно иным и значительно меньшим оказалось содержание взвешенных веществ в малых протоках, ильменах и култуках на западе дельты. Количество взвешенных веществ в Сазаньем култуке было 35 мг/л, в ильмене Дубном — 23 мг/л, Паразитном ерике — 19 мг/л, реке Быстрой — 16 мг/л. Таким образом, воды, проходящие вне основных протоков дельты, содержали в это время меньшее количество взвешенных частиц и соответственно меньше выносили их в открытое море.

Данные, полученные в 1958 г., относятся к несколько более раннему периоду — к маю. Определение концентраций взвешенных веществ, которые сделаны в 17 точках дельты Волги, дали значительно более высокие содержания взвесей (табл. 3). Во многих случаях можно было наблюдать концентрации 200—300 мг/л.

Таблица 3

Содержание взвешенных веществ в поверхностном слое воды дельты Волги
14—16 мая 1958 г.

Участки	мг/л	Участки	мг/л
Волга у Верхне-Лебяжьего	360	Бузан ниже Ново-Урусовки . . .	390
Волга у Дурное	195	Бузан ниже Красного Яра	250
Волга выше Карантинного	100	Бузан, Кривой Бузан	335
Волга у истока Кизанки	225	Сумница Широкая	120
Главный банк у с. Бахтемир	75	Иголжинский банк	300
Главный банк ниже Маячного	240	Р. Бол, Болда, Яманцуг	295
Главный банк в районе Седлистого	320	Р. Таловая, ниже Володаровки	210
Главный банк, низовье	365	Р. Бушма, выше Зеленги	168
		Белинский банк, низовье	183

Содержание взвешенных веществ было особенно значительным в районе Верхне-Лебяжьего и в отдельных участках системы Бузана. Много взвесей наблюдалось также в низовьях Главного банка. В остальных участках дельты концентрации взвесей составляли около 200 мг/л и ниже.

Большое количество взвешенных веществ в дельте Волги в середине мая 1958 г. было обусловлено тем, что именно в это время дельтовые воды были наиболее насыщены взвешенными частицами. В 1957 г. взвешенные вещества в дельте Волги собирали тогда, когда пик мутности уже прошел и содержание взвесей понизилось. В октябре 1957 г. наши наблюдения за концентрациями взвешенных веществ в дельте были более ограниченными. Количество взвеси в Главном банке составляло примерно 30 мг/л.

Характеризуя распределение твердого стока в дельте Волги, Самойлов отмечает, что «в восточную часть дельты (Бузан, Ахтуба, Б. Болда, Рычан) уходит 45,5% водного стока и 51,5% твердого стока, причем средняя мутность 66 г/м³. В западную часть дельты (Бахтемир, Старая Волга, Камызяк) уходит 54,5% водного стока и 48,5% твердого стока, причем средняя мутность составляет 51 г/м³». Причину подобного распределения стока Самойлов (1956) видит в том, что в восточные рукава дельты относительно большой водный сток поступает в период половодья, когда мутность волжских вод максимальна. На востоке дельты Волги поступление взвешенных веществ в море весной должно быть столь же значительным, если не более, как и на западе. Осенью же происходит наоборот. Сопоставляя имеющиеся данные о содержании взвешенных веществ в дельте Волги и Северном Каспии, нельзя не отметить ряд характерных особенностей, присущих в этом отношении северокаспийским водам.

Мы видели, что 1957 г. был сравнительно многоводным годом, когда вынос взвешенных веществ паводочными водами, несмотря на зарегулирование стока, был значительным. Это во многом обусловило повышенные июньские концентрации взвеси в водах, прилегающих к морскому краю дельты Волги. Еще более многоводным был 1958 г. В 1958 г. паводок начался раньше (по сравнению с 1957 г.) и обусловил поступление большего количества взвешенных веществ в Северный

Каспий. Иная картина наблюдалась в октябре 1957 г. В это время отсутствовало существенное влияние волжских выносов. Но в противоположность дельте Волги различие между июньскими и октябрьскими концентрациями взвесей в 1957 г. в Северном Каспии не столь велико и практически являлось более или менее существенным лишь в тех участках, где заметно сказывалось воздействие волжских вод. Возможно, что в этом отношении известную роль сыграли те повышенные количества воды, которые поступали в Северный Каспий в послепаводковое время и приносили несколько большее количество взвешенных частиц в результате спуска воды из водохранилищ, нежели ранее в условиях незарегулированного стока. Однако дополнительное поступление взвеси никак нельзя считать таким же крупным, как и во время паводка. Об этом достаточно убедительно говорят низкие содержания взвешенных веществ в Главном банке в октябре 1957 г.

Из данных табл. 2 и из наших данных (см. табл. 3, рис. 3, а, б, в) следует, что в период половодья содержание взвешенных веществ оказывается высоким не только в самой дельте, но и в авандельте. Однако если весной количество взвесей в авандельте значительно меньше, чем в основных протоках дельты, то в период летне-осеннего минимума взвесей разница в концентрациях взвесей в водах дельты и авандельты резко сокращается, а иногда даже наблюдается обратная картина — воды авандельты содержат больше взвешенных веществ.

Мы приходим, таким образом, к выводу, что влияние волжского паводкового стока на содержание взвешенных веществ в Северном Каспии не столь велико, как можно было бы ожидать. Это влияние совершенно ясно прослеживается в районах, наиболее тесно связанных с волжскими водами. Для остальных частей акватории Северного Каспия оно выражено значительно слабее, а в зоне интенсивного водообмена со Средним Каспием наблюдается лишь в западной части. Количество взвешенных веществ здесь зависит не столько от интенсивности волжского паводка, сколько, как это было отмечено Федосовым (1949), от иных факторов.

Каковы же причины, вынуждающие большую часть взвесей, приносимых волжскими водами, не выходить за пределы прилегающих к дельте ограниченных участков Северного Каспия? В настоящее время еще трудно дать четкий ответ на этот вопрос. По-видимому, таких причин несколько и среди них основную роль приходится приписывать гидродинамическим факторам. В авандельте Волги и во всем мелководном пространстве, прилегающем к авандельте с морской стороны, воды движутся медленнее, чем воды волжской дельты. Резкое уменьшение скоростей создает здесь благоприятные условия для осаждения значительного количества принесенных частиц, главным образом наиболее крупных. В немалой степени осаждению способствуют и процессы коагуляции, которые достаточно интенсивно протекают при большом содержании взвесей (Скопинцев, 1947) в подвижной зоне перехода пресных вод в слабо солоноватые. В другие районы Северного Каспия попадает уже меньшее количество разнообразных взвешенных частиц, принесенных Волгой. Оседая на дно, эти частицы входят в состав поверхностной окисленной пленки, весьма характерной для многих донных осадков Северного Каспия.

Как видно из рис. 5, именно в этих районах сосредоточены основные участки развития поверхностной пленки. Большое значение имеет также задержка взвешенных частиц зарослями макрофитов (Добротова, 1940).

Важным фактором, влияющим на содержание взвешенных веществ

в водах Северного Каспия, является ветровой режим. В условиях малых глубин, что характерно для большей части Северного Каспия, изменение скорости ветра приводит к увеличению или уменьшению подвижности вод и соответственно в результате взмучиваемости дон-

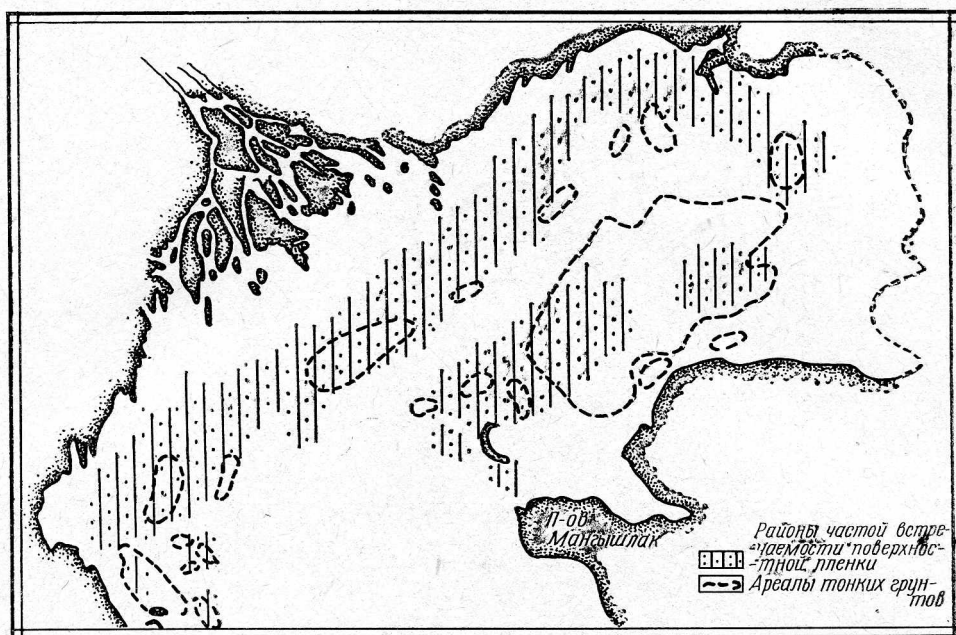
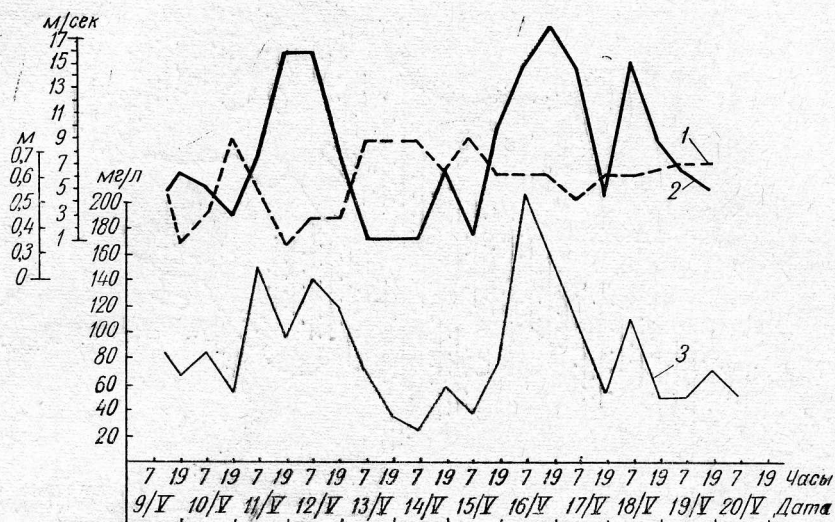


Рис. 5. Распространение поверхностной окисленной пленки в грунтах Северного Каспия по наблюдениям, проведенным в июне и октябре 1957 г.

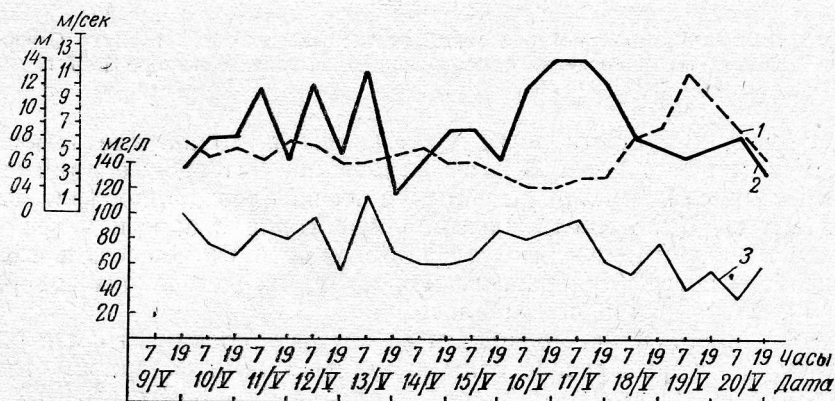
ных осадков к существенным колебаниям в количестве взвешенных веществ в морской воде. В этом отношении интересные данные были получены при стационарных наблюдениях на плавзаводах (рис. 6, а, б). Как и можно было предполагать, возрастание скорости ветра сопровождалось возрастанием концентраций взвешенных веществ и наоборот. Направление ветра (при равных скоростях) на изменениях содержания взвесей практически не сказывалось.

Так как наблюдения проводили во время паводка (май) и в районах авандельты, которые всегда отличаются высокими содержаниями взвесей, то и при малых (0—1 м/сек) и при значительных (10—15 м/сек) скоростях ветра количество взвешенных веществ всегда оставалось повышенным: в западной части авандельты они были несколько большими и составляли в среднем 90 мг/л, в восточной — 70 мг/л. Отдельные колебания все же достигали почти 100—120 мг/л на западе и 70 мг/л на востоке. Увеличение амплитуды колебаний на западе было обусловлено тем, что там наблюдались более сильные ветры. Но связь между скоростью ветра и содержанием взвесей прослеживается не только на малых глубинах авандельты. Данные о ветре во время взятия проб взвешенных веществ в июне 1957 и 1958 гг. и в октябре 1957 г. показывают, что скорость ветра в пределах Северного Каспия в октябре 1957 г. составляла в среднем 2,3 м/сек, в июне 1958 г. — в среднем 3,4 м/сек. В июне 1957 г. средняя скорость ветра при взятии проб взвешенных веществ составляла 2,7 м/сек. Таким же образом, как

мы видели, менялись и концентрации взвесей. Показательно, что средняя скорость ветра в период наблюдений и само содержание взвешенных веществ изменялись в значительно меньших размерах, нежели количество взвешенных частиц, поставляемых Волгой в июне и октябре.



а



б

Рис. 6. Изменение содержания взвешенных веществ в поверхностном слое воды авандельты Волги и прозрачности в зависимости от скорости ветра:
 а — западная часть авандельты; б — восточная часть авандельты;
 1 — прозрачность; 2 — скорость ветра; 3 — концентрация взвешенных веществ.

С повышенной скоростью ветра (до 10—15 м/сек) связаны очень высокие концентрации взвесей — 100 мг/л и более — на многих станциях к востоку от дельты Урала, установленные в июне 1958 г., и на некоторых станциях авандельты.

Ветровой режим и подвижность вод Северного Каспия, следовательно, оказываются чрезвычайно существенным фактором содержания взвешенных веществ. Это подтверждается, в частности, и следующим простым расчетом.

Во взвешенное состояние особенно легко переходит тонкая поверхностная пленка грунта. Если принять площадь, покрытую заметным слоем этой пленки в $10\,000\text{ км}^2$ (см рис. 5), плотность пленки считать

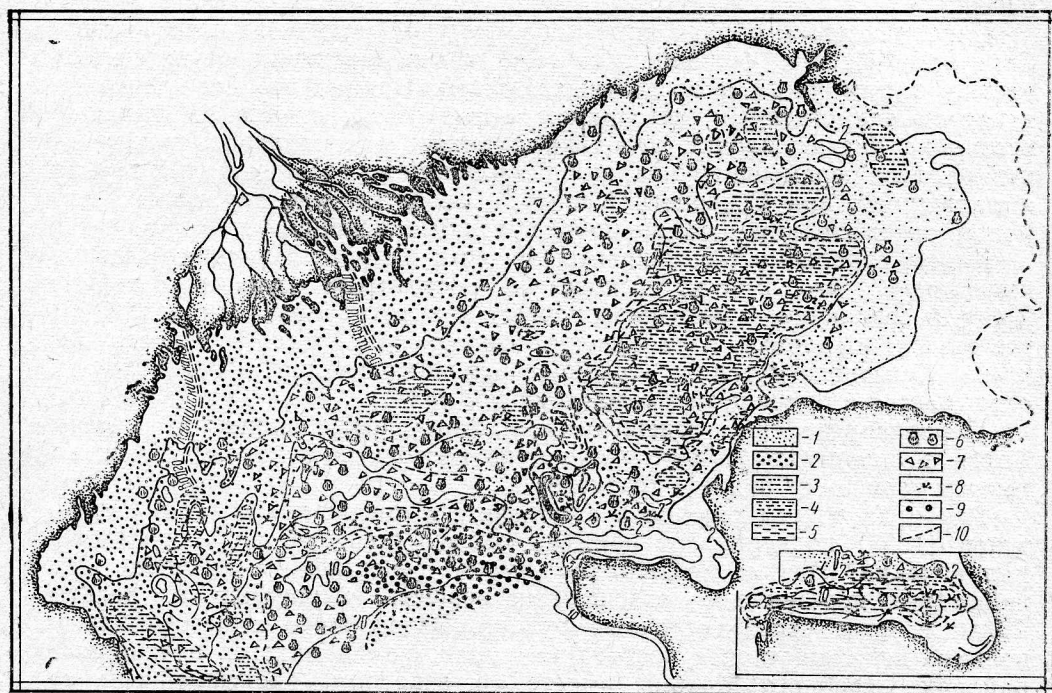


Рис. 7. Грунтовая карта северной части Каспийского моря (по А. С. Пахомовой), 1956: 1 — пылеватый песок; 2 — крупный песок; 3 — илистый песок; 4 — песчанистый ил; 5 — ил; 6 — ракушка; 7 — битая ракушка; 8 — водоросли; 9 — гравий; 10 — граница ареала распространения грунта.

равной $1,1$, а среднюю мощность взмучиваемого слоя только в 1 мм , то и тогда окажется, что в пределах Северного Каспия находится не менее 11 млн. т этой пленки, легко переходящей во взвешенное состояние. Указанная цифра превосходит общее содержание взвешенных веществ в водах Северного Каспия и близка к величине ежегодного твердого стока Волги. При большей мощности слоя взмучивания эта цифра может возрасти.

Нельзя не подчеркнуть, что там, где залегают трудно взмучиваемые отложения, обедненные мельчайшими частицами, например ракуша, мы наблюдаем обычно и наименьшие концентрации взвешенных веществ. Об этом убедительно свидетельствует сопоставление грунтовой карты (рис. 7) и карты распространения поверхностной пленки (см. рис. 5) с картами содержания взвешенных веществ в водах Северного Каспия (см. рис. 3, а, б, в).

Близость июньских и октябрьских концентраций взвешенных веществ для 1957 г. также может быть объяснена только тем, что

подвижные воды Северного Каспия получают значительную часть взвешенных частиц не из волжского твердого стока, а в результате взмучивания и перебива донных осадков.

Взвешенный сток Волги, поступающий в море, в значительной степени пополняет общее содержание частиц в пленке и взвешенных веществах Северного Каспия. Этим самым, по-видимому, достигается компенсация того количества частиц, которое уносится за пределы Северного Каспия, главным образом вдоль западного побережья моря.

Известно, что в образовании поверхностной пленки донных осадков Северного Каспия большое значение имеет осаждение взвешенных частиц, в том числе и выносимых Волгой. Однако это осаждение не является единственным источником образования пленки. В качестве источника частиц пленки необходимо также рассматривать интенсивный процесс перебива грунта, широко идущий в условиях малых глубин и подвижных вод Северного Каспия и свойственных ему малых скоростей седиментации, а также процессы биофильтрации.

Карты содержания взвешенных веществ в водах Северного Каспия показывают, что взвеси, выносимые восточными рукавами дельты Волги и создающие языки повышенных концентраций (см. рис. 3, б, в), все же слабо влияют на количество взвешенных веществ в восточной части Северного Каспия. Сравнительно ограниченным по площади оказывается и влияние твердого стока р. Урала.

Перераспределение взвешенных частиц, поступающих из дельты Волги в авандельту, в том числе и из восточных рукавов дельты, во многом зависит от режима течений.

Разбирая режим течений в авандельте в летнее время года, Скриптунов (1958) подчеркивает наличие общего переноса вод в западном направлении. Это обстоятельство имеет существенное значение для понимания перемещения взвешенных веществ, выносимых из дельты Волги в море через восточные рукава. Взвешенные вещества также должны перемещаться с востока на запад, накапливаясь в западных районах Северного Каспия вместе со взвесями, поступающими на западе дельты, и при осаждении образовывать относительно более мягкие грунты. По-видимому, перенос с востока на запад является одной из наиболее важных причин широкого развития илистых донных отложений в этой части моря.

Поступление эолового материала в состав взвесей Северного Каспия не имеет большого значения. Об этом, в частности, свидетельствует и то, что районы Северного Каспия, расположенные наиболее близко к восточному побережью, где интенсивность эоловых процессов особенно велика, характеризуются малым содержанием взвешенных частиц.

СОСТАВ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Как и в других морях, в составе взвешенных веществ в северной части Каспийского моря мы наблюдаем минеральные и органические частицы. Количественное соотношение между ними может заметно меняться. В дельте Волги и во многих районах Северного Каспия значительное преобладание минеральных частиц над органическими выражено достаточно резко. Во влажном и особенно в сухом состоянии взвешенные вещества часто имеют буроватый или коричневатый оттенок, интенсивность которого обычно ослабевает в более удаленных от

дельты Волги участках. Иногда наблюдаются взвешенные вещества, окрашенные в сероватые тона. В июне 1958 г. сероватую окраску имели некоторые пробы взвешенных веществ на юго-западе и востоке Северного Каспия. Взвешенные вещества в центральной части Северного Каспия и в районе Уральской бороздины имели слабо буроватую окраску. Цвет взвешенных веществ Северного Каспия свидетельствует о том, что северокаспийские взвеси находятся в условиях хорошей аэрации. Взвешенные вещества дельты Волги также имеют бурую или коричневую окраску, но отличающуюся более темными тонами. Последние обусловлены высоким содержанием подобным образом окрашенных минеральных частиц в составе взвеси. Взвешенные вещества, собранные в более застойных водоемах дельты — ильменах, култуках и мелких протоках, содержат многочисленные хлорофилоносные частицы, имеющие зеленоватый цвет. При большом количестве таких частиц в окраске взвешенных веществ появляются слабо зеленоватые тона, которые хорошо заметны на мембранных ультрафильтрах. В июне 1958 г. подобная окраска наблюдалась на отдельных прибрежных станциях в районе Кизлярского залива и у Джамбайских о-вов.

Размеры взвешенных частиц меняются в довольно больших пределах. Минеральные частицы имеют, главным образом, мелкоалевритовые и пелитовые размеры, т. е. 0,05—0,01 мм и меньше. Крупноалевритовые частицы (0,1—0,05 мм) встречаются сравнительно реже. Частицы мелкого песка (0,25—0,1 мм) в заметном количестве наблюдаются, главным образом, на самых малых глубинах. Величина органических частиц обусловлена размерами самих организмов или их легко отделяющихся частей. Для большинства частиц растительного происхождения наиболее характерны размеры 0,1—0,01 мм. Детритные растительные остатки обычно имеют величину 0,1—0,5 мм. В дельте Волги и в авандельте иногда встречаются и более крупные частицы — до 1 мм.

В отдаленных от побережья участках Северного Каспия размеры взвешенных частиц в большинстве случаев меньше и редко превосходят 0,05 мм (за исключением нитей водорослей).

Механические анализы нескольких проб взвешенных веществ, выполненные Пахомовой (1959), показали, что в составе взвесей частицы 0,1—0,05 мм составляют обычно 20—55%, 0,05—0,01 мм — 23—37%, менее 0,01 мм — 17—50%. На одной из станций, по данным Пахомовой, взвешенные вещества содержали 63,5% частиц менее 0,01 мм.

Консистенция взвеси на мембранных ультрафильтрах в дельте Волги, авандельте и других районах Северного Каспия также несколько меняется. Взвешенные вещества в дельте и авандельте образуют однородный тонкий слой плотного осадка, в котором минеральные частицы тесно переплетены с разнообразными агрегатными образованиями, детритными растительными остатками и водорослями. Часто встречаются смешанные органо-минеральные хлопья. Даже при фильтровании очень малых количеств воды в этом переплетении разнообразных частиц далеко не всегда удается выделить на ультрафильтрах отдельные минеральные зерна. В других районах Северного Каспия взвешенные частицы лучше обособляются на фильтре, переплетение различных частиц наблюдается реже. В переходной зоне к Среднему Каспию и в центре Уральской бороздины минеральные органические частицы выделяются вполне обособленно.

Просмотр состава минеральных взвешенных частиц (рис. 8, 9) показал, что среди них преобладают трудно определяемые агрегаты глинистого характера, нередко смешанные с органическими (детритными) частицами, иногда хлопьевидные. Разнообразные минеральные

зерна — кварц, полевые шпаты, обломки пород, роговая обманка, эпидот, цоизит и другие встречаются реже. Часто можно наблюдать карбонатные зерна различного происхождения: мельчайшие обломки раковин моллюсков, кристаллический и пелитоморфный карбонат главным образом игольчатого типа. Последний свидетельствует о процессе химического осаждения карбонатов в некоторых районах Северного Каспия.

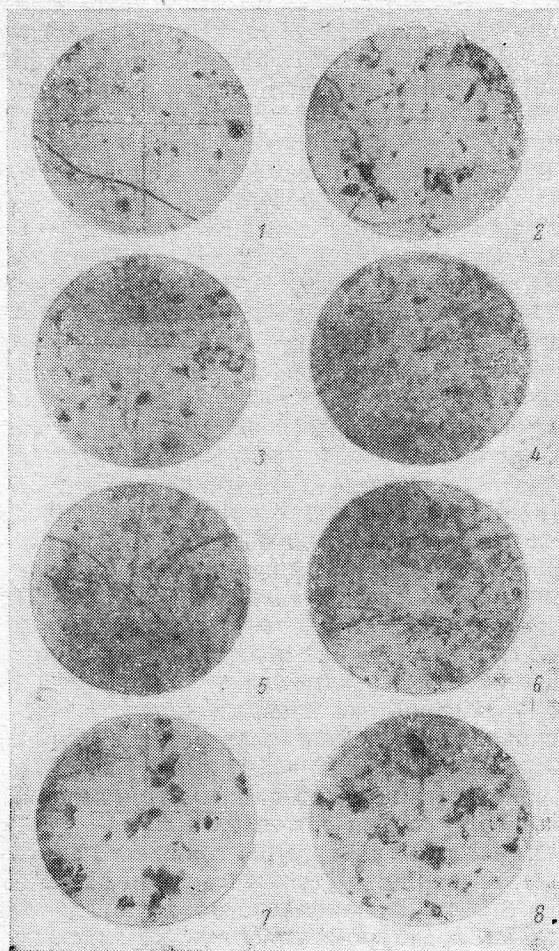


Рис. 8. Взвешенные вещества Северного Каспия. Увеличение 120

1 — Уральская бороздина; 2 — р. Быстрая, дельта Волги; 3 — запад Северного Каспия; 4 — главный банк, дельта Волги; 5, 6 — Волго-Каспийский канал; 7, 8 — авандельта.

Большое число хлопьевидных агрегатов, смешанных с рядом минеральных зерен и органических частиц, мы встречаем во взвешенных веществах дельты Волги и авандельты в западной части Северного Каспия. К югу и востоку количество этих сложных минеральных и минерально-органических образований заметно сокращается. В составе взвесей возрастает содержание карбонатных зерен, которые иногда становятся многочисленными во взвешенных веществах Уральской бороздины, а также районов, примыкающих к Среднему Каспию. Карбонатность взвесей достигает 20—25%. Пахомова (1959) приводит данные, согласно которым количество карбонатов во взвешенных веществах в июне-июле 1957 г. было минимальным (от 2,43 до 10,76%) в западной части авандельты. В восточной части авандельты и в некоторых более удаленных районах карбонатность составляла 20%, а на одной из станций около дельты р. Урала — 28,65%.

В июне 1958 г. распространенность карбонатных зерен в составе взвешенных веществ была значительно меньше, чем в 1957 г. Заметные количества карбонатов наблюдались только вблизи о-ва Чечень (на одной из станций) и на некоторых станциях в районе Уральской бороздины. Пониженная карбонатность в июне 1958 г. связана с большим влиянием на состав северокаспийских взвесей терригенного материала, поступившего при взмучивании осадков и принесенного волжскими паводочными водами.

Минеральные частицы, составляющие основную часть поверхност-

ной пленки в грунтах Северного Каспия, имеют такой же состав, как и во взвешях. Некоторые различия, насколько можно судить по имеющимся данным, состоят в том, что в пленке более часто, чем во взвешенных веществах, встречаются зерна песка (1,0—0,1 мм) и крупного алеврита (0,1—0,05 мм). В большинстве случаев это кварцевые и полевошпатовые зерна и обломки пород. Иногда несколько возрастает и количество карбонатных частиц.

В распределении органических частиц мы встречаем больше разнообразия. Просмотр проб взвешенных веществ и осадочного планктона, проведенный Е. А. Яблонской, показал отчетливые различия между органическими компонентами взвешенных веществ дельты Волги и многих районов Северного Каспия. Специфические отличия были установлены также в составе и распределении органических компонентов взвесей по данным июньских и октябрьских сборов 1957 г. и июньских сборов 1958 г.

В пределах Северного Каспия все взвешенные вещества могут быть разбиты на три группы: группу минеральных взвесей, характерную для прибрежных районов, группу минерально-органических взвесей, преобладающую на значительной части авандельты и иногда несколько к югу от нее и в западных районах Северного Каспия, и группу минеральных взвесей с большим количеством карбонатов, свойственную ряду районов восточной части Северного Каспия и переходной зоны к Среднему Каспию (рис. 10). В группу минерально-органических взвесей входят взвеси, содержащие более 10% органических веществ.

Следует отметить, что состав взвешенных веществ, как об этом



Рис. 9. Взвешенные вещества Северного Каспия. Увеличение 350.
1, 2 — Юго-западная часть Северного Каспия (ст. 2413); 3, 4, 5 — авандельта (ст. 4093)

можно судить из просмотра мембранных ультрафильтров, подобно концентрациям взвесей, подвержен заметным изменениям. В паводковое время возрастает количество минеральных частиц и увеличивается часть акватории, где они резко преобладают. Аналогичная картина наблюдается и на более мелководных участках при усилении скорости ветра. Об этом свидетельствует значительное увеличение числа минеральных частиц на мембранных ультрафильтрах, полученных в авандельте во время более свежей погоды. Мы не располагаем такими же данными для участков развития ракушечных и карбонатных осадков,

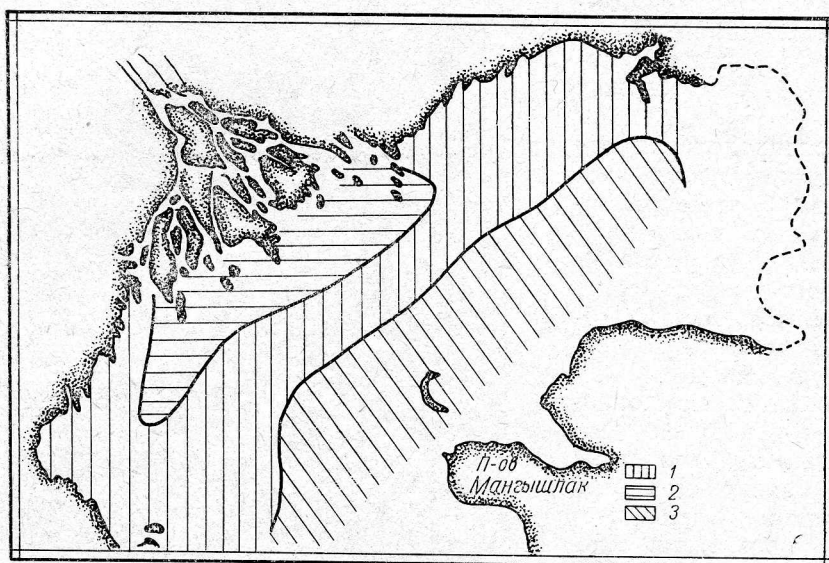


Рис. 10. Распределение основных типов взвешенных веществ в Северном Каспии:

1 — минеральные взвеси; 2 — минерально-органические взвеси; 3 — минеральные взвеси с большим количеством карбонатов.

но можно предполагать, что при возрастании скорости ветра взвешенные вещества этих участков обогащаются карбонатными частицами.

Минеральные взвешенные вещества со значительным количеством карбонатов осенью 1957 г. (в октябре) встречались на большей акватории, нежели в июне 1957 и 1958 гг.

Одним из способов выявления соотношения между минеральными и органическими компонентами во взвешенных веществах является подсчет минеральных и органических частиц на мембранных ультрафильтрах. Однако этот способ для северокаспийских взвесей мало применим, ибо здесь, как мы видели, широко распространены смешанные минерально-органические агрегаты, разные частицы взвесей часто переплетены друг с другом и с трудом могут быть подсчитаны при просмотре под микроскопом. Наконец, приходится иметь в виду то обстоятельство, что минеральные и органические частицы имеют разный удельный вес и размеры. Поэтому равное или большее число органических частиц еще не означает, что они в весовом отношении составляют столько же, сколько и минеральные частицы, которые всегда тяжелее.

Такое заключение подтверждается и результатами выполненных химических анализов, которые показали, что на органические компо-

ненты приходится обычно не более 10—13% от состава взвесей северной части Каспийского моря. Именно эти данные должны быть положены в основу оценки фитопланктона и бактерий как источников взвешенных частиц Северного Каспия. Они свидетельствуют о том, что органические частицы любого происхождения в условиях Северного Каспия поступают в значительно меньшем количестве, нежели минеральные.

Для понимания природы и происхождения органических компонентов взвешенных веществ большое значение имеют результаты определений содержания органического углерода и органического азота и отношения C/N. Этому вопросу посвящено много работ. Применительно к донным отложениям и взвешенным веществам Каспийского моря содержание органического углерода и азота изучалось Горшковой (1951, 1952), Горшковой и Гудковым (1949), Кленовой и Ястребовой (1956), В. В. Вебером (1956). Новые данные приводит Пахомова (1959). Исследования этих авторов показали, насколько знание отношения C/N облегчает выявление источников органического вещества в грунтах и взвесах.

Таблица 4

Содержание органического углерода и азота во взвешенных веществах северной части Каспийского моря (в %)

№ станции	C	N	C/N	№ станции	C	N	C/N	№ станции	C	N	C/N
Июнь 1957 г.			Октябрь 1957 г.				Июнь 1958 г.				
4	4,61	0,44	10,5	2153	2,00	0,13	15,4	2391	3,98	0,21	18,9
6	5,98	0,46	13,0	2158	—	0,12	—	2397	2,41	—	—
8	6,47	0,45	14,4	2159	2,30	0,13	17,7	2403	2,89	—	—
9	3,40	0,40	8,5	2161	3,90	0,19	20,5	2432	3,07	0,14	21,9
13	3,52	0,51	6,9	2163	2,70	0,26	10,4	2445	3,89	—	—
15	3,27	—	—	2168	6,10	0,49	12,5	2466	1,13	0,12	9,4
18	1,50	0,23	6,5	2170	5,36	—	—	2469	2,42	—	—
20	3,40	0,24	14,1	2181	6,50	—	—	4080	3,80	0,25	15,2
22	6,02	—	—	2189	3,93	0,30	13,1	2086	3,66	0,30	12,2
24	6,65	—	—	2226	4,46	0,30	14,9	4093	4,52	0,30	15,1
29	3,89	0,23	16,9	2229	5,30	0,30	17,7	4103	5,58	0,41	13,6
31	1,18	—	—	—	—	—	—	4116	2,32	0,24	9,8
35	—	0,36	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	6,58	0,54	12,2	—	—	—	—	—	—	—	—
41	—	0,47	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	0,58	—	—	—	—	—	—	—	—	—

В табл. 4 приведены основные результаты выполненных анализов по сопоставимым районам Северного Каспия. Из данных табл. 4 видно, что содержание органического углерода и азота и их отношение во взвешенных веществах Северного Каспия подвержено большим изменениям как в разных районах Северного Каспия, так и в разные годы и сезоны (июнь—октябрь).

Наиболее высокое содержание органического углерода за период исследований наблюдалось в июне 1957 г.—в среднем по 13 определениям—4,34% и в октябре 1957 г.—в среднем по 10 определениям—4,26%. При пересчете на органическое вещество (коэффициент пересчета 1,724) это составляет соответственно 7,48% и 7,34%. По данным Пахомовой (1959), в июне-июле 1957 г. содержание органического углерода несколько выше и в среднем равно 5,04%, или 8,69% органического вещества. Эти данные характеризуют лишь часть Северного Каспия, главным образом «свал глубин» и некоторые другие

районы, где взвеси, как мы увидим, более богаты органическим веществом. В июне 1958 г. в результате повышенного перепада донных осадков и воздействия волжского твердого стока количество взвешенных частиц в водах Северного Каспия оказалось увеличенным; содержание органического углерода уменьшилось и составило в среднем по 12 определениям 3,31% (5,71% органического вещества). Это уменьшение средних концентраций органического углерода было связано с «разбавляющим» действием взвешенных минеральных частиц, дополнительно поступающих в данное время года в воды Северного Каспия; однако общее содержание органического вещества во взвесах не уменьшилось, так как возросло и, насколько можно судить, в большей степени количество взвесей.

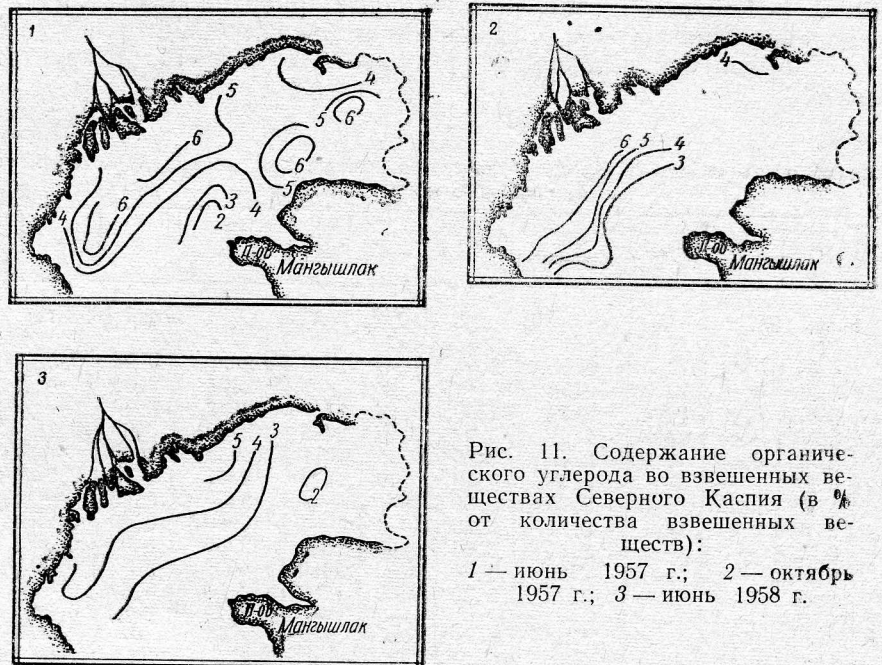


Рис. 11. Содержание органического углерода во взвешенных веществах Северного Каспия (в % от количества взвешенных веществ):
1 — июнь 1957 г.; 2 — октябрь 1957 г.; 3 — июнь 1958 г.

Распределение органического углерода во взвешенных веществах Северного Каспия достаточно характерно. Высокие концентрации (4—6%) были приурочены главным образом к центральной полосе авандельтового пространства и ряду районов западной части Северного Каспия. Отчетливо выделялись языки повышенного содержания органического углерода, направленные на юг против западных рукавов дельты Волги и на юго-восток (более слабый) — против восточных рукавов дельты. Взвешенные вещества открытых районов Северного Каспия отличались меньшим содержанием органического углерода. Правда, в июне 1957 г. в двух пробах взвешенных веществ Уральской бороздины были установлены высокие концентрации. В июне 1958 г. это не подтвердилось. Сравнительно малые количества органического углерода наблюдались во взвесах близ устья Урала.

Сопоставление карт содержания взвешенных веществ в водах Северного Каспия и процентного содержания органического углерода во взвесах показывает известное сходство в расположении основных изолиний (см. рис. 3, а, б, в и 11). Наблюдается некоторое смещение

к югу изолиний высоких концентраций органического углерода в западной части Северного Каспия, особенно заметное в июне и октябре 1957 г. Отмеченное сходство, во-первых, свидетельствует о том, что основные источники повышенного содержания взвешенных веществ вообще и их органических компонентов в частности располагаются в одних и тех же районах и главным образом сосредоточены в западной половине Северного Каспия; во-вторых, уменьшение содержания взвесей в водах Северного Каспия часто сопровождается и уменьшением концентрации органических компонентов. Это, как мы увидим, приводит к большой разнице в общем количестве органического вещества во взвесах западной и восточной половины Северного Каспия.

Некоторое смещение изолиний содержания органического углерода к югу в значительной степени является следствием того, что органические частицы имеют меньший удельный вес, нежели минеральные, и поэтому могут быть дальше унесены.

В распределении органического азота взвесей можно наблюдать примерно такую же картину. Содержание органического азота тоже подвержено заметным колебаниям. В июне 1957 г. оно в среднем, по данным 12 определений, равнялось 0,41%, в этот же период 1958 г. уменьшилось до 0,25% (среднее из 8 определений). Более низким оно было и в октябре 1957 г. — 0,25% (среднее из 9 определений).

Как уже говорилось выше, в водах Северного Каспия содержится около 6 млн. т взвешенных частиц. Для ориентировочного подсчета количества органического вещества во взвесах мы принимаем, что в волжской мелководной части Северного Каспия, объем которой условно приравнивается 70 км³, находится примерно 2,8 млн. т взвешенных веществ при среднем содержании органического вещества 7%, в остальной части Северного Каспия с объемом 330 км³ — 3,2 млн. т взвеси и 4% органического вещества. При таких допущениях получается, что во взвесах мелководных районов близ дельты Волги должно быть около 200 000 т органического вещества, в остальных — примерно 130 000 т. В целом можно предполагать, что взвешенные вещества Северного Каспия содержат приблизительно 330 000 т органического вещества, причем на западную часть приходится, по-видимому, 270 000 т, на восточную — 60 000 т, т. е. меньше в 4,5 раза. В паводковое время эти цифры, особенно в западной части моря, следует несколько увеличить. Учитывая также повышение количества фитопланктона в период его интенсивного развития (Усачев, 1948), а также возрастание биомасс микроорганизмов (Осницкая, 1956), происходящие в летний период года, приведенные ориентировочные количества органического вещества в северокаспийских взвесах, по всей вероятности, должны быть высокими и в августе. Зимой они могут резко сокращаться.

Весь расчет содержания органического вещества относится к взвешенным частицам, которые находятся в воде в условиях спокойной погоды, когда взмучивание донных осадков относительно мало влияет на концентрацию взвесей. При ветреной погоде концентрации взвесей возрастают, общее содержание органического вещества во взвесах также должно увеличиться. Однако оценить степень этого увеличения пока не представляется возможным.

Насколько можно судить по имеющимся данным, воздействие волжского стока, проходящего через восточные рукава дельты, на содержание органического вещества во взвесах Северного Каспия проявляется значительно слабее, нежели стока, идущего в западные районы. Также сравнительно мало сказывается органический материал, приносимый твердым стоком Урала. Можно думать, что основное коли-

чество органических компонентов взвешенных веществ здесь связано с фитопланктоном.

Мы не располагаем возможностью всесторонне сопоставить содержание органического вещества северокаспийских взвесей со взвешенными веществами дельты Волги. Отметим лишь, что обработка материалов, собранных в мае 1958 г. в дельте Волги, дала несколько иные результаты, нежели полученные ранее Бруевичем и Аничковой (1941). По Бруевичу и Аничковой органическое вещество в волжских взвесах составляло 16,8% за 1937 г. и 18,2% за 1938 г. Горшкова (1951) дает менее значительное содержание органического вещества. По ее данным, в твердом стоке Волги содержится 4,0% органического углерода, или 6,9% органического вещества. Гораздо меньшие данные приводит Пахомова (1959) — в среднем около 3% органического вещества (табл. 5).

Таблица 5

Содержание органического углерода и азота во взвешенных веществах дельты р. Волги (май 1958, %)

Участки	Крупная фракция взвесей			Мелкая фракция взвесей		
	С	N	С/N	С	N	С/N
Главный банк, низовье	1,90	0,24	7,5	7,22	0,28	25,8
Волга, Верхне-Лебяжье	2,24	0,17	13,2	6,66	—	—
Иголжинский банк	2,50	0,26	9,9	6,65	0,39	17,0
Р. Таловая, ниже Володаровки	2,24	0,18	12,6	6,52	—	—
Белинский банк, низовье	2,22	0,20	11,1	7,23	0,28	25,9

В осевших на дно частицах (крупная фракция взвесей, отстаивание 24 ч) содержание органического вещества невелико, в среднем 3,83% (2,22% органического углерода). Мелкая фракция взвесей отличается значительно большим количеством органического вещества, в среднем 11,81% (6,85% органического углерода). Цифры такого же порядка были получены для проб взвешенных веществ в Главном банке, собранных в середине июня 1957 г. Учитывая, что мелкая фракция взвесей в среднем составляет 40%, общее содержание органического вещества во взвесах равняется 7,0%, т. е. очень близко к значению, которое было получено Горшковой — 6,9%. Наблюдается сходство концентраций органического вещества в разных районах дельты Волги.

Количество органического азота во взвешенных веществах дельты оказывается меньшим, нежели приводимое Горшковой — 0,40% и составляет в среднем 0,21% для крупной фракции взвесей и 0,27% для мелкой. Примерно такие же данные указывает Пахомова (1959).

Иное содержание органического вещества в крупных фракциях взвесей наблюдается в пробах, полученных также в мае 1958 г. в центральной части авандельтового пространства несколько южнее участков обильного развития макрофитов. Как видно из данных табл. 6, взвешенные частицы обогащены органическим веществом как в крупной, так и в мелкой фракциях взвесей. Крупные фракции содержат в среднем 7,17% органического углерода или 12,36% органического вещества, мелкие — соответственно 7,92 и 13,65%. Количество азота здесь также больше, чем в волжских взвесах. Для крупных фракций оно составляет 0,36, для мелких — 0,56%. Изменение количества органического вещества в крупных фракциях взвесей заметно меняет отношение С/N, которое достигает примерно 20. В мелких фракциях оно сильно колеблется, но тоже остается достаточно высоким. Полученные цифры близки

Таблица 6
Содержание органического углерода и азота во взвешенных веществах авандельты (в %),
май 1958 г.

Район	№ проб	Крупная фракция взвесей			Мелкая фракция взвесей		
		С	N	С/N	С	N	С/N
Западный авандельты	5б	5,87	0,36	16,3	6,66	0,79	8,4
	6б	8,77	0,37	23,7	10,28	0,52	19,7
Восточный авандельты	1г	6,98	0,35	19,9	6,99	0,85	8,2
	3г	7,19	—	—	7,94	0,34	23,4
	5г	7,04	—	—	7,70	—	—

к тем значениям С/N, которые указывались Горшковой для макрофитов и водорослей — 13—19 (1951).

Увеличение содержания органического вещества в крупных фракциях взвесей, хорошо заметное при просмотре мембранных ультрафильтров под микроскопом, объясняется поступлением в их состав различных остатков водной растительности и водорослей, являющихся, по-видимому, важнейшим источником детрита в этой части моря. Смешиваясь с органическим веществом, входящим в состав взвешенных частиц, выносимых волжским стоком, и фитопланктоном волжского и местного происхождения, эти остатки водной растительности обуславливают наибольшее обогащение взвесей органическим углеродом. Несомненно, что все органические остатки в силу своего небольшого удельного веса распространяются и за пределы узкой зоны интенсивного развития водной растительности, однако они не охватывают значительные площади Северного Каспия, концентрируясь в виде полосы с повышенным содержанием органического вещества в взвесах вдоль авандельтового пространства. Минерализация этих остатков в условиях хорошей аэрации северокаспийских вод и обильной бактериальной флоры приводит к их быстрому исчезновению в пределах годового цикла и замене новыми. Поэтому мы не наблюдаем здесь обильного накопления органического материала. Компоненты органического вещества, входящие в состав мелкой фракции взвесей, по-видимому, более устойчивы и разносятся значительно шире. Их поступление в различные районы Северного Каспия, особенно в западную его часть, где они в большей или меньшей степени добавляются к фитопланктону и продуктам его распада, приводит к тому, что отношение С/N во взвесах оказывается неустойчивым и часто достигает повышенных величин — более 10—15. Лишь в отдельных случаях наблюдались значения С/N менее 10, более характерные для взвесей юго-восточных и южных районов Северного Каспия. Однако и здесь влияние остатков зостеры, растущей на многих участках дна вблизи о. Кулалы и к востоку от него (Киреева и Щапова, 1939) и имеющей отношение С/N 19 (Горшкова, 1951) или несколько меньше — 10—17 для разлагающихся остатков (Вебер, 1956), также приводит к повышению коэффициента С/N.

Следует также указать, что согласно Веберу (1951) отношение С/N в каспийском планктоне, состоящем почти исключительно из одних диатомей *Rhizosolenia calcar avis*, равно 15,6. Горшкова, анализируя данные, приводимые А. П. Виноградовым (1935), принимает коэффициент С/N для диатомей от 4 до 8,6, в среднем 5,5.

Для сопоставления содержания органического углерода и азота

во взвешенных веществах и в грунте Северного Каспия было проведено несколько анализов по результатам сборов в июне и октябре. Поверхностная пленка всегда содержит больше органического углерода и азота, нежели основной слой грунта, на котором пленка залегает (табл. 7). Именно это обстоятельство определяет то важное значение

Таблица 7

Содержание органического углерода и азота в грунте, поверхностной пленке и взвешенных веществах Северного Каспия в июне 1957 г. (в %)

№ станции	Вид образца	C	N	C/N
4	Взвешенные вещества	4,61	0,44	10,5
	Поверхностная пленка грунта	1,42	—	—
	Грунт — илестый песок	1,16	0,19	6,1
20	Взвешенные вещества	3,40	0,24	14,1
	Поверхностная пленка грунта	1,83	0,12	15,3
	Грунт — илестый песок с ракушей	0,61	0,09	6,8
39	Взвешенные вещества	6,58	0,54	12,2
	Поверхностная пленка грунта	2,37	—	—
	Грунт — илестый песок	1,33	—	—
2170	Взвешенные вещества	5,36	—	—
	Поверхностная пленка	—	—	—
	Грунт — пылеватый песок с ракушей	0,68	0,11	6,2
2189	Взвешенные вещества	3,93	0,30	13,1
	Поверхностная пленка	—	0,46	—
	Грунт — ракушечный песок	0,25	0,03	8,3
2226	Взвешенные вещества	4,46	0,30	14,9
	Поверхностная пленка	—	—	—
	Грунт — песок с ракушей	0,35	0,04	8,8

пленки в питании многих бентосных организмов Северного Каспия, которое неоднократно отмечалось в литературе (Брискина, 1952; Яблонская, 1953). Что же касается взвешенных веществ, то они в самых различных районах Северного Каспия содержат в три-четыре раза больше органического углерода, нежели пленка. Следовательно, существенная часть органического углерода и азота взвешенных веществ не попадает в состав донного осадка, а в конечном счете минерализуется в толще воды.

Исследуя вопросы преобразования органического вещества в разных водоемах, в том числе и в Каспийском море, Вебер (1956) указывает, что отношение C/N в исходном органическом веществе меняется в очень широких пределах в связи с разным содержанием азотистых и безазотистых составных частей. Максимально оно у зостеры и зеленых водорослей, минимально — у сине-зеленых водорослей и зоопланктона. По мере разложения этих органических веществ и их поступления в донный осадок отношение C/N уменьшается.

Выравнивание значения C/N в донных отложениях происходит еще и потому, что, как подчеркивает Вебер, исходное органическое вещество каспийских осадков весьма неоднородно.

Для донных отложений Каспийского моря C/N, по Веберу, обычно равно 6,5. Такие же примерно цифры приводит Горшкова (1951). Пахомова по материалам 1957 г. приходит к заключению, что величина C/N в донных осадках Северного Каспия составляет в среднем 7,6, а в поверхностной пленке — 5,6 (1959). Менее однородны значения C/N, по данным Кленовой и Ястребовой (1956), полученные на основе ана-

лиза проб грунта, собранных в период резкого изменения уровня и солености Северного Каспия.

Согласно нашим материалам (см. табл. 7), выравнивание отношения C/N в донных осадках и его пониженная величина по сравнению со взвешенными веществами прослеживается достаточно четко, причем в пленке, как и во взвесах, это отношение выше, чем в донных отложениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Северная часть Каспийского моря содержит значительное количество взвешенных веществ, концентрация которых в разных районах и в разные сезоны может существенно меняться. В авандельте Волги, западной части Северного Каспия и иногда вблизи устья Урала эта концентрация максимальна и достигает 30—70 мг/л (в отдельных случаях — значительно больше). В переходной зоне к Среднему Каспию и Уральской бороздине наблюдаются минимальные содержания взвесей 5—10 мг/л.

Количество взвешенных веществ в водах Северного Каспия в первую очередь зависит от ветрового режима и твердого стока Волги. В период исследований наибольшее содержание взвесей было установлено в июне, наименьшее — в октябре. Сравнительно небольшое различие между июньскими и октябрьскими концентрациями взвешенных веществ свидетельствует о том, что ветровое перемешивание вод в условиях малых глубин Северного Каспия является главной причиной наблюдаемых во многих районах высоких концентраций взвесей. Твердый сток Волги поступает в Северный Каспий не в полной мере. Большая его часть осаждается на морском крае дельты Волги, в поясе макрофитов в пределах авандельты и, по-видимому, в результате процессов коагуляции в зоне стыка пресных и солоноватых вод. Взмучивание тонкой поверхностной пленки грунта, происходящее при усилении ветра, может перевести во взвешенное состояние примерно такое же (если не большее) количество частиц, которое доставляется волжским стоком.

Влияние взвешенных частиц, выносимых Волгой, более отчетливо прослеживается в авандельте и западной части Северного Каспия, куда они поступают в первую очередь. В остальных районах, особенно в восточной половине Северного Каспия это влияние весьма ограничено. Языки повышенных концентраций взвесей располагаются против западных и в меньшей степени против восточных рукавов волжской дельты. Ослабление роли восточных рукавов, куда в паводочное время поступает не менее половины твердого стока Волги, связано с тем, что в авандельтовом пространстве преобладает перенос вод в западном направлении.

Часть взвешенных веществ, поступающих в западные районы Северного Каспия, уносится в Средний Каспий.

Влияние твердого стока р. Урала на содержание взвешенных веществ восточной половины Северного Каспия весьма ограничено. В составе взвешенных веществ Северного Каспия преобладают минеральные частицы. Органическая часть взвесей обычно не превышает 10—13%, чаще всего составляя 4—7%. В восточных районах Северного Каспия и на юге иногда в заметном количестве встречаются карбонатные частицы. Большинство минеральных частиц имеет вид агрегатов трудноопределимого состава, нередко смешанных или переплетенных с фрагментарными или детритными органическими остатками и зернами некоторых минералов. В открытых районах Северного Каспия минеральные зерна и агрегаты в меньшей степени смешиваются с органическими остатками.

Общее количество органического вещества в составе взвешенных частиц северокаспийских вод (при спокойной погоде) приблизительно равно 330 тыс. т. Основная его часть приходится на авандельтовые и западные районы Северного Каспия — около 80%. В восточной половине Северного Каспия находится не более 20% взвешенного органического вещества. При усилении ветра количество органического вещества во взвесах, так же как и общее содержание взвешенных частиц, может увеличиться.

Среднее содержание органического вещества в взвесах основных протоков дельты Волги около 7%. В авандельте взвешенные вещества обогащаются органическими компонентами. Это происходит, с одной стороны, в результате осаждения значительной части крупных фракций взвесей, которые содержат меньше органических веществ. С другой стороны, взвешенные вещества обогащаются органическими компонентами, продуцированными в самой авандельте, в первую очередь остатками макрофитов, водорослей и фитопланктона, обильно развивающихся в зоне стыка пресных и солоноватых вод. Эти остатки проникают не только в наиболее тонкие фракции взвесей, но и в крупные. Вместе с волжским фитопланктоном и мельчайшими органическими сильно измененными и, по-видимому, устойчивыми частицами, входящими в состав тонких фракций взвесей, они поступают в западную часть Северного Каспия и формируют, наряду с фитопланктоном местного происхождения, органические компоненты взвешенных веществ западных районов моря. Здесь же наблюдается и максимальное развитие бактериальной флоры.

За пределами авандельты и западной части Северного Каспия содержание органического вещества во взвесах заметно уменьшается, составляя обычно 4—6%. Роль волжских и авандельтовых пресноводных компонентов в образовании органической части взвесей этих районов невелика. Основное значение в формировании органической части взвешенных веществ этих районов принадлежит фитопланктону. Таким образом, происхождение органических компонентов взвесей Северного Каспия оказывается неоднородным и достаточно сложным. Поэтому мы не можем согласиться с заключением Пахомовой, что «источником органического вещества во взвесах является планктон» (1959). Это заключение справедливо лишь для некоторых районов восточной половины Северного Каспия и переходной зоны к Среднему Каспию, но к Северному Каспию в целом и особенно к его западной половине не применимо, поскольку оно не отражает влияние органического материала, продуцированного в авандельте и принесенного волжскими водами и в значительной своей части не являющегося планктоном.

Твердый сток Волги и его органическая часть распространяется, главным образом, в пределах западной половины Северного Каспия и слабо проникает в восточную половину. Перераспределение этого стока в пределах волжской дельты не внесет принципиальных изменений в режим взвешенных веществ авандельтового пространства. Основные факторы, формирующие содержание взвешенных веществ и их органических компонентов в водах Северного Каспия, будут действовать в такой же степени, как и в настоящее время.

Большое значение имеет систематическое исследование поступления и режима минеральных и органических взвешенных частиц в авандельте Волги. В этом отношении слабая изученность авандельты Северного Каспия и его первичной продуктивности является существенным пробелом.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексина И. А. О взвешенных веществах в водах восточной части Северного Каспия. Доклады АН СССР. Т. 121, № 2, 1958.
- Арутюнова Н. М. Вещественный состав донных отложений северной части Каспийского моря. Труды ГОИНа. Вып. 34, 1957.
- Байдин С. С., Линберг Ф. Н., Самойлов И. В. Гидрология дельты Волги. Гидрометеонздат, 1956.
- Барсукова Л. А. Гидрохимическая характеристика дельты и авандельты Волги. Труды ВНИРО. Т. XXXII, 1956.
- Барсукова Л. А. Биогенный сток Волги в первые годы зарегулирования реки у Куйбышева. Труды КаспНИРО. Т. XVIII, 1962.
- Барсукова Л. А. Биогенный сток Волги в первые годы зарегулирования стока у Волгограда. Труды КаспНИРО. Т. XX, 1965.
- Бирштейн Я. А. и Спасский Н. Н. Донная фауна Каспийского моря до и после вселения *Nereis succinea*. Материалы к познанию фауны и флоры. Бюллетень МОИП. Новая серия, отдел зоологический. Вып. 33 (48), М., 1952.
- Брискина М. М. Состав пищи донных беспозвоночных северной части Каспийского моря. Доклады ВНИРО. Вып. 1, 1952.
- Божич П. К. Исследование заносимости морской части Волго-Каспийского канала. Труды Центрального научно-исследовательского института речного флота. Вып. V, М., 1939.
- Бруевич С. В. и Аничкова Н. И. Химия речного стока в Каспийское море. Труды по комплексному изучению Каспийского моря. Вып. 14. АН СССР, 1941.
- Валединский В. В. и Аполлов Б. А. Дельта реки Волги. Труды отдела торговых портов. Т. 1, 1930.
- Вебер В. В. и другие. Накопление и преобразование органического вещества в современных морских осадках. Гостоптехиздат, М., 1956.
- Виноградов Л. Г. Многолетние изменения северо-каспийского бентоса. Труды ВНИРО. Т. XXXVIII, 1959.
- Виноградов Л. Г. и Яблонская Е. А. Проблемы рыбохозяйственной мелиорации Каспийского моря. Сб. «Изменение биологических комплексов Каспийского моря за последние десятилетия». М., «Наука», 1965.
- Горшкова Т. И. Исследования детрита в воде и грунте северной части Каспийского моря. Сб. «Памяти академика Архангельского». АН СССР, 1951.
- Горшкова Т. И. Исследование органического вещества осадков ильменей р. Волги и северной части Каспийского моря. Доклады ВНИРО. Вып. 1, 1952.
- Гудков М. П. и Горшкова Т. И. Изменение содержания органического вещества в осадках Северного Каспия в связи с падением его уровня. Труды ВНИРО. Т. XXXIX, 1959.
- Доброхотова К. В. Ассоциация высших водных растений как фактор роста дельты Волги. Труды Астраханского Государственного заповедника. Вып. 3, 1940.
- Жукова А. И. Биомасса микроорганизмов донных осадков Северного Каспия. «Микробиология». Т. 24. Вып. 3, 1955.
- Киреева М. С. и Шапова Т. Ф. Донная растительность восточного берега Каспийского моря. Бюллетень МОИП. Новая серия, отдел биологический. Т. 48. Вып. 5—6, 1939.
- Кленова М. В. и Ястребова Л. А. Осадки северной части Каспийского моря. Труды Азербайджанской нефтяной экспедиции СОПСА. АН СССР, 1956.
- Крисс А. Е. Микробиология Каспийского моря. Успехи современной биологии. Т. 42. Вып. 2, 1956.
- Кун М. С. Некоторые сведения о распределении детрита в Северном Каспии. Труды ВНИРО. Т. XXXVIII, 1959.
- Осницкая Л. К. Численность и биомасса бактерий в водной толще северной части Каспийского моря. «Микробиология». Т. 23. Вып. 5, 1954.
- Осницкая Л. К. Влияние речных стоков на количество и биомассу бактерий в водной толще Северного Каспия. «Микробиология». Т. 25. Вып. 5, 1956.
- Пахомова А. С. К осадкообразованию в северной части Каспийского моря. Труды ГОИИ. Вып. 31, 1956.

Пахомова А. С. К химическому составу взвешенных веществ и донных отложений дельты Волги и северной части Каспийского моря. Труды ГОИН. Вып. 45, 1959.

Разумов А. С. Прямой метод учета бактерий в воде и сравнение его с методом Коха. «Микробиология». Вып. 2, 1932.

Скриптунов Н. А. Гидрология предустьевого взморья Волги, М., Гидрометеиздат, 1958.

Скопинцев Б. А. Об осаждении паводочных взвесей р. Волги в морской воде. «Метеорология и гидрология», № 1, 1957.

Усачев П. И. Количественное колебание фитопланктона в Северном Каспии. Труды ИОАН. Т. 2, 1948.

Федосов М. В. Взвешенное вещество в Северном Каспии. «Метеорология и гидрология», № 3, 1949.

Федосов М. В. Детали гидрохимии Северного Каспия и дельты Волги. Доклады ВНИРО. Вып. 1, 1952.

Яблонская Е. А. Питание *Nereis succinea* в Каспийском море. Материалы к познанию фауны и флоры. МОИП. Новая серия, отдел зоологический. Вып. 33 (48), М., 1952.

Ястребова Л. А. Хлорофилл в морских осадках. Труды ВНИРО. Т. 5, 1938.