

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

Т Р У Д Ы
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ВЫП. 115. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЕРИЯ (№ 57). 1952

Н. Г. БРОДСКАЯ
ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ
И ПРОЦЕССЫ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ
В АРАЛЬСКОМ МОРЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

Н. Г. БРОДСКАЯ

**ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ПРОЦЕССЫ ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ
В АРАЛЬСКОМ МОРЕ****ВВЕДЕНИЕ****1. Задачи работы**

Под поверхностью современных океанов, морей и озер скрываются осадки, образование которых происходит и в настоящее время. Процессы, протекающие в этих природных лабораториях, сложны и многообразны. Во многом они напоминают процессы, протекавшие в далеком прошлом Земли. Свидетелями их остались мощные толщи пород, весьма отдаленно схожих с теми жидкими и полужидкими илами, которые откладываются на дне водоемов. Геологу, желающему открытыми глазами рассмотреть в геологическое прошлое, необходимо самым детальным образом изучить, как создается осадок сейчас, в течение современной геологической жизни Земли, когда можно познать гидродинамические и гидрохимические условия, царящие в водоемах, климат, питание осадков материалом, приносимым с суши. Вооружившись затем знанием историко-геологических процессов, накладывающих свой отпечаток на тот или иной тип пород, можно будет пытаться шаг за шагом раскрывать неведомое и восстанавливать условия, имевшие место в водоемах в различные геологические эпохи. Решение этой задачи, трудной и многообразной, требует прежде всего самого внимательного отношения к наблюдаемым фактам.

Настоящая работа является частью комплексных исследований, имевших одну общую задачу: выяснение условий осадконакопления в различных водоемах, расположенных в засушливых зонах Советского Союза. Объектом наших наблюдений явилось Аральское море (или, вернее, огромное солоноватое озеро). Изучить осадки, залегающие на глубине, под его водами, — это значит попытаться понять условия осадконакопления, которые происходят в закрытом водоеме. Исследования проводились под руководством Н. М. Страхова. Материал был собран автором этих строк в течение двух лет во время рейсов экспедиционного судна аральской рыбохозяйственной станции — «Лев Берг». Дополнительные исследования были проведены на шлюпках и катерах в прибрежных зонах моря и в устьях рек Сыр-Дарья и Аму-Дарья. Всего, таким образом, собран материал со 145 станций, размещенных более или менее равномерно по всей площади моря.

Помимо проб донных осадков, во время работ на Аральском море собран материал, касающийся геологического строения побережий и островов, а также добыты образцы, характеризующие осадки высыхающих, отшнуровавшихся от моря лагун и озер.

Аральский водоем удобен для изучения во многих отношениях. Прежде всего, это бассейн, получающий основную массу осадочного материала

благодаря впадающим в него двум мощным рекам — Сыр-Дарье и Аму-Дарье. Отсутствие более или менее значительных дождевых потоков или хотя бы мелкой гидрографической сети, могущей поставлять в море какой-либо материал с суши помимо двух упомянутых основных артерий, делает его особенно интересным с точки зрения выяснения баланса вносимого материала.

Аральское море лишено стока и, следовательно, весь материал, поступающий в него, должен оставаться в водоеме, распределяясь в соответствии с гидродинамическими условиями моря. Водоем отличается сравнительно большим разнообразием в морфологии своего дна и окружающей береговой линии, что, естественно, сказывается на распределении материала. Обладая высокой карбонатностью илов, Аральское море представляет также большой интерес с точки зрения выяснения условий накопления карбоната в осадках.

Неодинаковый режим водоема в течение периода его существования накладывает отпечаток на характер донных осадков, что дает возможность произвести попытку стратификации осадков в водоеме.

2. К истории исследования осадков Аральского моря

Опуская перечень общих исследований, проводившихся на Аральском море начиная примерно с 1900 г., следует остановиться кратко лишь на тех работах, которые касались изучения донных осадков этого бассейна.

Первые страницы, посвященные аральским грунтам, вышли из-под пера естествовед-наблюдателя Л. С. Берга в его обширной монографии «Аральское море» (1908). Грунты, поднятые со дна моря драгой, автор разделяет на пески, серый ил, черный ил и камень. Он дает описание физических свойств каждого из выделенных типов, распределение их по дну водоема, химический анализ грунта (выполненный К. Шмидтом), разбирает также некоторые химические процессы, происходящие на дне водоема (сероводородное заражение), и ряд других вопросов. Л. С. Берг первый подчеркивает громадную роль рек во вносе взвешенных веществ, необходимых для осадконакопления в водоеме.

В 1907—1911 годах на базе материала, собранного Л. С. Бергом, проводились некоторые исследования грунтов К. К. Гильзеном (1911) и М. Н. Сидоренко (1911). Последний, собрав материалы по минералогии осадков, указывает на наличие кварца (главного компонента), полевого шпата, слюды, тяжелых минералов и ряда минеральных новообразований (гидротроилит, гипс). В работе К. К. Гильзена говорится о цвете осадков Аральского моря и их механическом составе, а также обращено внимание на присутствие карбонатов. Так же, как и Л. С. Берг, названный автор считает главной причиной высокой карбонатности аральских грунтов наличие большого количества раковинного материала в осадках.

В 1933 г. А. Л. Бенингом и В. П. Шостаковичем были проведены исследования микрослоистости аральских грунтов. Микрослоистость они изучали на ряде образцов грунта, полученных стратометром Перфильева, причем дали заключение о связи периодичности в осадконакоплении Аральского моря и в поведении солнечных пятен.

В 1935 г. была опубликована работа А. Л. Бенинга, в которой он приводит карту осадков так называемого Малого моря (северная часть Аральского моря) и дает ряд механических анализов их. Типы грунтов выделены им в соответствии с номенклатурой, данной Л. С. Бергом.

Наконец, последняя работа, посвященная аральским осадкам, принадлежит В. П. Зенковичу (1947). Собственно, это первая попытка, как пишет сам автор, дать цельное представление о распределении грунтов в зависимости от физико-географических условий моря. Основываясь на

большом количестве гранулометрических анализов, В. П. Зенкович классифицирует донные осадки в зависимости от содержания в них фракции $<0,01$ мм, пользуясь номенклатурой М. В. Кленовой. Составленные автором карты пелитового материала $<0,01$ мм и $<0,001$ мм чересчур схематичны, что мешает достаточно правильному решению вопроса о влиянии гидрохимических факторов на ход осадконакопления.

Автор впервые дает процентное содержание CaCO_3 в аральских осадках, правда, без специальных карбонатных анализов, пользуясь лишь данными, полученными при растворении осадка в соляной кислоте, что дает искаженный результат. Составленная им карта карбонатности также схематична и полного представления о ходе карбонатакопления на дне водоема не дает. Совершенно справедливо В. П. Зенкович указывает, что причина высокой карбонатности аральских грунтов заключается не в количестве раковинного материала, а в количестве осажденного из воды химически CaCO_3 и материала, принесенного течением.

Этим исчерпывается список работ, посвященных непосредственно донным осадкам Аральского моря. Существует обширная литература по изучению самого водоема, т. е. его гидрологических и гидрохимических условий, колебания уровня, вноса взвешенного и растворенного материала и т. п. Сюда относятся, кроме упомянутой монографии Л. С. Берга, работы Г. В. Никольского (1940), Б. Л. Зайкова (1946), Е. Г. Виноградовой (1948) и др.

3. Отбор проб и методы их изучения

Донные пробы мы брали дночерпателем Петерсена (1/40 и 1/10 м); кроме того, 30 проб были взяты трубкой Экмана длиной 1,5 м. Длина полученных колонок колебалась от 0,10 до 1 м.

Одним из основных методов при обработке материала являлось детальное макроскопическое описание донных осадков как в сыром виде, непосредственно после взятия пробы на борту судна, так и после их высыхания при камеральной обработке. При этом отмечались: характер осадка (тип); цвет; примесь терригенного материала (приблизительный состав); признаки ожелезнения; наличие раковинного материала; наличие органического вещества; карбонатность (опробование HCl); текстурные признаки (главным образом для колонок, взятых трубкой Экмана).

Проведенное таким образом изучение осадков позволило уже предварительно разбить все собранные образцы донных проб на следующие типы: пески, известковые пески, глины и мергели. В результате предварительного изучения осадков была составлена карта типов донных отложений Арала, которая и послужила основой для дальнейших исследований.

а) Гранулометрический анализ

В упомянутой выше работе В. П. Зенковича (1947) дается большой материал по гранулометрическим анализам образцов аральских грунтов. Анализы проведены методом Робинсона с рядом параллельных определений методом Осборна. В связи с этим излишне было бы повторять всю серию трудоемких анализов; дополнены они только недостающими анализами песков, проведенными методом Осборна. Таким образом, в нашем распоряжении оказался материал, состоящий из 42 гранулометрических анализов, проведенных методом Робинсона с растворением в соляной кислоте, и из 12 анализов песков с предварительным освобождением от карбонатов, проведенных методом Осборна. Материал этот невелик, но все же, основываясь на нем, можно было проверить карту типов осадков, а также наметить схемы, характеризующие распределение пелитовых, алевроитовых и песчаных частиц и средних диаметров обломочного материала.

благодаря впадающим в него двум мощным рекам — Сыр-Дарье и Аму-Дарье. Отсутствие более или менее значительных дождевых потоков или хотя бы мелкой гидрографической сети, могущей поставлять в море какой-либо материал с суши помимо двух упомянутых основных артерий, делает его особенно интересным с точки зрения выяснения баланса вносимого материала.

Аральское море лишено стока и, следовательно, весь материал, поступающий в него, должен оставаться в водоеме, распределяясь в соответствии с гидродинамическими условиями моря. Водоем отличается сравнительно большим разнообразием в морфологии своего дна и окружающей береговой линии, что, естественно, сказывается на распределении материала. Обладая высокой карбонатностью илов, Аральское море представляет также большой интерес с точки зрения выяснения условий накопления карбоната в осадках.

Неодинаковый режим водоема в течение периода его существования накладывает отпечаток на характер донных осадков, что дает возможность произвести попытку стратификации осадков в водоеме.

2. К истории исследования осадков Аральского моря

Опуская перечень общих исследований, проводившихся на Аральском море начиная примерно с 1900 г., следует остановиться кратко лишь на тех работах, которые касались изучения донных осадков этого бассейна.

Первые страницы, посвященные аральским грунтам, вышли из-под пера естественника-наблюдателя Л. С. Берга в его обширной монографии «Аральское море» (1908). Грунты, поднятые со дна моря драгой, автор разделяет на пески, серый ил, черный ил и камень. Он дает описание физических свойств каждого из выделенных типов, распределение их по дну водоема, химический анализ грунта (выполненный К. Шмидтом), разбирает также некоторые химические процессы, происходящие на дне водоема (сероводородное заражение), и ряд других вопросов. Л. С. Берг первый подчеркивает громадную роль рек во вносе взвешенных веществ, необходимых для осадконакопления в водоеме.

В 1907—1911 годах на базе материала, собранного Л. С. Бергом, проводились некоторые исследования грунтов К. К. Гильзеном (1911) и М. Н. Сидоренко (1911). Последний, собрав материалы по минералогии осадков, указывает на наличие кварца (главного компонента), полевого шпата, слюды, тяжелых минералов и ряда минеральных новообразований (гидротроилит, гипс). В работе К. К. Гильзена говорится о цвете осадков Аральского моря и их механическом составе, а также обращено внимание на присутствие карбонатов. Так же, как и Л. С. Берг, названный автор считает главной причиной высокой карбонатности аральских грунтов наличие большого количества раковинного материала в осадках.

В 1933 г. А. Л. Бенингом и В. П. Шостаковичем были проведены исследования микрослоистости аральских грунтов. Микрослоистость они изучали на ряде образцов грунта, полученных стратометром Перфильева, причем дали заключение о связи периодичности в осадконакоплении Аральского моря и в поведении солнечных пятен.

В 1935 г. была опубликована работа А. Л. Бенинга, в которой он приводит карту осадков так называемого Малого моря (северная часть Аральского моря) и дает ряд механических анализов их. Типы грунтов выделены им в соответствии с номенклатурой, данной Л. С. Бергом.

Наконец, последняя работа, посвященная аральским осадкам, принадлежит В. П. Зенковичу (1947). Собственно, это первая попытка, как пишет сам автор, дать цельное представление о распределении грунтов в зависимости от физико-географических условий моря. Основываясь на

большом количестве гранулометрических анализов, В. П. Зенкович классифицирует донные осадки в зависимости от содержания в них фракции $<0,01$ мм, пользуясь номенклатурой М. В. Кленовой. Составленные автором карты пелитового материала $<0,01$ мм и $<0,001$ мм чересчур схематичны, что мешает достаточно правильному решению вопроса о влиянии гидрохимических факторов на ход осадконакопления.

Автор впервые дает процентное содержание CaCO_3 в аральских осадках, правда, без специальных карбонатных анализов, пользуясь лишь данными, полученными при растворении осадка в соляной кислоте, что дает искаженный результат. Составленная им карта карбонатности также схематична и полного представления о ходе карбонатакопления на дне водоема не дает. Совершенно справедливо В. П. Зенкович указывает, что причина высокой карбонатности аральских грунтов заключается не в количестве раковинного материала, а в количестве осажденного из воды химически CaCO_3 и материала, принесенного течением.

Этим исчерпывается список работ, посвященных непосредственно донным осадкам Аральского моря. Существует обширная литература по изучению самого водоема, т. е. его гидрологических и гидрохимических условий, колебания уровня, вноса взвешенного и растворенного материала и т. п. Сюда относятся, кроме упомянутой монографии Л. С. Берга, работы Г. В. Никольского (1940), Б. Л. Зайкова (1946), Е. Г. Виноградовой (1948) и др.

3. Отбор проб и методы их изучения

Донные пробы мы брали дночерпателем Петерсена (1/40 и 1/10 м); кроме того, 30 проб были взяты трубкой Экмана длиной 1,5 м. Длина полученных колонок колебалась от 0,10 до 1 м.

Одним из основных методов при обработке материала являлось детальное макроскопическое описание донных осадков как в сыром виде, непосредственно после взятия пробы на борту судна, так и после их высыхания при камеральной обработке. При этом отмечались: характер осадка (тип); цвет; примесь терригенного материала (приблизительный состав); признаки ожелезнения; наличие раковинного материала; наличие органического вещества; карбонатность (опробование HCl); текстурные признаки (главным образом для колонок, взятых трубкой Экмана).

Проведенное таким образом изучение осадков позволило уже предварительно разбить все собранные образцы донных проб на следующие типы: пески, известковые пески, глины и мергели. В результате предварительного изучения осадков была составлена карта типов донных отложений Арала, которая и послужила основой для дальнейших исследований.

а) Гранулометрический анализ

В упомянутой выше работе В. П. Зенковича (1947) дается большой материал по гранулометрическим анализам образцов аральских грунтов. Анализы проведены методом Робинсона с рядом параллельных определений методом Осборна. В связи с этим излишне было бы повторять всю серию трудоемких анализов; дополнены они только недостающими анализами песков, проведенными методом Осборна. Таким образом, в нашем распоряжении оказался материал, состоящий из 42 гранулометрических анализов, проведенных методом Робинсона с растворением в соляной кислоте, и из 12 анализов песков с предварительным освобождением от карбонатов, проведенных методом Осборна. Материал этот невелик, но все же, основываясь на нем, можно было проверить карту типов осадков, а также наметить схемы, характеризующие распределение пелитовых, алевроитовых и песчаных частиц и средних диаметров обломочного материала.

б) Минералогический анализ

Для изучения минералогического состава донных отложений моря были проведены 50 гранулометрических анализов методом Сабанина. Полученные фракции от 0,01 до 0,25 мм были разделены бромформом с удельным весом 2,7 на тяжелую и легкую части. Навеску для разделения мы брали в количестве 2 г, вычисляя процентное соотношение тяжелой и легкой фракции, а отдельные минералы, входящие в их состав, изучали в иммерсионных жидкостях под микроскопом. Отдельно для тяжелой и легкой фракции мы вычисляли процентный состав входящих в них минералов. Для выяснения распределения минералов по площади моря была составлена карта.

в) Микроскопическое изучение осадков в шлифах

Из глин, алевроитов и мергелей были изготовлены прозрачные шлифы, изученные под микроскопом. Всего описано 250 шлифов из дючерпательных проб и колонок. Это дало нам возможность получить сравнительно полное представление о структуре и текстуре изучаемых отложений, проследить за включениями органического вещества и, в частности, диатомей и определить состав терригенного материала, входящего в тех или иных количествах в осадки. С помощью микроскопического изучения удалось выделить осадки, обладающие максимальным содержанием диатомовых, и изучить известковые пески, состоящие из карбонатных зерен. Кроме того, в 140 образцах было проведено изучение карбонатного вещества иммерсионным методом.

При микроскопическом изучении карбонатного материала осадков мы применяли цветную реакцию Файгеля для отличия арагонита от кальцита. Окрашивание велось в шлифах при помощи сернокислого марганца. Это же окрашивание было применено и макроскопически на 25 образцах. Для диагностики доломита цветная реакция не применялась, так как химические анализы показали его отсутствие.

г) Химические анализы

Все нижеприведенные химические анализы были выполнены в химической лаборатории отдела сравнительной литологии Института геологических наук Академии Наук СССР под общим руководством Э. С. Залманзон. Определение CO_2 было произведено на аппаратах Фрезениуса-Кнопфа почти во всех собранных пробах донных осадков Аральского моря, а также в ряде образцов, взятых из отложений, слагающих побережье и острова моря.

Анализ карбонатной части осадка производился для небольшого количества образцов грунтов следующим образом. Осадок осторожно нейтрализовался соляной кислотой. Затем к нему добавлялось еще 100 см³ 1,5% -ной соляной кислоты, и раствор нагревался до кипения. Такая обработка вполне достаточна, чтобы перевести в раствор даже значительное количество доломита — наиболее трудно растворимого карбоната. Силикатная часть породы при такой обработке затрагивалась обычно очень незначительно и лишь в тонкой глинистой ее части. Величина R_2O_3 и силикатное MgO являлись указанием на растворенную силикатную часть осадка.

Определение углерода производилось в 90—100 образцах мокрым сжиганием на аппарате Фрезениуса-Кнопфа. Общее содержание железа в осадке определялось методом Райдгартена в 100 образцах. Аморфная SiO_2 определялась многократными вытяжками 5% Na_2CO_3 из осадка. Анализировалось всего 14 образцов, обладающих по микроскопическому описанию максимальным количеством диатомовых.

д) Спектральные анализы

Спектральные анализы осадков производились в лаборатории спектрального анализа Института геологических наук АН СССР под руководством Н. В. Лизунова. Всего было исследовано 82 образца, более или менее равномерно распределенных по площади моря, и, кроме того, 114 фракций, полученных в результате гранулометрического анализа. Последний проводился с целью выяснения особенности распространения отдельных малых элементов в зависимости от крупности материала осадка.

е) Термический анализ

Термический анализ осадков производился в термической лаборатории Института геологических наук АН СССР под руководством А. И. Цветкова. Нагреванию в термопечах были подвергнуты два образца мергелей, показавших в результате химического карбонатного анализа максимальное содержание $MgCO_3$.

На основании указанных комплексных исследований была сделана попытка, путем построения ряда карт, характеризующих механизм разноса и накопления того или иного компонента осадка, составить представление о процессах седиментации, происходящих в изучаемом водоеме.

В заключение автор пользуется случаем выразить свою искреннюю благодарность Н. М. Страхову. Большую помощь в работе нам оказали также В. П. Зенкович, любезно предоставивший свой материал, Э. С. Залманзон, руководившая всеми химическими анализами, Н. В. Лизунов и научные работники аральской станции ВНИРО.

Глава I

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АРАЛЬСКОГО МОРЯ КАК ВОДОЕМА

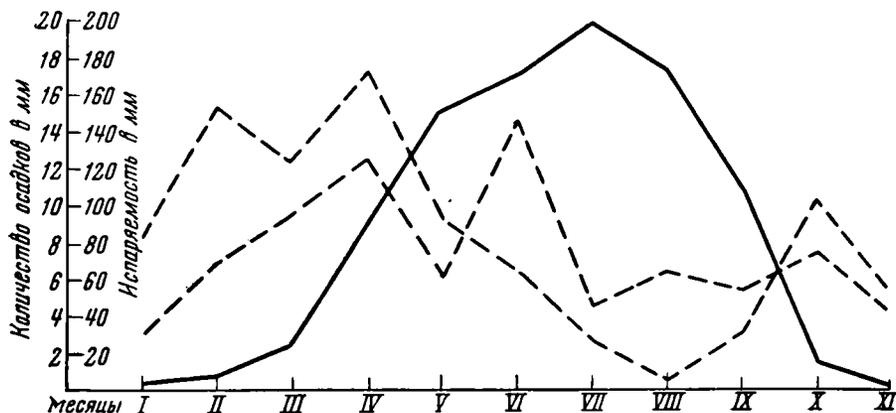
1. Физико-географические условия

Аральское море расположено между $46^{\circ}82'$ и $43^{\circ}28'$ северной широты и $56^{\circ}04'$ — $61^{\circ}56'$ восточной долготы. С запада в море обрываются многометровые чинки плато Усть-Юрта, на востоке его волны набегают на широкий широкий пляж, переходящий в безбрежье пустыни Кызыл-Кумов. Почти все пространство южного берега занято камышами и протоками дельты р. Аму-Дарьи; в северо-восточной части моря расположено устье р. Сыр-Дарьи, а северные заливы глубоко врезаются в глинистые массивы Тургайской «столовой» страны.

В меридиональном направлении в море тянется гряда островов и подводных мелей, разделяющих его на два неодинаковых по площади бассейна. Аральское море (озеро) принадлежит к числу закрытых водоемов и занимает, согласно подсчетам 1942 г., $66\,458\text{ км}^2$ (с островами). При своей значительной величине озеро отличается мелководностью; наибольшие глубины составляют всего 68 м. Расположено оно в зоне засушливого климата с весьма незначительным количеством осадков.

Как справедливо отмечает Г. В. Никольский (1940), «по годовому количеству осадков Аральское море занимает одно из последних мест среди крупных озер земного шара». Сезонные изменения в количестве выпавших осадков видны на графике (фиг. 1). Всего за год выпадает от 82 до 104 мм, что характерно для области пустыни. Для нас существенным является тот факт, что наибольшее количество осадков приходится на апрель, т. е.

на время, непосредственно следующее за таянием снега. Таким образом, Аральское море получает одновременно сток талых и дождевых вод и, следовательно, максимальное количество материала, слагающего его осадки. Наряду с незначительными осадками, район Аральского моря



Фиг. 1. Количество осадков и испаряемость в районе Аральского моря. Пунктирные линии — количество осадков, по данным Г. В. Никольского (среднее за ряд лет); сплошная линия — испаряемость, по данным Л. С. Берга.

отличается большой испаряемостью. Так, по данным Л. С. Берга, за 15 лет в районе Казалинска испарилось 13,3 м осадков, а выпало только 1,8 м. Приведенный график (фиг. 1) иллюстрирует ход испаряемости по месяцам (данные Л. С. Берга).

2. Рельеф дна водоема

В западной части моря вдоль крутого обрывистого берега Усть-Юрта, от мыса Ак-Тумсук на юге до мыса Бай-Кубек на севере, расположена впадина, характеризующаяся максимальными глубинами.

Впадина эта разделяется на две ямы, из которых южная более обширна по площади. Характерной особенностью южной ямы является очень крутой западный борт ее и более пологий восточный. К северу описываемая яма выполаживается, и на этих же широтах с западной стороны от нее расположен далеко выдающийся в море мыс Ак-Тумсук, а с восточной находится мелководная зона. От другой ямы, расположенной несколько севернее, упомянутое место понижения дна отделяется неширокой седловиной, глубина которой невелика. С запада этой седловине соответствует мыс Кара-Куш, также значительно выдающийся в море, а с востока — мелководная область, окружающая о-в Возрождения.

Далее к северу, после некоторого повышения дна, расположенного на широте мыса Бай-Кубек и о-ва Барса-Кельмес, в зал. Чернышева находится третья яма с глубинами, несколько превышающими 40 м. Происхождение всех трех описываемых впадин западной части Аральского моря пока неясно, но нетрудно заметить, что углубления дна моря и седловины, разделяющие ямы, в общих чертах соответствуют конфигурации берегов и связаны с местоположением островов. Связь эта, возможно, обусловлена тектоническим строением района.

Мелководная зона, протягивающаяся почти в меридиональном направлении, как бы разделяет море на две части и состоит в свою очередь из трех положительных элементов: мелководья, соответствующего мели Беллинсгаузена и о-ву Лазарева, о-ва Возрождения с группой мелких остро-

вов и, наконец, п-ова Куланды. Непосредственно с запада к последнему примыкает описанная уже выше яма зал. Чернышева. Эти положительные элементы дна моря разделяются небольшими понижениями, в которых глубина, однако, не превышает 10—15 м.

Подмеченная зависимость между конфигурацией берегов Аральского моря и рельефом дна особенно отчетливо сказывается в северной части моря. Здесь далеко врезанные в берег заливы всегда соответствуют довольно резкому понижению дна и наличию замкнутых впадин. Последние обнаружены в заливах Тше-Бас, Паскевича и Сары-Чеганак. Бассейн, расположенный к югу от о-ва Барса-Кельмес, представляет собой сравнительно мелководную зону Аральского моря со спокойным рельефом дна, постепенно понижающегося от восточных берегов моря к центру с широкой мелководной зоной взмучивания.

3. Гидрологический очерк

Водная масса, поступающая в водоем, образуется главным образом за счет вносимых реками вод. Смешиваясь с морскими солоноватыми водами, пресные воды Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи поступают в общий поток, который в Аральском море движется по часовой стрелке (фиг. 2). Основная ветвь течения начинается в зал. Талды-Узек и у о-ва Лазарева разделяется на две части¹. Западная ветвь сливается с водами, выходящими из западной части дельты (Урга), и движется на север вдоль побережья. У п-ова Куланды течение отделяет струю, входящую в зал. Чернышева и огибающую его по часовой стрелке. Вторая ветвь идет вдоль восточного берега о-ва Возрождения.

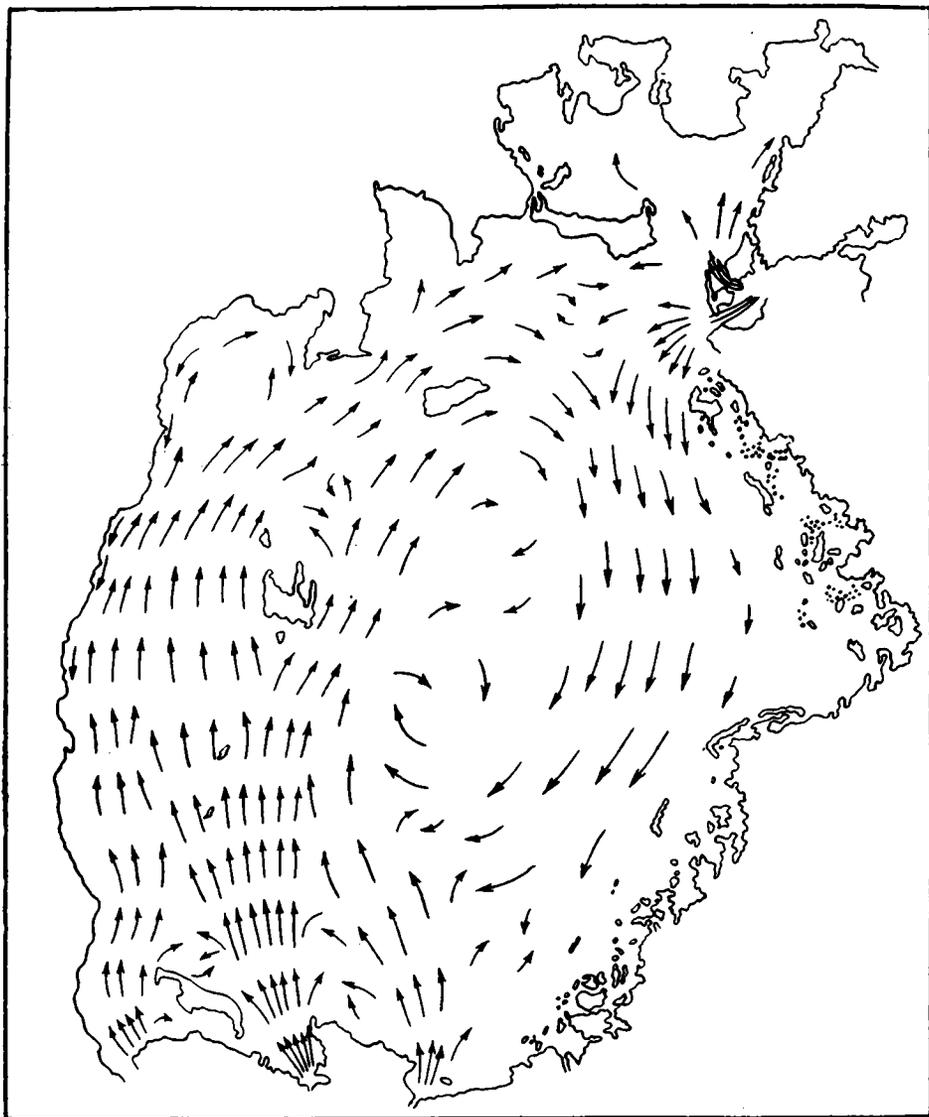
Восточнее зал. Талды-Узек в море впадает проток Казак-Дарья. Вода, выносимая этим протоком, движется на север, а затем отклоняется к западу и сливается с талды-узекским течением. В районе о-ва Барса-Кельмес обе ветви течения встречаются. В проливе между островом Куг-Аралом и дельтой р. Сыр-Дарьи поток сливается с сыр-дарьинскими водами и вместе с ними движется на юг вдоль восточного берега Арала. На широте о-ва Толмачева течение поворачивает на запад и здесь, столкнувшись с упомянутыми водами протока Казак-Дарья, движется на север, образуя некоторое завихрение. Таким образом, в Аральском море существует кольцевое течение, оставляющее в центральной части моря так называемую застойную зону. Существующие ветровые течения появляются после продолжительных ветров, главным образом северного, северо-восточного и северо-западного румбов.

Перед устьями рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи постоянно наблюдаются так называемые компенсационные течения. Одной из отличительных особенностей Аральского моря является его необычайно высокая прозрачность. У западного берега в области больших глубин она достигает 27 м; наименьшая прозрачность, естественно, наблюдается в предустьевых зонах рек, впадающих в море. Картина впадения желто-бурых, необычайно мутных сыр-дарьинских и аму-дарьинских вод надолго остается в памяти. Однако при соприкосновении речной воды с соленой морской происходит чрезвычайно быстрая коагуляция взвешенных частиц, и полоса яркосиней прозрачной воды очерчивает границу влияния реки.

Узкая полоса мутных непрозрачных вод, помимо дельтовых зон, протягивается вдоль восточного побережья и связана здесь, очевидно, с значительными волнениями, беспрерывно взмучивающими воду. В центральной части водоема, в так называемой застойной зоне, отмечается высокая

¹ Данные относятся к 1936—1937 гг. и заимствованы из работы Г. В. Никольского (1940).

прозрачность до глубин 20—23 м. На связь прозрачности с количеством взвешенных веществ указывал ряд исследователей (Скопинцев, 1946; Поляков, 1935); в недавних работах К. И. Иванова (1948) показана



Фиг. 2. Схема течений в Аральском море (по Г. В. Никольскому, 1940).

в дельте Куры гиперболическая зависимость между содержанием взвешенных веществ и прозрачностью воды. По выведенному уравнению Иванов определяет содержание взвешенных веществ при прозрачности в 25 м в 0,7 мг/л. Высокую прозрачность аральской воды некоторые авторы (Никольский, 1940; Виноградова, 1948) видят в отсутствии больших волнений и бедности планктона. Однако кажется более правдоподобным, что взвешенные вещества, вносимые в Аральское море реками или взмученные благодаря волнениям, чрезвычайно быстро коагулируют. В. А. Скопинцев (1946) опытным путем показал, что на скорость

коагуляции взвешенных веществ в морской воде влияет их количество: с увеличением количества вносимых в водоем взвешенных веществ увеличивается и скорость коагуляции.

Возможно, что быстрой коагуляции взвесей в Аральском море, кроме того, способствует сравнительная бедность органическим веществом. Последнее, обволакивая частицы, мешает их садке. Что касается волнений, то они, как указывает Л. С. Берг, бывают очень сильными и связаны с частыми ветрами, так что видеть в них причину высокой прозрачности Арала, очевидно, не приходится. Тесно связан с прозрачностью Аральского моря яркосиний цвет его вод. Синевая вода в некоторых пунктах моря, обладающих максимальной прозрачностью, приближается к делению II по шкале Фореля, что ставит Аральское море по синеве в один ряд со Средиземным.

Чтобы закончить краткий гидрологический очерк водоема, следует остановиться на распределении температур в водах Аральского моря. Прогревание идет обычно с юго-востока на северо-запад, и уже в мае вода почти всей площади моря обладает температурой в 5° , а в юго-восточной его части выше 10° . В июле-августе наблюдается наибольшее прогревание воды. Температура поверхностной воды по всему морю достигает 22° . Однако с глубиной температура воды уменьшается и на глубине 64 м доходит до $0,06^{\circ}$. Так называемый «температурный скачок» лежит в центральной части моря на глубине 15—20 м, а в западной части на глубине 10—15 м.

Низкие температуры в донных слоях в течение круглого года наблюдаются только во впадинах, обладающих максимальными глубинами. В остальных частях моря к осени вода даже на глубинах в 25—30 м прогревается до 18 — 20° . Волнения в Аральском море значительные, так как они связаны с ветровым режимом. Глубина воздействия волн обычно несколько выше слоя температурного скачка и, соответственно, не превышает 20 м, а в западной части водоема даже 10—15 м. Однако во всей мелководной восточной части бассейна глубиной до 15 м волнения, очевидно, достигают дна.

4. Гидрохимические условия водоема

В работах Н. Тейха (1872), К. Шмидта (1878) и Г. Розенгрена (1875) приводятся результаты единичных химических анализов аральской воды. Позднее солевой состав Аральского моря изучался Н. Степановым (1907) и Ф. Ф. Бадером (1934). С 1935 г. систематическое изучение химического режима моря в течение навигационного периода проводится аральской рыбохозяйственной станцией.

Во время работ 1946—1947 гг. одновременно с исследованиями донных осадков автором производились некоторые химические определения непосредственно на экспедиционном судне «Лев Берг», в том числе: определение хлора, растворенного кислорода, щелочного резерва и pH. Кроме того, были отобраны пробы воды из открытых и прибрежных частей моря, анализировавшиеся в химической лаборатории.

На основании вышеизложенных материалов можно дать краткую характеристику химических особенностей Аральского моря, необходимую для изучения процессов осадкообразования, происходящих на дне водоема. Солевой состав воды Аральского моря характеризуется значительным содержанием сульфатов и карбонатов, наряду с уменьшенным количеством хлоридов по сравнению с нормальной морской водой и даже с водой таких закрытых водоемов, как Каспий. Основными солями Аральского моря являются NaCl , MgSO_4 и CaSO_4 .

Процентное содержание отдельных элементов по площади моря мало изменяется, но все же отмечается большая насыщенность солями центральной части водоема. Общая соленость Аральского моря

составляет 9—10‰, за исключением зоны дельты, где она падает до 1—2‰; влияние р. Аму-Дарьи сказывается в сравнительно низкой солености поверхностных слоев, далеко вдающихся вдоль западного берега на север; воды же Сыр-Дарьи, соответственно с направлением течения, наоборот, прослеживаются от устья реки на юг. Соленость Аральского моря зависит в основном от величины речного стока и, следовательно, изменяется с изменением уровня моря. Кроме того, отчетливо выражены сезонные колебания солености. С увеличением паводка усиливается и опреснение поверхностной зоны. В северной части моря наблюдается некоторое опреснение воды в связи со стоком талых вод. По мере продвижения от поверхности моря ко дну величина солености несколько увеличивается. Однако, как отмечает Е. Г. Виноградова (1948), колебания выражаются в сотых промиллей, в связи с перемешиванием вод и малыми глубинами. В западной части водоема, где глубина максимальна, разница между поверхностной и донной соленостью выражена резко.

Значение рН колеблется от 8 до 8,3. В открытых частях моря наблюдается увеличение значения рН от весны к осени, и зависит это, по мнению Е. Г. Виноградовой, от уменьшения к концу лета свободной CO_2 . С глубиной наблюдается уменьшение величины рН, связанное, повидимому, с понижением температуры. Наблюдения по ряду глубоководных станций показали, что на глубинах в 40—60 м величина рН опускается до 7,6—7,8.

Значение щелочного резерва подробно разобрано ниже, в главе «Карбонатность донных осадков». Здесь отметим только, что щелочность изменяется от 2,6 до 3,12 мг/экв. Наблюдается некоторое увеличение щелочности с глубиной.

Карбонат кальция повсеместно пересыщает воду, причем в теплое время года при температуре около 30° пересыщение достигает 2,5 раз. Как у дна, так и у поверхности вода Аральского моря насыщена кислородом. На пунктах с глубинами около 20 м пересыщение у дна достигает 145—154%. Интересен тот факт, что в глубоководных впадинах Аральского моря, там, где грунты обычно заражены сероводородом, придонный слой воды насыщен и даже пересыщен кислородом. Это явление связывается с широким развитием донной растительности (Никольский, 1940).

Содержание кремнекислоты находится в зависимости от влияния речных вод и колеблется от 250 до 1000 мг/м³, причем наибольшее количество наблюдается в предустьевых зонах моря.

5. Питание водоема

Находясь в зоне засушливого климата, Аральское море лишено возможности сколько-нибудь значительно пополнять свой водный баланс с помощью дождевых потоков, снежного покрова и грунтовых вод. Основное количество воды, поступающее ежегодно в море, ограничивается водными массами, вносимыми Аму-Дарьей с юга и Сыр-Дарьей с северо-востока. По этим же путям попадает в Арал главное количество взвешенных и растворенных минеральных веществ, осаждающихся затем на его дне. Помимо этих основных путей, источником материала для осадков Аральского моря служат его берега и острова, разрушающиеся под действием абразии; некоторое количество материала поставляется, очевидно, эоловым путем и подземным стоком.

а) Деятельность рек

Рассмотрение источников питания Арала начнем с главных водных артерий — Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Обе они принадлежат к категории рек ледниково-снегового питания и отличаются поздним прохождением

основной массы стока, падающим главным образом на июль. Низкие расходы воды наблюдаются в январе—марте. Всего за год обеими реками вносится в Аральское море 46,6 км³ воды (данные по маловодному году). В своих мутных водах реки несут громадное количество взвешенных и растворенных веществ.

Основной водной артерией, питающей Аральское море, является река Аму-Дарья. Эта одна из величайших мировых рек общей протяженностью в 2330 км, берущая свое начало на Памире и образованная слиянием двух рек — Вахан-Дарьи и Памира. Течение Аму-Дарьи очень быстрое. Расход воды максимален в июне-июле и минимален в январе-феврале (маловодный год). Количество взвешенных веществ, переносимых мутными водами Аму-Дарьи в среднем за маловодный год, составляет 79,9 млн. т. Наибольшее количество материала транспортируется в весенне-летние месяцы, а наименьшее — в зимние.

Наряду с изменением количества взвешенных веществ меняется и их механический состав. Аму-Дарья несет главным образом мелкий материал. К сожалению, нет данных о количестве и размерах частиц влекомых наносов, но по аналогии с Сыр-Дарьей (см. ниже) можно считать, что они в количественном отношении значительно уступают взвешенному материалу.

Анализ аму-дарьинских грунтов (по В. В. Цинзерлингу) показывает, что в песчаных грунтах частицы >0,5 мм вовсе не встречаются. Собранный летом 1946 г. муть аму-дарьинской воды анализировалась в химической лаборатории. Результаты анализа следующие (в % на абсолютно сухую навеску): Fe — 4,98; Mn — 0,07; С — 0,69; CO₂ — 7,06; CaCO₃ — 16,06; P — 0,18. Учитывая большую мутность речных вод, вносимых ежегодно в Аральское море, установлено, что во взвешенном состоянии в водоем попадает значительное количество Fe (~3,9 млн. т.) и CaCO₃ (~13 млн. т.).

Принося громадное количество наносов, Аму-Дарья тем самым способствует интенсивному росту своей дельты. Большая часть ее занята разливами, сплошь заросшими тростниками, и только отдельные места — открытыми поверхностными водами в виде озер.

Интересной особенностью дельты является тот факт, что наивысшие отметки приходится на ее центральную часть. Это объясняется тем, что основная масса воды Аму-Дарьи в течение многих десятков лет направлялась именно в среднюю часть дельты, образуя разливы и озера и откладывая основное количество наносов. Совершенно ясна та роль, которую играет пространство дельты, осаждающая значительную часть взвешенных наносов, несомых Аму-Дарьей, непосредственно в камышах и разливах.

Помимо взвешенных минеральных частиц, река снабжает Аральское море растворенными в ней солями. Общее количество последних, вносимое в дельту, составляет 19,5 млн. т в год.

Реки бассейна Аму-Дарьи по своему питанию делятся на ледниковые, снеговые и смешанные. В горной зоне речная вода имеет наименьшую минерализацию — тип воды карбонатно-кальциевый. В зоне развития третичных и меловых пород вода более минерализована; тип воды смешанный, т. е. ясно выраженного господства определенного компонента не наблюдается. Наибольшая минерализация воды в Аму-Дарье приходится на февраль-апрель, наименьшая — на июль-август. Принос в растворимом состоянии составляет: Fe — 0,1 млн. т, CaCO₃ — 4,4 млн. т. Полученные данные указывают, что Аму-Дарья приносит значительно меньше Fe в растворенном состоянии, чем во взвешенном.

Вторая питающая артерия — р. Сыр-Дарья — образуется слиянием двух рек: Нарына, берущего свое начало на южных склонах Терской Алатау, и Кара-Дарьи, вытекающей из Ферганской долины. На пути своего дальнейшего следования река принимает ряд притоков, из которых крупнейшие: Арысь, Чирчик, Ангрен. Общая протяженность реки равна 2 00 км.

Мутные воды Сыр-Дарьи несут в водоем в среднем 10 млн. т взвешенных наносов в год, причем количество их в различные месяцы года резко меняется. Наибольший расход взвешенных частиц наблюдается в июне-июле. Гранулометрический состав как взвешенных, так и влекомых по дну наносов в течение года естественно меняется. Располагая гранулометрическими анализами сыр-дарьинской мути, мы высчитали средний диаметр (Md) для частиц, приносимых в различные месяцы. В течение января—марта Md частиц $< 0,01$ мм, в течение мая—сентября $Md = 0,01 - 0,05$ мм.

Таким образом, река в общем транспортирует сравнительно мелкий взвешенный пелитово-алевритовый материал. Так называемые влекомые наносы, т. е. минеральные частицы таких размеров ($> 0,1$ мм), что они не могут поддерживаться течением во взвешенном состоянии, а перекатываются по дну, транспортируются Сыр-Дарьей в значительно меньших количествах, чем взвешенные.

Химический состав мути Сыр-Дарьи, собранной путем отстаивания значительного количества воды, показал следующее содержание на абсолютно сухую навеску (в %): Fe — 4,37; Mn — 0,06; C — 0,62; CO_2 — 9,29; $CaCO_3$ — 21,13; P — 0,11.

Приведенные данные указывают на значительное количество хемогенных элементов, ежегодно вносимых в Аральское море Сыр-Дарьей во взвешенном состоянии: Fe — 0,43 млн. т.; $CaCO_3$ — 2,9 млн. т. Но непосредственно в Аральское море попадает далеко не весь материал, несомый рекой; значительное его количество осаждается несомненно в дельте. Последняя хотя и уступает по величине аму-дарьинской дельте, но обладает все же значительной площадью, занятой камышами и разливами. Не располагая специальными данными о количестве материала, осаждающегося непосредственно в дельте Сыр-Дарьи, условно можно принять эту цифру за 10%. Следовательно, если река несет во взвешенном состоянии 10 млн. т, то в Аральское море попадает только 9 млн. т взвешенных наносов.

Помимо минеральных частиц, река поставляет значительное количество растворенных солей, содержание которых в различные месяцы резко изменяется. Общее повышение минерализации отмечается в январе—марте. Минимальные значения приходится на летние месяцы, очевидно благодаря таянию снегов и некоторому увеличению осадков. Общее количество солей, приносимых Сыр-Дарьей в районе Казалинска, возрастает в летнее время в связи с увеличением расхода воды. Расход солей, растворенных в воде Сыр-Дарьи, составляет в год 5,6 млн. т. Количество внесенных Сыр-Дарьей железа и карбоната кальция в растворенном состоянии составляет: Fe — 0,039 млн. т, $CaCO_3$ — 1,7 млн. т. Как видно, и в данном случае имеет место превышение взвешенного железа и карбоната кальция над растворенным.

Подводя итог характеристике рек как основных источников питания Аральского моря, следует отметить следующие общие положения.

1. Реки вносят в Аральское море материал во взвешенном, влекомом и растворенном состояниях. Количество его приведено в табл. 1.

2. Взвешенный материал по размерам в основном соответствует обломочному материалу мелкозернистых алевритов.

3. Химический состав взвешенных веществ показывает значительное процентное содержание $CaCO_3$ и Fe.

4. Огромные дельтовые пространства рек уменьшают количество поступающего в водоем материала, осаждая значительную часть взвешенных и растворенных веществ.

5. Химический состав вод в реках изменяется в зависимости от времени года. Наибольшая минерализация наблюдается в зимние месяцы.

Таблица 1

Количество материала, вносимого в водоем Аральского моря реками
(за год, в млн. т)

Р е к и	Взвешенный материал	Влекомый материал	Растворенный материал
Аму-Дарья	79,9	нет данных	19,5
Сыр-Дарья	10,0	0,7	5,6
	89,9		25,1

6. Общее количество растворенного вещества, поступающего в бассейн, возрастает в летний период.

7. Железо и карбонат кальция вносятся обеими реками во взвешенном состоянии в большем количестве, чем в растворенном.

б) Абразия берегов

Чтобы иметь представление о характере материала, поступающего в Аральское море при абразии берегов и островов, следует хотя бы кратко ознакомиться с типами пород, слагающих изучаемые районы. В своем описании мы придерживаемся стратиграфической схемы, данной для Приаралья А. Л. Яншиным (1941).

Наибольшее разнообразие отложений встречается на северных берегах моря. Самые древние породы обнажаются на п-ове Куланды — это глины и пески континентального мезозоя. Нижняя свита состоит из переслаивания глин белых, светлосерых, розоватых, яркочерных и фиолетовых; верхняя песчаная свита представлена кварцевыми средне- и мелкозернистыми песками и песчаниками. На южном берегу п-ова Куланды и к западу от мыса Изенды в описываемых отложениях встречаются пропластки бурых углей.

На восточной стороне п-ова Куланды имеются выходы морского верхнего мела — Cr_2^{sn} , представленного серой песчано-глинистой толщей иногда с желваками фосфоритов и конкрециями сидеритов. В обрыве восточного берега п-ова Куланды к северу от мыса Тас-Мурун обнажается толща мелоподобных известняков верхнего сенона мощностью 15 м.

Отложения палеогена начинаются так называемыми «нуммулитовыми слоями» — Pg_2 , выходы которых имеются на п-ове Изенды-Арал. Это — желтоватые крепкие массивно-слоистые известняки с прослоями серовато-зеленого глинистого песка и фосфоритов. На северном берегу зал. Тще-Бас, несколько восточнее горы Биль-Арал, обнажаются сланцеватые глины с известково-глинистыми, кремнисто-глинистыми или сидеритово-глинистыми стяжениями, относящиеся к тас-аральским слоям нижнего эоцена. При выветривании эти глины приобретают однообразную серовато-бурую окраску, местами с зелеными или синими пятнами. В свежем состоянии глины тонкослойные при выветривании становятся чешуйчатыми и дают осыпи глинистой щебенки.

Западнее мыса Туранглы в обрыве у моря выходят саксаульские слои среднего эоцена — Pg_2^{sk} , представленные толщей песков и песчаных глин. По берегам заливов Кум-Суат, Чернышева и Тще-Бас залегают чеганские слои, относимые к верхнему эоцену — нижнему олигоцену — Pg_{3-2}^{cg} . Они представлены серо-зелеными, часто гипсоносными глинами, в подошве которых залегают слои фосфоритов. Иногда наблюдаются примазки, близкие по своему составу к ярозиту.

В обрыве северного берега зал. Перовского обнажаются континентальные и солоноватоводные отложения олигоцена. Разрез начинается толщей косослоистых кварцевых песков с подчиненным количеством глинистого материала. Кверху возрастает роль косослоистых и слоистых шоколадных и лиловатых глин. Отложения эти развиты вдоль всего побережья зал. Паскевича от п-ова Чубар-Тарауз до п-ова Кара-Тюпе.

В северо-западной части моря обнажаются фиолетово-зеленые глины, относящиеся к аральским слоям нижнего миоцена — N_1^{ar} , которые тянутся вдоль западного берега Усть-Юрта вплоть до мыса Дуана. В нижней части разреза залегает слой рыхлого светложелтого мелкозернистого кварцевого песка. Примерно на широте $45^{\circ}20'$ аральские слои перекрываются тонкослоистыми глинами палеогена. У мыса Ак-Тумсук на сравнительно небольшой площади в обрыве западного берега обнажаются известняки и мергели мелового возраста. К югу от названного мыса по берегу вновь выходят слои палеогена, перекрываемые светлосерыми гипсоносными глинами неогена (конкский горизонт). Описываемый разрез западного берега, достигающий значительной мощности, венчается отложениями сарматского яруса — N_1^{srm} , представленными известняками и мергелями. На протяжении почти всего западного берега моря широко развиты оползни сарматских известняков по нижележащим глинистым толщам, достигающие значительных размеров, что создает часто обманчивую картину строения берега, как бы сложенного исключительно известняковыми породами.

Южная часть моря, как уже выше указывалось, занята в основном разливами и протоками Аму-Дарьи. В северо-восточной части моря расположена дельта Сыр-Дарьи. К югу от нее на всем восточном побережье моря — низменные песчаные пространства, занятые широкой пляжевой полосой и современными дюнными образованиями. На некотором отдалении от береговой линии встречаются выходы палеогеновых пород, представленных тонкослоистыми глинами, на что указывал В. Н. Семихатов (1918).

Острова Аральского моря, расположенные в его юго-западной части, сложены коренными породами мелового и третичного возраста. Следуя с севера на юг, мы встречаем разрезы олигоценовых и чеганских глинистых слоев на побережье о-ва Барса-Кельмес, где они образуют высокие обрывы, сильно абразированные морем. Глинистые слои в верху разреза переходят в слой крупнозернистого железистого песчаника. О-в Возрождения известен выходами меловых пород, описанных Л. С. Бергом (1908). Автору представилась возможность побывать во время летних работ 1946—1947 гг. на этом острове и ознакомиться с его геологией. Начинается разрез пачкой светлосерых песчаных известняков с прослоями известковой гальки, слабо сцементированной песком. Выше залегает слой известкового песчаника, состоящего из мелких, округлых известковых зерен и обломков раковин. В пласте наблюдается слоистость, заметная благодаря тонким, невыдержанным по простиранию пропласткам и линзам светлокоричневого средне- и крупнозернистого кварцевого песка, с меловой фауной. Выше следует пачка желтовато-зеленоватых глинистых известняков, по простиранию переходящих в мергель. Разрез венчается слоем ржавожелтого ожеженного песчаника. Основная масса песчаника состоит из кварца и оолитоподобных зерен карбоната.

Небольшой островок Лазарева сложен меловыми и апшеронскими органогенными известняками. На южном берегу о-ва Такмак-Ата, находящегося в южной части моря, имеются выходы континентального мезозоя. Изученные отложения представлены переслаиванием тонкослоистых темносерых глин и серовато-желтых песков. В верхней части разреза наблюдаются железистые конкреции, в среднем — углистые включения, а нижние слои разреза включают в себя кристаллы гипса и соли.

Характер абразии берегов весьма неодинаков. Ровный западный берег почти не подвергается абразии; море выработало здесь свою линию, и дальнейшее разрушение берега идет сравнительно медленно. Некоторый материал, возможно, поставляется при разрушении небольших мысков, вдающихся в море (Ак-Тумсук, Бай-Кубек и др.).

Эрозионная деятельность текучей воды, как пишет Л. С. Берг, на западном берегу ничтожна. Осадков в связи с засушливым климатом выпадает мало, да к тому же сарматские известняки, покрывающие все плато Усть-Юрта, отличаются водопроницаемостью, вследствие чего на границе с подстилающими их глинами образуются немногочисленные ключи. Таким образом, море здесь почти не получает материала с суши. Разрушаемые под влиянием выветривания известняки образуют сравнительно крупнозернистый карбонатный песок, покрывающий узкую прибрежную полосу.

Восточный берег способен скорее аккумулировать материал, выносимый сюда морем. Волны набегают на широкий низменный пляж и поступательная сила их больше обратной. Большую расчлененность восточного побережья Л. С. Берг объясняет тем, что денудированная ветром страна была погружена под уровень моря вследствие ингрессии последнего.

Наибольшему разрушению со стороны моря подвергаются северные берега, состоящие в основном из рыхлых глинистых пород. У Л. С. Берга (1908) имеется следующее описание: «Идя по верху обрыва мы видим, как громадные щели шириной до 3—4 м отделяют от края обрыва глыбы длиной до полуверсты; иногда довольно только толкнуть их ногой, чтобы они с шумом скатились в море. Море кругом имеет бурый цвет от массы взмученных глинистых частиц».

Вместе с прибоем действует и плавающий лед. Когда начинается ледоход, лед подобно пиле врзается в обрывистые берега и, естественно, является причиной многочисленных обвалов. По данным Л. С. Берга, абразия в северной части моря исчисляется метрами в год. Следует отметить, что в бухтах, в связи с меньшей силой волн, разрушения берегов значительно меньшие. Материал, поступающий в результате абразии северных берегов, глинистый, так как основная масса пород палеогена, обнажающихся по берегам, сложена глинами. Верхи разрезов обычно несколько более песчаные, так что в результате обвалов в море несомненно поступает и песчаный материал. Значительному размыву подвергается длинная скалистая полоска мыса Изенды-Арал, сложенная нуммулитовыми известняками.

Чтобы закончить характеристику материала, поступающего в водоем, и путей, которыми он доставляется, упомянем еще о возможности питания Аральского моря золотым материалом. К сожалению, специальных работ, посвященных этому вопросу, не имеется. Климатические условия, наличие сильных и довольно постоянно дующих ветров несомненно способствуют такому переносу некоторого количества материала ветром. Однако, за неимением данных по этому вопросу, мы считаем небезынтесным сослаться на аналогию с водоемом Каспийского моря. В известной работе М. Ф. Розена (1928) приводятся данные об осаждении золотых частиц в центральных частях Каспийского моря. Опытным путем показано, что в год отлагается слой толщиной в 0,07 мм, обязанный своим происхождением ветру.

Наконец, последним источником питания Аральского моря могут служить весьма немногочисленные подземные стоки, приносящие растворенные вещества. По берегам моря в ряде пунктов западного и северного побережий встречаются небольшие родники, дающие обычно солоноватую воду. Дебит их в большинстве случаев ничтожен и существенной роли в питании моря играть не может, хотя цифра этого стока остается пока, к сожалению, неизвестной.

В обрыве северного берега зал. Перовского обнажаются континентальные и солоноватоводные отложения олигоцена. Разрез начинается толщей косослоистых кварцевых песков с подчиненным количеством глинистого материала. Кверху возрастает роль косослоистых и слоистых шололадных и лиловатых глин. Отложения эти развиты вдоль всего побережья зал. Паскевича от п-ова Чубар-Тарауз до п-ова Кара-Тюпе.

В северо-западной части моря обнажаются фиолетово-зеленые глины, относящиеся к аральским слоям нижнего миоцена — N_1^{ar} , которые тянутся вдоль западного берега Усть-Юрта вплоть до мыса Дуана. В нижней части разреза залегает слой рыхлого светложелтого мелкозернистого кварцевого песка. Примерно на широте $45^{\circ}20'$ аральские слои перекрываются тонкослоистыми глинами палеогена. У мыса Ак-Тумсук на сравнительно небольшой площади в обрыве западного берега обнажаются известняки и мергели мелового возраста. К югу от названного мыса по берегу вновь выходят слои палеогена, перекрываемые светлосерыми гипсоносными глинами неогена (конкский горизонт). Описываемый разрез западного берега, достигающий значительной мощности, венчается отложениями сарматского яруса — N_1^{srm} , представленными известняками и мергелями. На протяжении почти всего западного берега моря широко развиты оползни сарматских известняков по нижележащим глинистым толщам, достигающие значительных размеров, что создает часто обманчивую картину строения берега, как бы сложенного исключительно известняковыми породами.

Южная часть моря, как уже выше указывалось, занята в основном разливами и протоками Аму-Дарьи. В северо-восточной части моря расположена дельта Сыр-Дарьи. К югу от нее на всем восточном побережье моря — низменные песчаные пространства, занятые широкой пляжевой полосой и современными донными образованиями. На некотором отдалении от береговой линии встречаются выходы палеогеновых пород, представленных тонкослоистыми глинами, на что указывал В. Н. Семихатов (1918).

Острова Аральского моря, расположенные в его юго-западной части, сложены коренными породами мелового и третичного возраста. Следуя с севера на юг, мы встречаем разрезы олигоценовых и чеганских глинистых слоев на побережье о-ва Барса-Кельмес, где они образуют высокие обрывы, сильно абразированные морем. Глинистые слои вверху разреза переходят в слой крупнозернистого железистого песчаника. О-в Возрождения известен выходами меловых пород, описанных Л. С. Бергом (1908). Автору представилась возможность побывать во время летних работ 1946—1947 гг. на этом острове и ознакомиться с его геологией. Начинается разрез пачкой светлосерых песчанистых известняков с прослоями известковой гальки, слабо сцементированной песком. Выше залегает слой известкового песчаника, состоящего из мелких, округлых известковых зерен и обломков раковин. В пласте наблюдается слоистость, заметная благодаря тонким, невыдержанным по простиранию пропласткам и линзам светлокоричневого средне- и крупнозернистого кварцевого песка, с меловой фауной. Выше следует пачка желтовато-зеленоватых глинистых известняков, по простиранию переходящих в мергель. Разрез венчается слоем ржавожелтого ожеженного песчаника. Основная масса песчаника состоит из кварца и оолитоподобных зерен карбоната.

Небольшой островок Лазарева сложен меловыми и апшеронскими органогенными известняками. На южном берегу о-ва Такмак-Ата, находящегося в южной части моря, имеются выходы континентального мезозоя. Изученные отложения представлены переслаиванием тонкослоистых темносерых глин и серовато-желтых песков. В верхней части разреза наблюдаются железистые конкреции, в среднем — углистые включения, а нижние слои разреза включают в себя кристаллы гипса и соли.

Характер абразии берегов весьма неодинаков. Ровный западный берег почти не подвергается абразии; море выработало здесь свою линию, и дальнейшее разрушение берега идет сравнительно медленно. Некоторый материал, возможно, поставляется при разрушении небольших мысков, вдающихся в море (Ак-Тумсук, Бай-Кубек и др.).

Эрозионная деятельность текучей воды, как пишет Л. С. Берг, на западном берегу ничтожна. Осадков в связи с засушливым климатом выпадает мало, да к тому же сарматские известняки, покрывающие все плато Усть-Юрта, отличаются водопроницаемостью, вследствие чего на границе с подстилающими их глинами образуются немногочисленные ключи. Таким образом, море здесь почти не получает материала с суши. Разрушаемые под влиянием выветривания известняки образуют сравнительно крупнозернистый карбонатный песок, покрывающий узкую прибрежную полосу.

Восточный берег способен скорее аккумулировать материал, выносимый сюда морем. Волны набегают на широкий низменный пляж и поступательная сила их больше обратной. Большую расчлененность восточного побережья Л. С. Берг объясняет тем, что денудированная ветром страна была погружена под уровень моря вследствие ингрессии последнего.

Наибольшему разрушению со стороны моря подвергаются северные берега, состоящие в основном из рыхлых глинистых пород. У Л. С. Берга (1908) имеется следующее описание: «Идя по верху обрыва мы видим, как громадные щели шириной до 3—4 м отделяют от края обрыва глыбы длиной до полуверсты; иногда довольно только толкнуть их ногой, чтобы они с шумом скатились в море. Море кругом имеет бурый цвет от массы взмученных глинистых частиц».

Вместе с прибоем действует и плавающий лед. Когда начинается ледоход, лед подобно пиле врзается в обрывистые берега и, естественно, является причиной многочисленных обвалов. По данным Л. С. Берга, абразия в северной части моря исчисляется метрами в год. Следует отметить, что в бухтах, в связи с меньшей силой волн, разрушения берегов значительно меньше. Материал, поступающий в результате абразии северных берегов, глинистый, так как основная масса пород палеогена, обнажающихся по берегам, сложена глинами. Верхи разрезов обычно несколько более песчаные, так что в результате обвалов в море несомненно поступает и песчаный материал. Значительному размыву подвергается длинная скалистая полоска мыса Изенды-Арал, сложенная нуммулитовыми известняками.

Чтобы закончить характеристику материала, поступающего в водоем, и путей, которыми он доставляется, упомянем еще о возможности питания Аральского моря золотым материалом. К сожалению, специальных работ, посвященных этому вопросу, не имеется. Климатические условия, наличие сильных и довольно постоянно дующих ветров несомненно способствуют такому переносу некоторого количества материала ветром. Однако, за неимением данных по этому вопросу, мы считаем небезынтесным сослаться на аналогию с водоемом Каспийского моря. В известной работе М. Ф. Розена (1928) приводятся данные об осаждении золотых частиц в центральных частях Каспийского моря. Опытным путем показано, что в год отлагается слой толщиной в 0,07 мм, обязанный своим происхождением ветру.

Наконец, последним источником питания Аральского моря могут служить весьма немногочисленные подземные стоки, приносящие растворенные вещества. По берегам моря в ряде пунктов западного и северного побережий встречаются небольшие родники, дающие обычно солоноватую воду. Дебит их в большинстве случаев ничтожен и существенной роли в питании моря играть не может, хотя цифра этого стока остается пока, к сожалению, неизвестной.

1. Классификация осадков

Вопрос о классификации морских осадков, несмотря на то что он был поднят исследователями больше полстолетия тому назад, в настоящее время еще нельзя считать решенным. Первая классификационная схема, предложенная в 1891 г. Мерреем и Ренаром, была составлена на основании следующих положений.

Область накопления осадков в мировом океане авторами разделялась на три зоны: 1) глубоководные отложения, захватывающие весь океан, за исключением области шельфа, т. е. осадки, накапливающиеся на глубинах свыше 200 м; 2) отложения шельфа (осадки зоны между изобатой 200 м и литоралью); 3) литоральные отложения.

Генетически или, вернее, по вещественному составу перечисленные выше осадки Мерреем и Ренаром разделялись на пелагические, откладывающиеся вдали от суши и не включающие (или почти не включающие) в себя продуктов разрушения горных пород континентов, и терригенные, состоящие в основном из продуктов разрушения горных пород.

При практическом разделении осадков, принадлежащих к отдельным группам, авторами, однако, не был выдержан полностью принцип вещественного состава пород. Так, глубоководные осадки разделялись на красную глину, илы: радиоляриевый, диатомовый, глобигериновый, птероподовый, синий, красный и зеленый и коралловый песок.

Из них первые пять типов отнесены к пелагическим осадкам, а последние четыре к отложениям той зоны, где основное влияние на вещественный состав отложений имеет суша. Отложения шельфа и литорали подразделялись авторами по гранулометрическому составу на камни, гальку, гравий, песок, ил. Нетрудно заметить, что такие названия, как красный ил, синий ил, зеленый ил, дают очень слабое представление о вещественном составе.

Последующие работы по изучению морских осадков позволили Крюмелю (1907), затем К. Андре (1920) уточнить приведенную выше классификацию. В основу классификации Андре были также положены два принципа: морфологическое местоположение осадка; вещественный состав его.

Исходя из первого принципа, Андре разделяет осадки на:

1. Отложения, близкие к берегу: а) осадки зоны прибоя; б) осадки шельфа.

2. Полупелагические (гемипелагические) осадки.

3. Удаленные от берега (евпелагические) осадки.

По вещественному составу среди первой группы осадков Андре выделяет: гальку, гравий, песок, ил, которые в свою очередь по генезису могут быть подразделены на кластические, вулканические, гелмирогенные и ледниковые.

Среди полупелагических осадков Андре выделяет следующие подтипы по вещественному составу: а) темный или синий ил и, как особая фация, его гляциально-морские отложения и вулканические образования, б) красный ил; в) глауконитовые осадки; г) известковый ил; д) сероводородный ил.

Евпелагические отложения по вещественному составу разделяются на: а) богатые известью; б) безизвестковистые. К последним принадлежат красная глубоководная глина, радиоляриевый ил и диатомовый ил.

Приведенную классификацию Андре нельзя считать исчерпывающей, так как она далеко не охватывает всего богатого разнообразия современных осадков морей и особенно схематична для отложений шельфовой зоны. Тем не менее принципы, положенные в ее основу, наиболее полно удовлет-

воряют задачам изучения донных отложений с целью познания общего процесса осадконакопления.

В противоположность приведенной классификации К. Андре, М. В. Кленова (1930) выдвинула так называемую «динамическую схему», основанную на наличии в осадке частиц меньше 0,01 мм. По этой схеме выделяются следующие типы донных осадков:

	Содержание частиц меньше 0,01 мм
1. Песок	0—5%
2. Илистый песок	5—10%
3. Песчаный ил	10—30%
4. Ил	30—50%
5. Глинистый ил	> 50%

Классификация эта, по мнению ее автора, отражает скорость движений воды, т. е. в некоторой степени, хотя и односторонне, должна характеризовать гидрологические условия в водоеме.

Нам кажется, что это не совсем так, ибо осадок формируется на дне водоема только в исключительных случаях под влиянием одних гидрологических условий. Как правило же на гранулометрический состав осадка накладывает свой отпечаток ряд других процессов, происходящих в водоеме, как-то: биологические, ледниковые, эоловые, вулканогенные, химическая садка и др. Так, например, по данным Коррена (1935), гранулометрический состав осадков Атлантического океана по направлению к большим глубинам укрупняется за счет увеличения количества раковин фораминифер. Влияние эолового фактора (пыль Сахары) сказывается как в Средиземном море, так и в Атлантическом океане на значительных глубинах. Общеизвестен факт переноса вулканического материала на большие расстояния и нахождение его среди тонких глубоководных осадков.

Эту же классификацию М. В. Кленова (1948) предложила перенести на осадки всего мирового океана (см. табл. 2).

Однако процессов осадконакопления, происходящих в водоеме, эта схема не отражает, так как в природе могут встречаться самые разнообразные осадки, не входящие в рамки приведенного выше подразделения, например: оолитовые пески, илистые пески, не связанные с кластическим материалом, а почти целиком с карбонатными частицами, карбонатные илы, в которых больше 30% их составляющих оказываются карбонатами, диатомовые илы и т. п.

М. В. Кленова (1948) предложила также генетическую классификацию осадков, которая, однако, по словам самого автора, имеет ряд недостатков и требует доработки. За недостатком места мы эту классификацию детально разбирать не будем, но укажем только, что в ее основу положено, так же как и в классификационную схему Андре, два принципа: морфологическое местоположение осадка и вещественный состав. Последний, по мнению автора, в основном определяется восстановительной или окислительной средой. Солевой же состав вод, так же как ряд других факторов и в том числе температурный режим, не учитывается в этой классификации совершенно. Степень карбонатности илов связана автором также исключительно с окислительно-восстановительной средой, что отнюдь не убедительно и даже непонятно. Это приводит к тому, что в одну рубрику таблицы попадают ледниковый ил и красный ил тропических зон, илы Полярного океана и красные илы Атлантики. Влияние климата на карбонатность осадков автор также не учитывает.

Осадки современных отложений Черного моря, Аральского моря и других водоемов ясно указывают, что зараженность осадков H_2S и, следовательно, восстановительная среда весьма мало сказываются на степени карбонатности донных отложений. Таким образом, приходится

**Динамическая классификация осадков мирового океана
(по М. В. Кленовой)**

Морфологические области	Формы рельефа	Гидродинамическая активность	Название осадка
Шельф, редко материковый и островной склон	Пляж, прибрежная полоса и поверхности банок в морях — до 50—60 м; в океане — до 100—120 м; материковый склон при углах около 20°	Высокая	Песок
Шельф, материковый и островной склон	Прибрежная полоса и поверхность банок в морях — до 200 м; в океане — до 400 м; склоны при углах около 2—5°	Высокая	Илистый песок
Шельф, материковый и островной склон	Склоны подводных возвышенностей и плато на глубинах в морях — 100—300 м; в океане — до 3000 м; склоны с углами около 1° на всех глубинах	Средняя	Песчанистый ил
Шельф, материковый склон, ложе океанов	Дно впадины, фиордов, подводных каньонов, пологие склоны на глубинах свыше 4000 м	Слабая	Ил
Шельф, материковый склон, ложе океанов	Подводное плато, ровное дно впадин и замкнутых котловин	Очень слабая	Глинистый ил

констатировать, что обе схемы М. В. Кленовой, как динамическая, так и генетическая, мало отвечают действительности.

Повидимому, мы до сего времени не имеем классификации современных отложений морских водоемов, которая давала бы четкое представление о влиянии всей физико-географической обстановки осадкоотложения на тип отложений. Очевидно, надо идти по пути создания классификации на основе вещественного состава осадка с учетом целого ряда как гидродинамических, так и температурных и биологических факторов водоемов.

В основу классификации осадков Аральского моря нами положен вещественный состав осадка. Наименование свое каждый тип осадка получает от преимущественного значения той или иной фракции, входящей в состав его нерастворимого остатка или же карбонатного вещества, если оно составляет >30% осадка.

2. Типы осадков

Описывая донные осадки Аральского моря, мы руководствовались теми же признаками, что и при геологических исследованиях ископаемых осадков, и выделили на основании крупности составляющих их частиц и степени карбонатности следующие типы: пески, известковые пески, алевроиты, глины и мергели. В дальнейшем каждый из выделенных типов был охарактеризован серией гранулометрических анализов.

Основным показателем гранулометрического состава осадков, помимо характера отдельных фракций и их процентного содержания, явилась величина среднего диаметра (Md) частиц осадка. Удобство этого показателя достаточно очевидно: 1) на величине Md сказывается влияние всех фракций осадка; 2) при нанесении Md на карту получается вполне четкая и удобочитаемая картина распределения осадков по их гранулометрическому составу на площади водоема; 3) выделенные при макроскопическом описании типы осадков находят свое выражение в величине их средних диаметров.

В изучаемом водоеме пески встречаются на сравнительно ограниченной площади (фиг. 3). Небольшими пятнами залегают они в дельтовых пространствах рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи, неширокой полосой протягиваются вдоль восточного побережья моря, залегают в мелководной прибрежной зоне южной части моря на глубинах 2—8 м и на побережье северных заливов. Ими же сложена мелководная зона с глубинами от 3 до 15 м, прилегающая к островам, и прибрежная часть о-ва Барса-Кельмес.

В сыром состоянии, т. е. непосредственно после взятия пробы со дна, песок обладает однообразной, обычно темносерой, реже желтовато-бурой окраской. Поверхностный слой песка, как правило, несколько светлее. Осадок большей частью вязкий (илистый). В высохшем состоянии пески представляют собой сыпучие осадки, хотя иногда наблюдаются несколько сцементированные разности. Цементируются обычно только отдельные участки песка, основная же масса осадка остается рыхлой. Размер цементованных участков достигает 3—5 см.

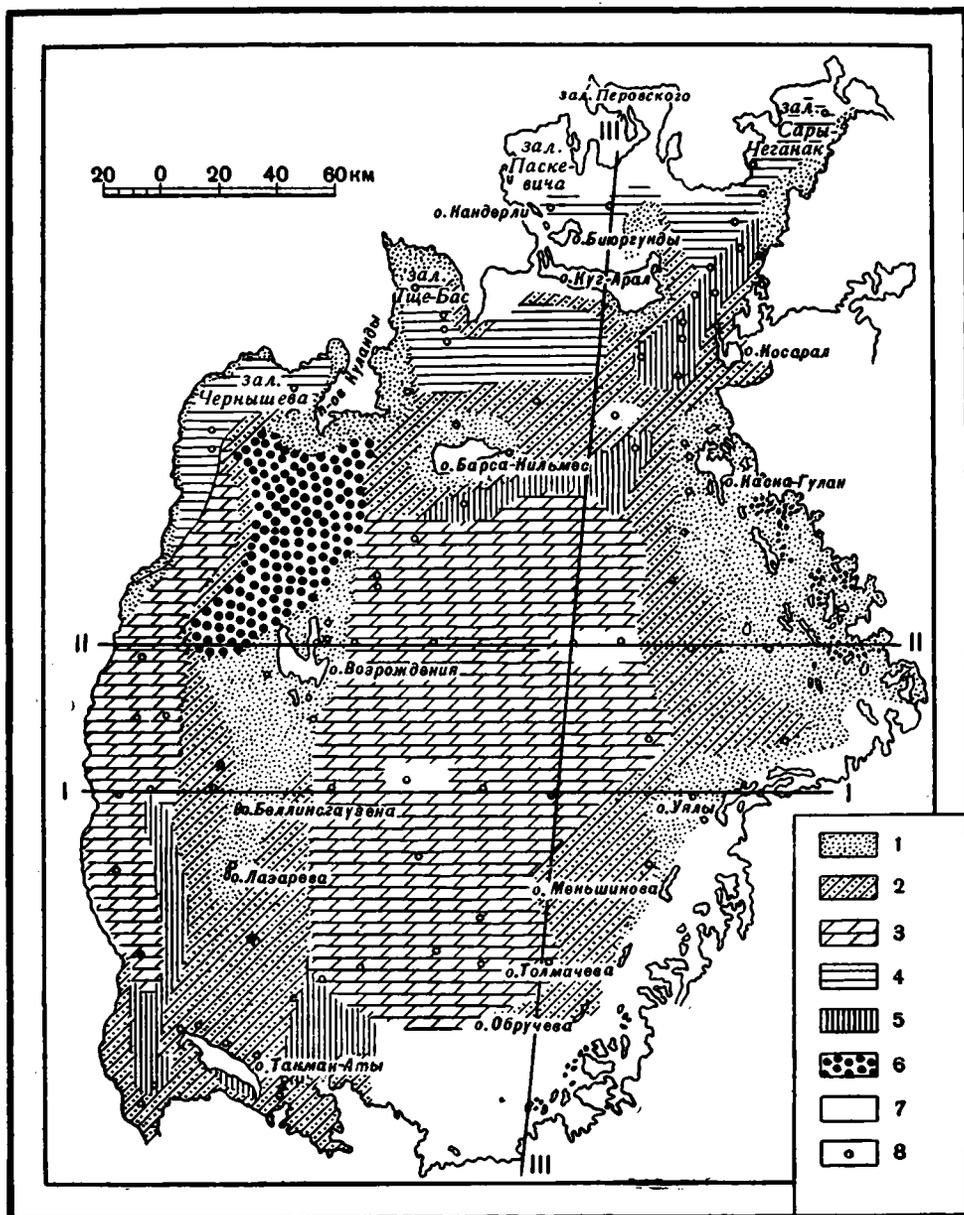
Иногда в осадке заметны включения более тонкого глинистого материала. Неоднородность песков и цементация их особенно характерна для преддельтовых пространств рек Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи и для мелководной зоны, примыкающей к о-вам Лазарева и мели Беллинсгаузена. Как правило, пески разнозернистые, хотя встречаются и довольно хорошо отсортированные мелко- и крупнозернистые.

Окраска аральских песков несколько пестрая: встречаются желтовато-серые, розовато-серые, зеленовато-серые и светлосерые разности. В отдельных образцах песка наблюдаются признаки ожелезнения в виде желтовато-бурых пятен, чаще всего на примесях глинистого материала. Количество раковинного материала в песках весьма различно и колеблется от 3—4 до многих десятков процентов. Редкие, но сохранившиеся раковины обычны в песках дельтовых зон. Наибольшее же количество раковинного материала имеется в песках, залегающих в мелководной зоне около островов. Степень раздробленности раковин также неодинакова. Наиболее мелкие раздробленные остатки раковин встречаются в прибрежных песках.

На песчаных грунтах Арала обитают следующие виды моллюсков: *Dreissensia caspia*, *Theodoxus pallasi*, *Adacna minima*, значительно реже находки *Hydrobia pusilla* и живых экземпляров *Cardium edule*, хотя обломки его раковин встречаются. Помимо раковин, в песках можно наблюдать и растительные остатки, чаще всего морской травы *Zostera nana*.

По минералогическому составу пески обычно кварцевые. Кварц встречается как остроугольный (даже оскольчатый) в песках придельтовых пространств, так и хорошо окатанный. Пески, расположенные в прибрежных или в приостровных зонах, иногда состоят почти на 90% из хорошо окатанного кварца, на отдельных зернах которого можно наблюдать так называемую «железистую рубашку». Помимо кварца в образовании аральских песков немалую роль играет полевой шпат, остроугольные и полуокатанные обломки которого несут заметные признаки разложения.

В песках, обнаруженных на побережье северных заливов и, в частности, в зал. Перовского, в прибрежной части о-ва Барса-Кельмес, иногда преобладающую роль играют зерна рудных минералов, обычно бурых окислов железа. Пески в этом случае приобретают характер железистых. Из аксессуарных минералов встречены: в тяжелой фракции — роговая обманка обыкновенная и щелочная, эпидот, цоизит, гранат, дистен, турмалин, ставролит, силлиманит, гиперстен, брукит, андалузит, биотит, зеленая слюда, ильменит, пирит; в легкой фракции — мусковит, глауко-



Фиг. 3. Карта донных осадков Аральского моря:

1 — пески; 2 — алевроиты; 3 — мергели; 4 — глины северных заливов; 5 — глины дельтовые; 6 — оолиты; 7 — древний горизонт; 8 — места взятия проб.

Химический анализ песков показал, что средняя карбонатность их равна 15%, снижаясь до 9% или же повышаясь до 23%. Табл. 3 дает содержание в песках нерастворимого остатка, CaCO_3 , С и Fe. Из той же табл. 3

Таблица 1

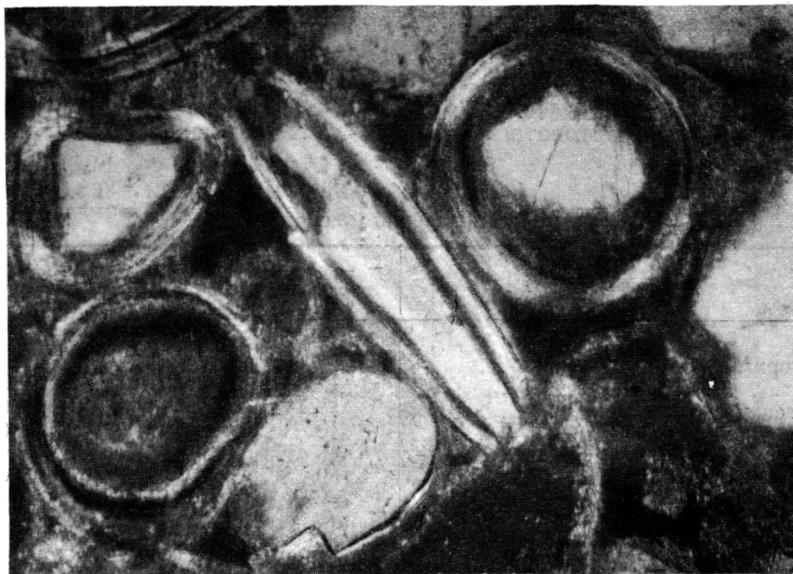


Фото. 1. Оолитовый песок. Различные формы ядер (увел. 145, николи +)



Фото 2. Оолитовый песок. Видны оболочки, окружающие ядро (увел. 76, без анализатора).

видно, что среднее значение CaCO_3 равно 15,21%. Содержание Fe и С соответственно составляет 0,12 и 0,88% от натурального осадка. Гранулометрический анализ нерастворимого остатка (табл. 4) дал возможность установить, что средний диаметр песчинок колеблется от 0,1 до 0,34 мм.

б) Оолитовые известковые пески

Песчаные осадки, встреченные в мелководной северо-западной части моря и состоящие в основной массе из округлых карбонатных зерен, были выделены под названием известковых песков.

В сыром состоянии осадок рассыпается на отдельные зерна. В сухом виде известковые пески представляют собой обычно сцементированный в отдельные комки осадок. Цементация обуславливается карбонатным материалом. Комки эти непрочные, и при небольшом усилии осадок рассыпается на отдельные зерна. Пески сравнительно крупнозернистые. Окраска светло-серая или слегка желтоватая. Признаков ожелезнения не наблюдается.

Таблица 3

Химический состав песков (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	13	77—91	84,79
CaCO ₃	13	9—23	15,21
C (на бескарбонатное вещество)	10	0,07—1,1	0,16
C (на натуральный осадок)	10	0,08—1,2	0,12
Fe (на бескарбонатное вещество)	9	0,5 —2,0	0,92
Fe (на натуральный осадок)	9	0,5 —1,7	0,88

Таблица 4

Гранулометрический состав песков (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
> 2	8	0,1 — 0,8	0,16
2—1	8	0,2 —16,3	0,62
1—0,5	8	5,6 —85,7	8,20
0,5—0,25	8	26,7 —85,7	27,40
0,25—0,1	8	26,7 —89,6	50,70
0,1—0,05	6	0,22—28,4	10,43
0,05—0,01	6	0,22— 0,69	0,54
< 0,01	6	0,22— 8,61	3,67

Как правило, в известковых песках присутствует значительное количество раковинного материала, причем наряду с целыми раковинами встречаются и довольно мелкие обломки. Отмечены следующие роды моллюсков: *Adacna*, *Dreissensia* и *Cardium* (обычно лишь обломки).

Микроскопическое изучение известковых песков показало, что наряду с карбонатными зернами присутствуют прозрачные и полупрозрачные, в большинстве случаев хорошо окатанные зерна кварца и, реже, — полевого шпата.

Карбонатные зерна представляют собой хорошо образованные оолиты (см. табл. 1, фото 1 и 2), состоящие из ядра и ряда concentрических карбонатных оболочек. Ядра представляют собой обычно зерна кварца, агрегатный тонкозернистый карбонат или же раковины фораминифер. Число карбонатных оболочек неодинаково в различных зернах и иногда достигает девяти. В ряде образцов удается наблюдать, как карбонатная оболочка охватывает 3—4 оолитовых зерна, соединяя их в образование, напоминающее пизолит, размером до 2 мм. Обычный размер зерен от 0,04 до 0,2 мм.

Форма зерен целиком зависит от формы ядра, так как оболочка, несколько, правда, сглаживая отдельные выступы, повторяет его очертания.

Подробнее микроскопия этих образований будет описана в главе «Карбонатность донных осадков». Реакция окрашивания, проведенная по Файгелю, показала, что карбонатные оболочки состоят главным образом из арагонита. Из акцессорных минералов присутствуют: в тяжелой фракции — силлиманит, дистен, ставролит, гранат, турмалин и рудные минералы; в легкой фракции — кварц и полевой шпат. Содержание Fe и С видно из данных табл. 5. Карбонатность этих отложений сравнительно высокая и достигает 65%, составляя в среднем 45%.

Таблица 5

Химический состав известковых песков (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	6	34,9—72,7	54,91
CaCO ₃	6	27,2—65,1	45,09
С (на бескарбонатное вещество)	5	0,24—1,27	0,65
С (на натуральный осадок)	5	0,18—0,44	0,29
Fe (на бескарбонатное вещество)	5	0,29—1,72	0,89
Fe (на натуральный осадок)	5	0,17—0,6	0,41

Гранулометрический анализ (табл. 6) нерастворимого остатка трех образцов показал колебание Md от 0,15 до 0,20 мм.

Таблица 6

Гранулометрический состав известковых песков (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
>2	5	0,4—1,2	0,8
2—1	3	0,8—1,7	1,23
1—0,5	3	15,2—24,1	19,5
0,5—0,25	3	37,6—42,2	41,3
0,25—0,1	3	19,2—42,4	30,9
0,1—0,05	3	0,6—8,2	3,66
0,05—0,01	3	0,2—3,1	1,3
<0,01	3	0,3—1,6	1,0

в) Алевриты

Алевритовые осадки встречаются в следующих пунктах моря: в придельтовых зонах обеих рек, в неширокой полосе вдоль западного, северного и восточного побережий, где они следуют за зоной песков, и в пределах сравнительно узких вытянутых участков моря, разграничивающих западный глубоководный бассейн от восточной котловины моря.

Во влажном состоянии осадок напоминает илистый песок или же песчанистый ил темносерого или желтовато-бурого цвета. С поверхности осадок покрыт несколько более светлой и более жидкой пленкой толщиной в 2—8 см. В высохшем состоянии алевриты представляют собой слабо сцементированные осадки, рассыпающиеся при сравнительно небольшом усилии. Чаще всего осадок бывает неоднороден и состоит из основной алевритовой массы, к которой примешан в том или ином количестве более тонкий глинистый материал или, наоборот, несколько более крупный песчаный. Примесь эта нередко бывает сцементирована карбонатом в отдельные более плотные участки размером до 5—6 см.

Алевриты Аральского моря представляют собой довольно пестроокрашенные отложения. Встречены желтовато-бурые, красновато-бурые, зеленоватые и желтовато-серые разновидности. Часто наблюдаются признаки ожелезнения в виде отдельных пятен или тонких полосок желтовато-бурого цвета. Как правило, ожелезнение весьма незначительно в придельтовых зонах и принимает довольно большие масштабы в северной части моря. Нередко раковины, находящиеся в осадке, несут на себе следы ожелезнения. Примесь раковинного материала в алевритах колеблется в значительных пределах; так же, как в песках, встречаются осадки то лишенные раковин, то обогащенные ими, то почти целиком ракушечники. Наиболее бедны раковинами алевриты придельтовой зоны. Встречаются алевриты, содержащие наряду с сильно раздробленными раковинами, целые, неразобщенные створки раковин. В ряде образцов была замечена неравномерность в распределении раковин, образующих иногда отдельные прослой. При неоднородности осадка и наличии в нем примеси глинистого вещества раковины обычно встречаются в более крупнозернистом алевритовом материале. Из форм, обычно встречающихся в алевритах, отметим *Adacna minima*, *Dreissensia caspia*, *Cardium edule* (сравнительно редко), *Corbicula fluminalis* (в дельтовых зонах). Растительные осадки встречаются в алевритах главным образом дельтовых и приостровных зон и представлены в основном *Zostera nana*.

Под микроскопом алевриты представляют собой обычно карбонатно-глинистую массу, состоящую из тонких глинистых частиц с диффузно рассеянным среди них мелкозернистым и тонкозернистым карбонатом и со значительной примесью обломочного некарбонатного материала. Последний распределяется по всему осадку довольно равномерно или же концентрируется отдельными прослоями и участками.

Степень отсортированности терригенного материала также весьма различна; хуже всего он отсортирован в алевритах дельтовых зон. Иногда удается подметить наличие двух фракций терригенного материала — 0,01—0,02 мм и 0,1—0,25 мм, причем более мелкая алевритовая фракция равномерно рассеяна по всему осадку, а песчаная концентрируется участками. Минералогический анализ показал, что терригенный материал состоит из следующего комплекса минералов: тяжелая фракция — роговая обманка, эпидот, цоизит, гранат, дистен, рутил, турмалин, ставролит, сфен, биотит, зеленая слюда, рудные минералы (ильменит, бурые окислы железа); легкая фракция — кварц, полевой шпат, мусковит, глаукоцит. Размер зерен перечисленных минералов колеблется от 0,03 до 0,15 мм.

Карбонатный материал обычно тонко- или мелкозернистый; в отдельных небольших пятнах заметна перекристаллизация вещества. Иногда наблюдается как бы нарастание карбонатного вещества вокруг отдельного минерального центра, причем карбонат заполняет и как бы сглаживает все неровности формы зерна. В ряде алевритовых осадков встречено значительное количество диатомовых водорослей различной формы, а также микрофауна остракод и фораминифер. Сравнительно часто наблюдаются отдельные включения и прослой органического вещества в виде черных комочков неопределенных очертаний. Содержание нерастворимого остатка С и Fe видно из данных табл. 7.

Средний процент карбонатности алевритов составляет 19,69%, хотя в отдельных пунктах карбонатность достигает 26,6% или спускается до 11%. Повышенное содержание карбоната в отдельных образцах алеврита объясняется большим содержанием в них раковинного материала. Данные гранулометрического анализа показывают, что наряду с крупным алевритом с Md от 0,08 до 0,05 мм встречается и тонкий алеврит с Md от 0,05 до 0,01 мм. Однако макроскопически провести это деление представлялось затруднительным, а количество гранулометрических анализов было, как

Химический состав алевритов (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	17	73,4—86,8	80,31
CaCO ₃	17	11,4—26,6	19,69
С (на бескарбонатное вещество)	17	0,1—1,2	0,5
С (на натуральный осадок)	17	0,1—1,0	0,35
Fe (на бескарбонатное вещество)	15	1,0—4,15	2,35
Fe (на натуральный осадок)	15	0,3—3,0	1,87

указывалось выше, незначительным, так что мы сочли более правильным показать на карте распространение алевритовых осадков вообще, без их подразделения. Приведенные данные гранулометрических анализов нерастворимого остатка дают характеристику их гранулометрического состава (табл. 8).

Таблица 8

Гранулометрический состав алевритов (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебан	Среднее содержание
> 0,1	7	0,1—28,7	18,2
0,1—0,05	7	0,1—41,5	34,88
0,05—0,01	7	1,0—61,2	26,15
< 0,01	7	6—42,0	24,6
0,01—0,001	5	8,8—20,1	11,6
< 0,001	5	3,6—29,8	14,2

г) Глины

Тонкие пелитовые осадки Аральского моря мы относим к глинам. Макроскопически среди глин выделяются два типа: глины дельтовые и глины северных заливов. Так как эти два типа осадка значительно разнятся между собой как по генезису, так и по ряду других признаков, мы считаем правильным охарактеризовать и нанести их на карту раздельно.

Глины дельтовые

Эти осадки распространены в зоне влияния Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи. Вблизи Аму-Дарьи они протягиваются двумя языками в соответствии с двумя основными струями течений. Глинистый материал сыр-дарьинской дельты прослеживается по направлению к центральной части моря.

В свежем, сыром состоянии дельтовые глины представляют собой коричнево-бурый полужидкий ил, иногда как бы маслянистый. После высухания глины обычно комковаты и цементированы карбонатом. Осадок большей частью однородный, хотя в образцах некоторых пунктов встречается примесь алевритового или даже песчаного материала. Примесь эта располагается обычно отдельными включениями или прослоями и связана, повидимому, с сезонными изменениями.

Алевриты Аральского моря представляют собой довольно пестроокрашенные отложения. Встречены желтовато-бурые, красновато-бурые, зеленоватые и желтовато-серые разности. Часто наблюдаются признаки ожелезнения в виде отдельных пятен или тонких полосок желтовато-бурого цвета. Как правило, ожелезнение весьма незначительно в придельтовых зонах и принимает довольно большие масштабы в северной части моря. Нередко раковины, находящиеся в осадке, несут на себе следы ожелезнения. Примесь раковинного материала в алевритах колеблется в значительных пределах; так же, как в песках, встречаются осадки то лишенные раковин, то обогащенные ими, то почти нацело ракушечники. Наиболее бедны раковинами алевриты придельтовой зоны. Встречаются алевриты, содержащие наряду с сильно раздробленными раковинами, целые, неразобщенные створки раковин. В ряде образцов была замечена неравномерность в распределении раковин, образующих иногда отдельные прослой. При неоднородности осадка и наличии в нем примеси глинистого вещества раковины обычно встречаются в более крупнозернистом алевритовом материале. Из форм, обычно встречающихся в алевритах, отметим *Adacna minima*, *Dreissensia caspia*, *Cardium edule* (сравнительно редко), *Corbicula fluminalis* (в дельтовых зонах). Растительные осадки встречаются в алевритах главным образом дельтовых и пристровных зон и представлены в основном *Zostera nana*.

Под микроскопом алевриты представляют собой обычно карбонатно-глинистую массу, состоящую из тонких глинистых частиц с диффузно рассеянным среди них мелкозернистым и тонкозернистым карбонатом и со значительной примесью обломочного некарбонатного материала. Последний распределяется по всему осадку довольно равномерно или же концентрируется отдельными прослоями и участками.

Степень отсортированности терригенного материала также весьма различна; хуже всего он отсортирован в алевритах дельтовых зон. Иногда удается подметить наличие двух фракций терригенного материала — 0,01—0,02 мм и 0,1—0,25 мм, причем более мелкая алевритовая фракция равномерно рассеяна по всему осадку, а песчаная концентрируется участками. Минералогический анализ показал, что терригенный материал состоит из следующего комплекса минералов: тяжелая фракция — роговая обманка, эпидот, поизит, гранат, дистен, рутил, турмалин, ставролит, сфен, биотит, зеленая слюда, рудные минералы (ильменит, бурые окислы железа); легкая фракция — кварц, полевой шпат, мусковит, глауконит. Размер зерен перечисленных минералов колеблется от 0,03 до 0,15 мм.

Карбонатный материал обычно тонко- или мелкозернистый; в отдельных небольших пятнах заметна перекристаллизация вещества. Иногда наблюдается как бы нарастание карбонатного вещества вокруг отдельного минерального центра, причем карбонат заполняет и как бы сглаживает все неровности формы зерна. В ряде алевритовых осадков встречено значительное количество диатомовых водорослей различной формы, а также микрофауна остракод и фораминифер. Сравнительно часто наблюдаются отдельные включения и прослой органического вещества в виде черных комочков неопределенных очертаний. Содержание нерастворимого остатка С и Fe видно из данных табл. 7.

Средний процент карбонатности алевритов составляет 19,69%, хотя в отдельных пунктах карбонатность достигает 26,6% или спускается до 11%. Повышенное содержание карбоната в отдельных образцах алеврита объясняется большим содержанием в них раковинного материала. Данные гранулометрического анализа показывают, что наряду с крупным алевритом с Md от 0,08 до 0,05 мм встречается и тонкий алеврит с Md от 0,05 до 0,01 мм. Однако макроскопически провести это деление представлялось затруднительным, а количество гранулометрических анализов было, как

Химический состав алевроитов (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	17	73,4—86,8	80,31
CaCO ₃	17	11,4—26,6	19,69
C (на бескарбонатное вещество)	17	0,1—1,2	0,5
C (на натуральный осадок)	17	0,1—1,0	0,35
Fe (на бескарбонатное вещество)	15	1,0—4,15	2,35
Fe (на натуральный осадок)	15	0,3—3,0	1,87

указывалось выше, незначительным, так что мы сочли более правильным показать на карте распространение алевроитовых осадков вообще, без их подразделения. Приведенные данные гранулометрических анализов нерастворимого остатка дают характеристику их гранулометрического состава (табл. 8).

Таблица 8

Гранулометрический состав алевроитов (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебан	Среднее содержание
> 0,1	7	0,1—28,7	18,2
0,1—0,05	7	0,1—41,5	34,88
0,05—0,01	7	1,0—61,2	26,15
< 0,01	7	6—42,0	24,6
0,01—0,001	5	8,8—20,1	11,6
< 0,001	5	3,6—29,8	14,2

г) Глины

Тонкие пелитовые осадки Аральского моря мы относим к глинам. Макроскопически среди глин выделяются два типа: глины дельтовые и глины северных заливов. Так как эти два типа осадка значительно разнятся между собой как по генезису, так и по ряду других признаков, мы считаем правильным охарактеризовать и нанести их на карту раздельно.

Глины дельтовые

Эти осадки распространены в зоне влияния Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи. Вблизи Аму-Дарьи они протягиваются двумя языками в соответствии с двумя основными струями течений. Глинистый материал сыр-дарьинской дельты прослеживается по направлению к центральной части моря.

В свежем, сыром состоянии дельтовые глины представляют собой коричневато-бурый полужидкий ил, иногда как бы маслянистый. После высухания глины обычно комковаты и сцементированы карбонатом. Осадок большей частью однородный, хотя в образцах некоторых пунктов встречается примесь алевроитового или даже песчаного материала. Примесь эта располагается обычно отдельными включениями или прослоями и связана, по видимому, с сезонными изменениями.

Глины, залегающие в придельтовой зоне р. Сыр-Дарьи, окрашены в желтовато-бурый цвет, тогда как аму-дарьинские глины красновато-бурые. Сравнительно часто встречаются образцы с признаками ожелезнения в виде небольших пятен и полосок желтовато-бурого до почти охристого цвета. Иногда наблюдаются мелкие, до 2 мм, включения темнобурого порошкообразного вещества.

Примесь раковинного материала в дельтовых глинах незначительна, а в осадках целого ряда пунктов почти полностью отсутствует. Наряду с целыми раковинами встречаются и мелкораздробленные, причем последние приурочены к прослоям алевроитового материала. Наиболее обычными формами являются *Corbicula fluminalis*, *Adacna*, *Dreissenia*.

Помимо раковинного материала, в описываемых глинах встречаются включения растительных остатков, чаще всего стебли и корни камышинок. Иногда в образце заметны только длинные круглые полости от сгнивших растений, а на стенке полости видны следы ожелезнения, связанного, очевидно, с доступом извне кислорода через образовавшуюся полость. Кроме описанных полостей, в дельтовых глинах наблюдается некоторая пористость, обусловленная округлыми, до 0,2 мм порами. Происхождение их, вероятно, связано с образованием газов при разложении органического вещества. В связи с выделениями газовых пузырьков образуются, повидному, и довольно значительные полости размером до 1—2 см.

При микроскопическом изучении шлифов выяснилось, что осадок состоит из карбонатно-глинистой массы. Карбонат тонкий, порошкообразный, местами образующий агрегатные скопления; местами встречаются сравнительно крупные кристаллы карбоната размером от 0,009 до 0,02 и даже 0,05 мм, возникающие, вероятно, в результате перекристаллизации. Примесь терригенного материала сравнительно велика; иногда этот материал представлен двумя фракциями — алевроитовой и песчаной, с размером зерен от 0,015 до 0,3 мм. В основном он состоит из зерен полевого шпата и кварца и листочков слюды. В большинстве случаев терригенный материал равномерно рассеян по всему шлифу.

Минералогический анализ показал наличие следующего комплекса минералов: тяжелая фракция — роговая обманка, эпидот, цоизит, циркон, гранат, дистен, турмалин, биотит, зеленая слюда, рудные минералы; легкая фракция — кварц, полевой шпат, мусковит.

Встречаются отдельные скорлупки диатомовых (значительных их скопленений не обнаружено) и черные непрозрачные комочки гидротроилита $FeH(HS)_2$. Химический анализ дельтовых глин приведен в табл. 9.

Таблица 9

Химический состав дельтовых глин (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	9	71,2—77,3	76,46
$CaCO_3$	9	18,7—28,06	23,54
C (на бескарбонатное вещество)	7	0,38—2,01	0,8
C (на натуральный осадок)	7	0,3—1,46	0,61
Fe (на бескарбонатное вещество)	7	4,4—5,08	4,61
Fe (на натуральный осадок)	7	3,34—3,86	3,58

Средний диаметр частиц дельтовых глин колеблется в пределах от 0,003 до 0,006 мм. Представление о гранулометрическом составе нерастворимого остатка глин дает табл. 10.

Таблица 10

Гранулометрический состав дельтовых глин (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
> 0,1	5	0,1—1,2	0,6
0,1—0,05	5	0,2—17,3	11,2
0,05—0,01	5	10,3—42,5	22,6
< 0,01	5	50,5—75,9	65,4
0,01—0,001	5	41,8—65,6	51,5
< 0,001	5	7,1—19,6	10,7

Карбонатность в среднем составляет 23,54%, а содержание железа весьма постоянно — 3,58%. Среднее содержание углерода равно 0,61%

Глины северных заливов

Под этим наименованием выделяются пелитовые осадки, слагающие дно северных заливов моря: Сары-Чеганак (северная половина), Паскевича, Чернышева, Тше-Бас. Несколько забегаая вперед, отметим, что по всей видимости материалом для образования этих глин послужили коренные отложения, представленные глинами и песками третичного и мелового возраста.

Во влажном состоянии, непосредственно после взятия пробы, осадок представляет собой довольно плотный, вязкий глинистый ил, чаще темно-серого, почти черного цвета с еле уловимым зеленоватым оттенком. На фоне тонкой окраски ясно проступают в ряде образцов прослой черного цвета мощностью 1—3 мм. Верхняя часть пробы мощностью 3 см обычно желтовато-бурого цвета. В некоторых пунктах ил издавал резкий запах сероводорода. В сухом состоянии глины обычно плотные, жирные на ощупь, с большим количеством тонких пор, заполненных органическим веществом. Иногда наблюдается переслаивание глинистого вещества с более крупным алевроитовым материалом; окраска глин зеленовато-серая до ясно зеленой. Признаки ожелезнения значительны; наблюдаются ржаво-бурые пятна, включения и полосы, придающие осадку слоистый вид. Мощность отдельных ожелезненных прослоев колеблется от 1 до 2 мм. Заметны включения растительных остатков, чаще всего в виде водорослей *Vaucheria*; наблюдаются прослой растительного материала, напоминающего войлок.

Раковины присутствуют в незначительном количестве; в случае неоднородности осадка они приурочены к более песчаному материалу. Раковины принадлежат *Adacna*, *Dreissensia*, *Theodoxus*, *Hydrobia*, реже *Cardium* (мертвые).

При микроскопическом изучении видно, что основная масса осадка состоит из тонкоотмученного глинистого вещества с примесью карбонатного материала. Глинистое вещество окрашено в буровато-зеленоватый цвет, слабо действует на поляризованный свет, при скрещенных николях имеет серую поляризационную окраску и участками почти изотропно. На фоне слабо двупреломляющей глинистой массы отчетливо выделяются зернышки и обломки карбоната. Размер карбонатных зерен обычно меньше

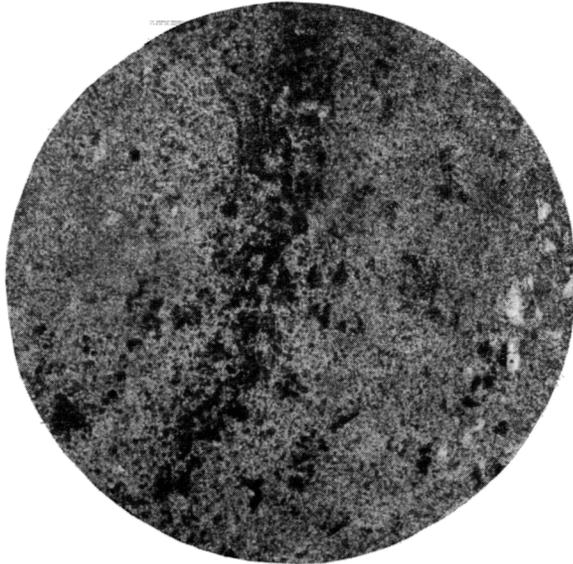


Фото 3. Прослой органического вещества в глине северного залива (увел. 76, без анализатора)

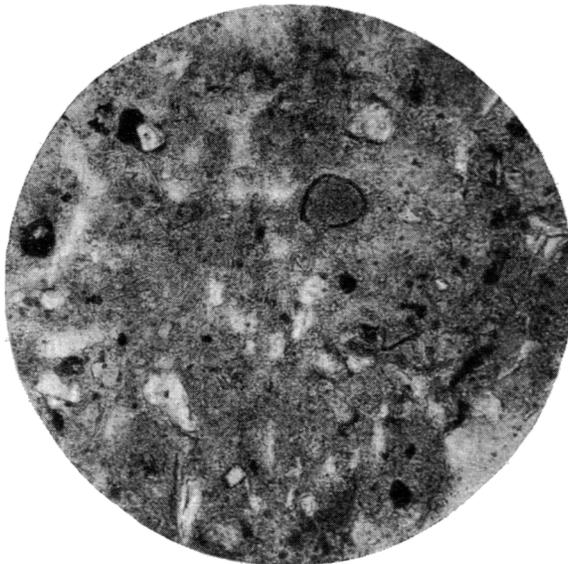


Фото 4. Глауконит в глине северного залива (увел. 76, без анализатора).

0,01 мм, хотя редкие зерна достигают 0,025 мм. Как правило, в описываемых глинах встречается глауконит, округлые зерна которого достигают 0,15 мм (табл. II, фото 4).

Интенсивность окраски зерен глауконита различна: наряду с яркозелеными зернами встречаются слабо окрашенные светлозеленые разности и зерна с промежуточной окраской средней интенсивности. Встречаются редкие зерна пирита и гидроокислов железа. Местами в осадках наблюдаются тонкие нитевидные прожилки и примазки органического вещества. Иногда можно видеть прослой органического вещества в виде довольно широких полос в 2—3 мм (табл. II, фото 3). Кластический материал присутствует обычно в незначительном количестве, причем в ряде образцов была отмечена слоистость, обусловленная прослоями терригенного материала. Ширина отдельных прослоев достигает 0,5—0,8 мм.

Минералогический анализ показал присутствие следующего комплекса минералов: тяжелая фракция — гранат, циркон, слюден, ставролит, эпидот, роговая обманка, биотит, зеленая слюда, рудные минералы; легкая фракция — кварц, полевой шпат, глауконит, мусковит.

В значительном количестве в описываемых осадках встречаются диатомовые водоросли; иногда они буквально заполняют в препарате все поле зрения микроскопа. Процентное же содержание растворимой SiO₂ в таких образцах достигает всего 6,3%. Видимо, такое расхождение зрительного впечатления и химического определения объясняется тем, что диатомовые водоросли обладают сравнительно большими размерами, но очень тонкой кремневой оболочкой.

Содержание нерастворимого остатка, CaCO₃, С и Fe в глинах северных заливов приведено в табл. 11. Как следует из этой таблицы, карбонатность

Таблица 11

Химический состав глин северных заливов (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	11	75,4—95,1	87,67
CaCO ₃	11	4,89—24,53	12,33
С (на бескарбонатный осадок)	6	0,31—1,69	0,85
С (на натуральный осадок)	6	0,3—1,56	0,82
Fe (на бескарбонатный осадок)	10	2,7—5,9	4,35
Fe (на натуральный осадок)	10	2,1—5,3	3,98

описываемых отложений невелика и составляет в среднем 12,33%. Содержание Fe повышенное и равно 3,98%. Также сравнительно много органического углерода — 0,82%. Мд нерастворимого остатка глин колеблется от 0,0013 до 0,005 мм. Гранулометрический состав глин дан в таблице 12.

д) Мергели

Пелитовые осадки Аральского моря, обладающие значительной карбонатностью, относятся к мергелям. Распространены они на значительной площади дна Аральского моря, захватывая всю центральную его часть от о-ва Барса-Кельмес на севере до широты о-ва Толмачева на юге и западную

Гранулометрический состав глин северных заливов (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
> 0,1	4	0,1—1,0	0,7
0,1—0,05	4	0,6—4,8	2,2
0,05—0,01	4	8,3—30,4	18,9
< 0,01	4	67,2—91,0	78,2
0,01—0,001	4	46,6—65,3	56,8
< 0,001	4	8,3—44,4	21,3

глубоководную зону от мыса Улькун-Тумсук на юге до мыса Бай-Кубек на севере.

Непосредственно после взятия пробы мергели представляют собой темносерый полужидкий ил. Осадки, вынутые со дна глубоководных западных котловин, обычно обладают заметной слоистостью, обусловленной чередованием черных и темносерых прослоев. Мощность отдельных прослоев равна 0,1—2 мм; по виду осадок напоминает слоеный пирог.

Осадки, поднятые со дна северо-западной котловины моря, имели в свежем состоянии совершенно черный цвет и жидкую консистенцию и почти целиком были пронизаны перегнившими водорослями *Vaucheria*; ощущался резкий запах сероводорода.

Осадки с максимальных глубин обладали темносерой окраской, слоистостью и слабым запахом сероводорода. В высушенном состоянии это очень плотные, крепко сцементированные отложения, всем своим внешним обликом сильно напоминающие ископаемые мергели (табл. III, фото 5).

Окраска мергелей обычно светлосерая с мало заметным розоватым или желтовато-бурым оттенком. Интересно, что ряд образцов после высухания приобретает пятнистую окраску: на розовато-сером фоне отчетливо выступают светлосерые (слегка голубоватые) пятна, которые кажутся на ощупь несколько более плотными. Подобные же пятнистые отложения встречаются, как нам известно, и среди древних пород, например мергелей татарской свиты. Возникновение подобной пятнистости связано, очевидно, с очень ранней стадией диагенеза и объясняется редукцией железистых соединений.

Иногда осадок окрашен пятнами в желтовато-бурые тона, что, повидимому, связано с присутствием бурых окислов железа. Признаки ожелезнения проявляются также в виде тонких полосок желто-бурого цвета, беспорядочно разбросанных по осадку.

На поверхности мергелей наблюдаются порой черные мелкие образования, принятые нами вначале за органическое вещество. При более детальном исследовании выяснилось, что это железистые комочки, повидимому гидротроилита. В мергелях, залегающих на дне западной и северо-западной котловин моря, четко заметна тонкая слоистость, обусловленная чередованием более темных и светлых, иногда слегка желтоватых или охристых прослоев одного и того же петрографического состава. Мощность отдельных прослоев изменяется от 0,5 до 2 мм.

Большая часть проб оказалась почти лишенной раковинного материала, однако в ряде образцов раковины присутствовали в значительном количестве, причем наряду с мелко раздробленными наблюдались и довольно хорошо сохранившиеся раковинки. Они принадлежат к видам: *Hydrobia pusilla*, *Dreissensia caspia*, *Adacna minima* и *Cardium edule* (сравнительно редко).

Под микроскопом установлено, что описываемые осадки представляют собой однородную буроватую массу глинисто-карбонатного вещества, обычно с очень незначительной примесью тонкого алевритового материала. Основная часть осадка состоит из тонкочешуйчатого глинистого вещества, как бы пропитанного карбонатным материалом. Карбонат встречается или в виде многочисленных отдельных зерен округлой или неправильной формы размером от 0,01 до 0,001 мм, или же в виде неразличимых даже при большом увеличении мельчайших частиц. Глинистое вещество при скрещенных николях имеет желтовато-серую поляризационную окраску. Двупреломление определить трудно, так как оно маскируется присутствием карбоната. В мергелях наблюдается примесь кластического материала или более грубого, или же мелкого, равномерно рассеянного по осадку и сравнительно хорошо отсортированного. Однако в ряде образцов кластический материал распределен неравномерно и образует прослой мощностью в 0,10—0,15 мм.

Кластический материал представлен обычно кварцем, полевым шпатом и слюдой в различных соотношениях. Минералогический анализ показал, что в нем присутствуют следующие минералы: в тяжелой фракции — роговая обманка, эпидот, цоизит, циркон, гранат, турмалин, рудные минералы; в легкой фракции — кварц, полевой шпат, мусковит, иногда глаукоцит. Размер кластических частиц обычно алевритовый, от 0,01 до 0,15 мм. Следует отметить, что слюдистый материал в осадке играет довольно значительную роль. Возможно, что основная масса глинистого вещества представлена гидрослюдистым материалом.

Размер чешуек слюд очень разнороден — от 0,003—0,005 до 0,05 мм и больше. Для гидрослюды очень характерна несколько расщепленная и чешуйчатая форма пластинок. Одинаковая ориентировка чешуек слюд придает иногда осадку тонкостристую текстуру. Наблюдаемые в мергелистых осадках остатки организмов (фораминиферы, остракоды) сильно перекристаллизованы и иногда как бы обросли вторичным кальцитом.

В мергелях ряда пунктов обнаруживается под микроскопом весьма значительное количество различных диатомовых водорослей [по данным А. Л. Бенинга (1935) 25 форм]. Диатомовые большей частью равномерно рассеяны по всему осадку, но в ряде образцов наблюдается определенная слоистость, обусловленная послойным скоплением диатомей. Мощность таких прослоев колеблется от 0,3 до 0,5 мм. Процентное содержание растворимой SiO_2 в наиболее богатых диатомовыми водорослями образцах достигает 5—6% (табл. III, фото 6).

Гидротроилит присутствует почти во всех изученных образцах мергелей. Он более или менее равномерно рассеян по всему осадку в виде черных комочков и бесформенных пятен и, кроме того, в некоторых образцах наблюдается в отдельных обогащенных им прослоях мощностью до 0,8 мм.

Содержание карбоната кальция, железа и углерода в мергелях Аральского моря приводится в табл. 13.

Т а б л и ц а 13

Химический состав мергелей (в %)

Компоненты	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
Нерастворимый остаток	21	43,3—70,3	58,47
CaCO_3	21	31,10—51,98	41,53
C (на бескарбонатный осадок)	17	0,85—2,5	1,44
C (на натуральный осадок)	17	0,58—1,31	0,94
Fe (на бескарбонатный осадок)	21	3,44—5,30	4,0
Fe (на натуральный осадок)	21	1,8—3,17	2,47

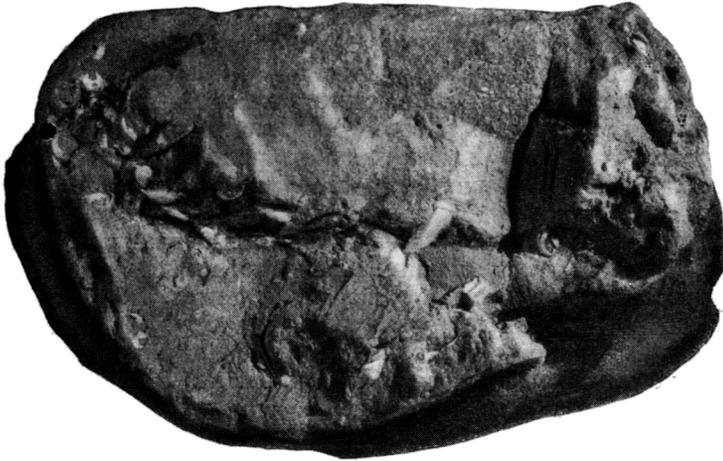


Фото 5. Мергель с прослоем раковинного материала.

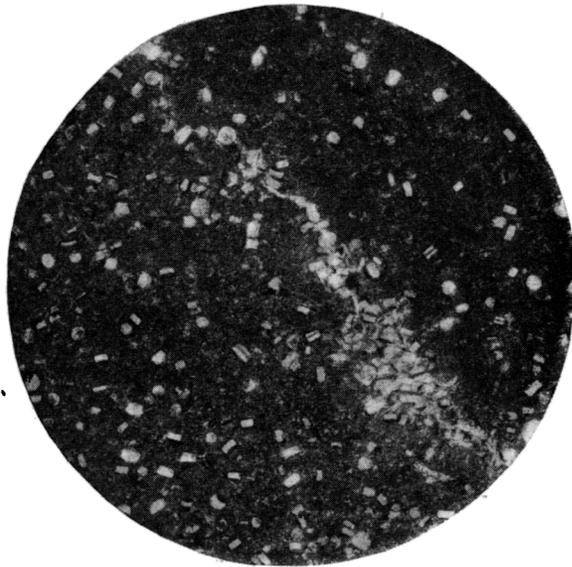


Фото 6. Прослой диатомовых водорослей в мергеле (увел. 76, без анализатора).

Гранулометрический анализ нерастворимого остатка показал, что терригенный материал изученных осадков очень тонкий: Md колеблется от 0,0012 до 0,0006 мм. Гранулометрический состав нерастворимого остатка мергелей иллюстрируется табл. 14, составленной по данным В. П. Зенковича.

Таблица 14

Гранулометрический состав мергелей (в %)

Размер частиц (в мм)	Количество образцов	Пределы колебаний	Среднее содержание
> 0,1	12	0,2—1,6	0,6
0,1—0,05	12	0,2—4,1	1,74
0,05—0,01	12	4,9—32,7	14,6
< 0,01	12	62,6—94,3	83,1
0,01—0,001	12	45,4—75,4	58,06
< 0,001	12	9,3—42,3	24,9

3. О стратификации осадков Аральского моря

В предыдущих разделах дана характеристика осадков, залегающих на поверхности современного дна водоема. Значительный интерес представляет материал, полученный при взятии донных проб трубкой Экмана. При этом способе можно располагать образцами грунта, залегающего на глубине до 1 м от поверхности осадка. Как указано выше, мы располагаем таким материалом в количестве 30 колонок длиной от 0,30 до 1 м со станций, расположенных в северной половине моря. Приводимое ниже описание сгруппировано по следующим участкам морского дна: северные заливы моря, западная глубоководная часть моря, центральная часть моря и придельтовая зона р. Сыр-Дарья.

а) Северные заливы моря (Сары-Чеганак, Паскевича, Тще Бас, Чернышева)

В зал. Паскевича были взяты две колонки длиной по 70 см. В высохшем состоянии сверху вниз в колонке различаются слои:

1. Глина зеленовато-серая плотная с многочисленными следами ожелезнения в виде пятен желто-бурой окраски и коричневатых включений. Наблюдаются пятна синеватой глины. Под микроскопом эта глина ничем не отличается от аналогичных глинистых отложений северных заливов, описанных выше. Мощность слоя 29 см.

2. Алевроит зеленовато-серый неоднородный с значительной примесью глинистого материала. Наблюдаются включения гипса, образующего отдельные кристаллики, а также порошкообразные прослойки. Встречены включения раковин *Cardium edule*. Под микроскопом видно, что осадок представляет собой карбонатно-глинистую массу со сравнительно незначительным количеством терригенного материала, представленного зернами глауконита, кварца и полевого шпата, и с включением довольно крупных кристаллов гипса. Часто попадаются двойники гипса — «ласточкин хвост». Размер отдельных кристаллов достигает 0,4 см. Помимо

кристаллов наблюдаются включения гипса в виде отдельных неправильных пятен. Иногда удается наблюдать начинающуюся перекристаллизацию таких пятен с вырисовывающимися в середине пятна кристалликами гипса (табл. IV, фото 7—9). Мощность слоя 5 см.

3. Глина плотная темнозеленая слоистая, благодаря темным прослоям шириной от 0,5 до 1 см. Под микроскопом осадок представляет собой пелитоморфную массу с небольшими обрывками и отдельными зернами карбоната. Наблюдается значительное количество органического вещества и гидротроилита в виде неправильных пятен, примазок и шариков черного цвета. Эта примесь залегает определенными прослоями шириной в 0,7 мм. Имеются включения диатомовых. Гипс не обнаружен. Мощность слоя 16 см.

4. Глина очень плотная темнозеленая вязкая. При микроскопическом изучении видно, что характер осадка остается тот же, что и в слое 3; отсутствуют прослой органического вещества. Гипс также не обнаружен. Мощность слоя 19 см. Аналогичный разрез был получен при взятии пробы в зал. Тше-Бас.

Взятая у входа в зал. Чернышева колонка в высохшем состоянии показала следующий разрез сверху вниз:

1. Глина светлосерая, местами слегка зеленоватая, с включением более крупного песчаного материала. Под микроскопом эта глина аналогична глинам северных заливов, описанным выше. Мощность слоя 20 см.

2. Песок зеленовато-серый, с включением значительного количества створок и обломков раковин *Cardium*. Под микроскопом видно, что осадок представляет собой в основном карбонатно-глинистую массу, в которую погружено значительное количество мелких зерен (от 0,05 до 0,15 мм) глауконита, кварца и полевого шпата. Осадок переполнен обломками раковин. Мощность слоя 4 см.

3. Глина светлосерая с желто-бурыми пятнами и точками. Книзу переходит в зеленовато-серую глину, тонко переслаивающуюся с белым порошкообразным гипсом. Мощность отдельных прослоев 2—4 мм. Содержит раковины *Cardium*. При микроскопическом изучении видно, что осадок представляет собой зеленовато-серую карбонатно-глинистую массу, слабо действующую на поляризованный свет и переполненную кристаллами и неправильными выделениями гипса. Наблюдается вытянутость кристаллов гипса по длинной оси, что придает осадку слоистый характер. Размер отдельных кристаллов гипса колеблется от 0,05 до 0,075 мм. Мощность слоя 5,5 см.

4. Глина очень плотная серая слоистая с чередованием темных, почти черных, и сравнительно светлых прослоев мощностью 0,03—0,5 см. Под микроскопом осадок представляет собой карбонатно-глинистую массу, переполненную скорлупками диатомовых водорослей. Встречаются органические остатки и черные комочки гидротроилита. Довольно часты обломки раковин. Примесь терригенного материала очень незначительна. Гипс не наблюдается. Мощность слоя 29 см.

Колонка, взятая непосредственно в зал. Чернышева с глубины 44 м, имеет несколько иной характер. Песчаного горизонта с раковинами здесь не обнаружено, а вся колонка длиной в 0,75 м представлена плотной зеленовато-серой глиной с тонкими железистыми прослоями ржаво-бурого цвета. В нижней части колонки количество железистых прослоев увеличивается, и они переходят в прослой темного, почти черного цвета.

При изучении шлифов, изготовленных по всей длине колонки с интервалами в 10 см, удалось обнаружить на глубине 28 см от поверхности осадка в глинистой слабо карбонатной массе, какую он представляет собой под микроскопом, включения отдельных кристаллов гипса размером от 0,015 до 0,03 мм. Кристаллы своей длинной осью ориентированы



Фото 7. Кристаллы гипса в «гипсоносном горизонте» (увел. 76, николи +).

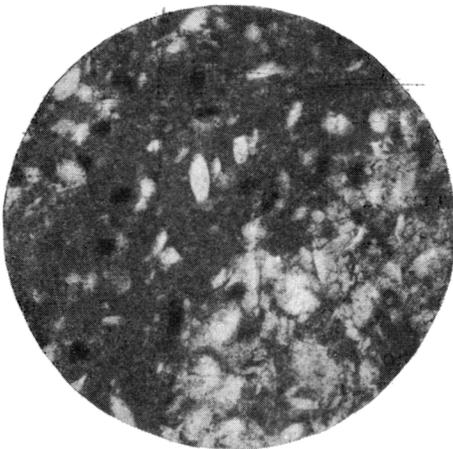


Фото 8. «Гипсоносный горизонт». Многочисленные кристаллы гипса (увел. 46, николи+).

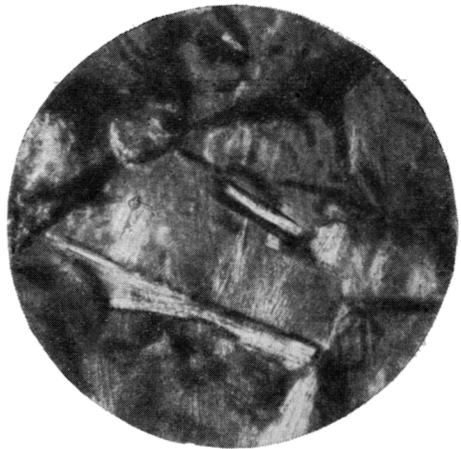


Фото 9. «Гипсоносный горизонт», выделения гипса (увел. 46, николи +).

параллельно друг другу. Они прослеживаются по длине колонки на протяжении 5—6 см и затем исчезают. В нижележащем слое вновь наблюдаются незначительные выделения гипса, которые ниже по колонке уже не проявляются. Содержание песчаного материала книзу несколько увеличивается, но осадок сохраняет свой карбонатно-глинистый тип.

В северной части зал. Сары-Чеганак была получена более или менее однородная колонка (общей длиной в 0,50 см), самый верхний слой которой смыт. Представлена она алевритом серого цвета со слегка зеленоватым оттенком, карбонатным, с заметной примесью мелкого слюдистого материала. Под микроскопом верхний слой колонки представлен карбонатно-глинистой массой с значительными включениями мелкого терригенного материала, более или менее равномерно рассеянного по всему полю зрения шлифа и состоящего из зерен кварца, полевого шпата, глауконита и листочков слюды. Примерно на расстоянии 20 см от верха колонки в шлифе обнаруживаются многочисленные включения и кристаллы гипса (0,03—0,2 мм), погруженные в карбонатно-глинистую массу. Примесь терригенного материала аналогична выше охарактеризованной. Помимо гипса, наблюдается большое количество обломков раковин остракод. Шлиф, изготовленный из образца описываемой колонки, взятого на 5 см ниже предыдущего, показал, что осадок имеет такой же, как и предыдущий образец, состав, но кристаллы гипса ориентированы вытянутой стороной параллельно друг другу. Общая мощность прослоя, содержащего гипс, равна 7—8 см. В шлифах, изготовленных из нижней части колонки, гипс не обнаружен. Осадок представляет собой карбонатно-глинистую массу с примесью тонкого алевритового материала и значительным количеством остатков диатомовых водорослей.

Схожий разрез получен в колонке длиной 0,65 м с вблизи расположенного пункта. Визуально в сыром состоянии отмечается некоторое изменение окраски в этой колонке по направлению вниз. Представлена она серым, слегка зеленоватым слюдистым алевритом с небольшими включениями песка того же цвета. На глубине 30 см от поверхности найдены створки раковин *Cardium*. Книзу колонки увеличивается количество ржаво-бурых железистых пятен. Под микроскопом видно, что на глубине 23—25 см от поверхности колонки осадок представляет собой карбонатно-глинистую массу с значительными включениями кристаллов гипса. Прослой с гипсом имеет мощность 5—6 см, а затем сменяется относительно более грубозернистым осадком, не содержащим гипс.

б) Западная глубоководная часть моря

Колонки грунта, поднятые со дна глубоководной части моря, в высохшем состоянии показали следующий разрез сверху вниз:

1. Мергель серый. Под микроскопом аналогичен мергелям западной глубоководной зоны, описанным выше. Мощность слоя 3 см.

2. Мергель светлосерый более плотный слоистый с переслаиванием светлых (2—3 мм) и желтоватых (до 1 мм) прослоев. При изучении шлифов, изготовленных из этого слоя, видно, что основная масса представляет собой довольно тонкое пелитоморфное карбонатно-глинистое вещество, в котором отдельными прослойками присутствует более грубый терригенный материал. Мощность прослоев, наблюдаемых под микроскопом, равна 0,15—0,2 мм. Расстояние между прослоями около 2—2,5 мм. Имеются включения диатомовых. Мощность слоя 27 см.

3. Мергель светлосерый тонкослоистый. Слоистость обусловлена чередованием желтовато-бурых прослоев (ожелезненных). На поверхности видны выпцеты гипса. Изучение шлифов данного слоя показало, что основная масса его аналогична слою 2. Имеются отдельные прослои терриген-

ного материала, обогащенные органическим веществом и черными комочками $\text{FeH}(\text{HS})_2$. Мощность прослоев 0,2—0,25 мм, интервалы между ними 2 мм. По всей массе осадка рассеяны отдельные кристаллы гипса, часто имеющие формы «ласточкинго хвоста». Размеры кристаллов колеблются от 0,03 до 0,075 мм. Мощность слоя 6 см.

4. Мергель серый очень плотный тонкослоистый. Слоистость обусловлена чередованием тонких (0,5 см) железистых прослоев. При микроскопическом изучении заметны лишь незначительные выделения гипса в шлифах, изготовленных из верхней части слоя. Книзу гипс не обнаружен. Основная масса осадка аналогична слоям 1, 2, 3.

Примененная несколько восточнее трубка Экмана дала монолит длиной всего в 7 см, остальная часть колонки была вымыта. Образец представлял собой светлосерый алеврит с большим количеством раковин *Cardium edule*. Под микроскопом видно, что осадок состоит из карбонатно-глинистой массы, в которую погружены зерна терригенного материала, представленного кварцем и полевым шпатом; размер отдельных зерен до 0,15—0,2 мм. Наблюдается обрастание карбоната вокруг отдельных зерен. Гипс не обнаружен. Дночерпательная проба дала другой тип осадка — мергель, в котором раковины *Cardium edule* полностью отсутствовали. Очевидно, в трубке была вымыта верхняя часть колонки.

в) Центральная часть моря

Наибольшее количество колонок было получено со дна центральной части моря до широты о-ва Возрождения. Разрезы колонок ряда пунктов сверху вниз в высохшем состоянии таковы:

1. Мергель желтоватый со слегка ожеженными пятнами; аналогичен мергелям, описанным для этой зоны ранее. Мощность слоя 4—5 см.

2. Мергель светлосерый плотный со слегка голубоватыми пятнами, книзу несколько более песчаный. При микроскопическом изучении видно, что осадок представляет собой карбонатно-глинистую массу, к которой примешано некоторое количество тонкого алевритового материала. Сравнительно редко встречаются отдельные более крупные зерна. Наблюдаются примазки органического вещества, иногда залегающего отдельными прослойками, придающими осадку слоистый вид. Мощность слоя 20—25 см.

3. Алеврит светлосерый, иногда переходящий в мелко- и среднезернистый песок того же цвета, с включениями большого количества обломков и целых створок раковин *Cardium*, *Dreissensia* и др. Шлифы, изготовленные из образцов этого слоя, показали, что терригенный материал представлен главным образом зернами полевого шпата и кварца, реже глауконита и листочков слюды. Материал этот, погруженный в карбонатно-глинистую массу, сравнительно хорошо отсортирован; встречаются зерна размером от 0,06—0,07 до 0,08—0,1 мм. Иногда наблюдается облекание карбонатного вещества вокруг отдельных минеральных зерен. Имеются значительные включения обломков раковин. Мощность слоя 5,5 см.

4. Мергель светлосерый плотный, в отдельных прослоях более темного цвета. Мощность прослоев до 3 мм. Наблюдаются сравнительно редкие включения раковин. При микроскопическом изучении слой этот представляет собой карбонатно-глинистую массу, почти лишенную примеси терригенного материала. Заметны включения органического вещества и гидротроилита в виде тонких слоев, мощностью 0,2—0,3 мм.

г) Придельтогая зона реки Сыр-Дарьи

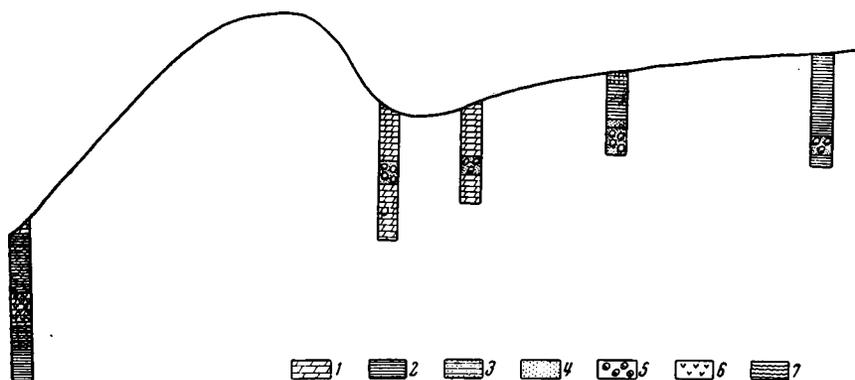
В большинстве колонок грунтов, полученных с площади дна моря, прилегающей к дельте Сыр-Дарьи, длиной до 50—60 см определенной слоистости отложений ни визуальнo, ни микроскопически не отмечалось.

В описываемых колонках наблюдается лишь некоторая неоднородность материала. Имеются отдельные участки, отличающиеся более грубозернистым или, наоборот, тонкозернистым материалом. Включений гипса при изучении шлифов не обнаружено.

В монолите длиной 45 см различаются следующие слои:

1. Глина желтовато-бурая комковатая. При микроскопическом изучении шлифов гипс не обнаружен. Мощность слоя 40 см.
2. Алеврит желтовато-серый с включениями раковин. Под микроскопом видны сравнительно редкие кристаллы гипса. Мощность слоя 5 см.

Суммируя имеющийся в нашем распоряжении фактический материал, полученный в результате визуальных и микроскопических исследований, следует прежде всего отметить, что на основной площади Аральского моря в колонках, взятых со дна, наблюдается определенная закономерная смена отложений.



Фиг. 4. Схематический профиль Аральского моря по линии I—I
1 — мергель; 2 — глина; 3 — алеврит; 4 — песок; 5 — *Cardium edule*; 6 — гипс;
7 — микрослоистость осадков.

В северных участках моря глины и алевриты поверхностного слоя на глубине 30 см сменяются глинистым грунтом, содержащим значительные включения гипса. Этот «гипсоносный горизонт» (табл. V, фото 10) мощностью 5,5—6 см переходит ниже в осадок, лишенный гипса.

В западной глубоководной котловине тонкослоистые мергели, покрывающие дно моря, на глубине 25—30 см от поверхности сменяются мергелями же с признаками загипсованности. Этот «гипсоносный горизонт», имеющий, так же как и в условиях северных заливов, небольшую мощность в 5,5 см, ниже сменяется слоистыми мергелями, обогащенными органическим веществом.

Центральная часть моря, как видно из приведенного материала колонок, имеет несколько иной разрез: поверхностные слои, представленные мергелями или алевритами, на глубине 20—30 см от поверхности переходят в грубозернистые, иногда песчаные осадки, переполненные раковинами *Cardium edule*. Мощность этого «горизонта с *Cardium*» достигает всего 5—7 см. Ниже осадок переходит в более или менее однообразную мергелистую или алевритовую толщу. Осадки, непосредственно прилегающие к зоне дельты, как это указывалось выше, не изменяются в вертикальном разрезе.

Для более ясного представления об изменении в характере напластования осадков по простиранию построены схематические профили, секущие море в направлении с юго-запада на северо-восток и с юга на север. На профиле I—I (фиг. 4) видно, что по направлению от западной глубоководной зоны к центральной части водоема и далее на северо-восток

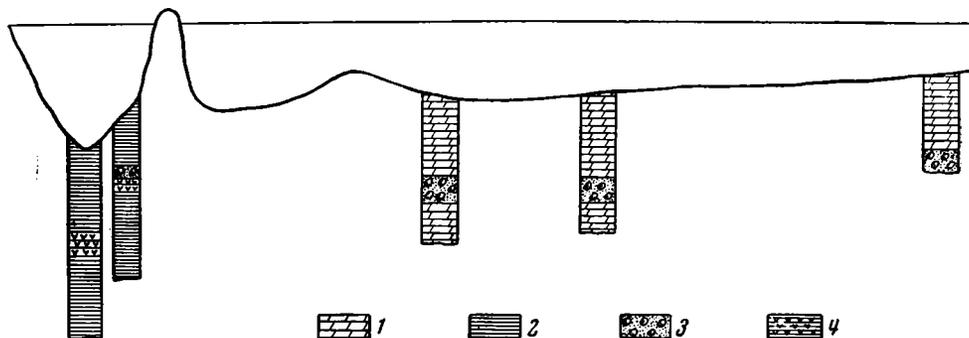


Фото 10. Колонки, взятые трубкой Экмана: слева — «гипсоносный горизонт»; справа — горизонт с *Cardium*.

к дельтовой зоне Сыр-Дарьи происходит следующая смена отложений, залегающих на глубине 25—30 см от поверхности: «гипсоносный горизонт» западной глубоководной зоны сменяется в центральной части водоема «горизонтом с *Cardium*» и далее к северо-востоку уходит под более мощную толщу вышележащих осадков придельтовых зон.

Следуя по линии профиля II — II (фиг. 5), можно наблюдать, как «горизонт с *Cardium*» центральной части водоема сменяется «гипсоносным горизонтом» северных заливов моря. Мощность прослеживаемых горизонтов приблизительно одинакова и колеблется в пределах 5—8 см.

Полученные результаты можно кратко сформулировать следующим образом: выделенные горизонты залегают примерно на одинаковом уровне от поверхности осадка; по направлению к зоне дельт оба горизонта обна-



Фиг. 5. Схематический профиль Аральского моря по линии II—II.

1 — мергель; 2 — глина; 3 — песок с *Cardium edule*; 4 — глина с гипсом.

руживаются на большой глубине от поверхности осадка; мощность обоих горизонтов почти одинакова.

Если принять во внимание, что в гипсоносном горизонте ряда пунктов найдены экземпляры *Cardium edule*, кажется бесспорным вывод о синхронности данных горизонтов. Хотя все вышеизложенное нуждается в подтверждении на значительно большем материале, чем тот, которым располагает автор, можно тем не менее попытаться дать некоторое истолкование наблюдаемой смене осадков.

Исследования донных осадков Аральского моря показали, что в верхних слоях гипс полностью отсутствует. Соленость аральской воды, равная всего 10 промиллям, не может удовлетворять условиям садки CaSO_4 в настоящее время. По имеющимся литературным данным (Страхов, 1947₂), садка гипса может наступить только при почти трехкратном по объему выпаривании воды Аральского моря или, иначе, при 30 промиллях солености.

Для выяснения степени насыщенности аральской воды гипсом автором был поставлен небольшой опыт. В пробе воды Аральского моря определялись pH , HCO_3 и SO_4 , затем в 0,5 л воды вносился 1 г CaSO_4 (в порошке). В течение двух недель вода с гипсом систематически (3—4 раза в день) перемешивалась. После истечения двухнедельного срока вода отфильтровывалась от твердой фазы CaSO_4 и в ней определялись те же показатели pH , HCO_3 и SO_4 (см. табл. 15).

Учитывая, что в воде по данным наших анализов содержится 476 мг/л Ca, был сделан пересчет на содержание CaSO_4 до опыта и после. Оказалось, что в исходной воде CaSO_4 0,343 г/л, а после опыта — 1,13 г/л.

Таким образом, в три раза увеличилось содержание CaSO_4 в воде, прежде чем она достигла возможной стадии насыщения гипсом. Приведен-

Характеристика воды до и после опыта

	SO ₄ , г/л	HCO ₃ , мг/эк.	pH
Аральская во а до опыта	3,30	2,83	7,81
Аральская вода с CaSO ₄	3,86	2,83	7,81

ные фактические данные несколько противоречат предположениям О. А. Алекина (1947) о насыщенности аральской воды CaSO₄. Названный автор ссылается на то, что «если бы вносимые количества CaSO₄ оставались в воде, то в Арале создались бы концентрации порядка 4,7 Cl и 0,75 г SO₄, т. е. превышающие растворимость CaSO₄ при условиях солености Арала». Однако следует учесть роль огромного количества природных отстойников аральской воды, его лагун и соленых озер, в которых происходит значительная садка гипса при условиях повышенной солености. Этим путем, возможно, осуществляется разгрузка Аральского моря от CaSO₄. В осадках лагун, расположенных главным образом на восточном побережье, вместе с карбонатом находится громадное количество кристаллов и включений гипса.

В современных биоценозах Аральского моря *Cardium edule* занимает весьма скромное место. Нахождение его связано почти исключительно с прибрежной зоной моря, обладающей песчаным грунтом. Оптимальными условиями для этих моллюсков является глубина 10—15 м. Основную причину уменьшения кардиумов, по мнению А. Л. Бенинга, следует искать в тех или иных общих физико-химических условиях, в которых сейчас в Арале протекает их существование.

Приведенные данные позволяют уяснить себе в общих чертах условия, господствовавшие в течение того времени, когда образовывались на дне Аральского моря «гипсоносный горизонт» и «горизонт с *Cardium*». По всей вероятности, в водоеме существовала повышенная соленость (около 3%), «разрушающая» садку CaSO₄. С другой стороны, глубина моря в это время была меньшей, чем теперь, и почти вся центральная его часть была покрыта грубозернистыми песчаными и алевритовыми осадками, накапливающимися при сравнительно мелководных условиях на глубине 10—15 м. Эти грунты послужили превосходным биотопом для *Cardium*, хотя в незначительных количествах последний, повидимому, существовал и на глинисто-алевритовом грунте. Характерно, что найденные в «горизонте с *Cardium*» моллюски отличаются, наряду со своей многочисленностью, весьма незначительными, «карликовыми» размерами. Последнее обстоятельство, повидимому, может свидетельствовать о несколько повышенной солености воды. Нетрудно видеть, что за обоими указанными явлениями скрывается одна общая причина — значительное обмеление моря.

Действительно, если допустить, что уровень моря упал на 10—13 м, то значительная часть дна у восточного побережья (как более пологого) должна была выйти из-под воды. Зона взмучивания, естественно, в этом случае переместилась бы к центральной части моря, так как современные глубины этой площади моря составляли всего 10—15 м, т. е. зона взмучивания соответствовала бы тогда современной алевритовой и песчаной полосе. Хорошим подтверждением высказанных предположений может служить материал колонки с западной глубоководной зоны, где, как отмечалось при разборе фактического материала, слоистость заметна только

в верхних 10—15 см, а ниже исчезает. Связано это обстоятельство, вероятно, с тем, что этот участок моря в результате падения уровня попадал в зону некоторого волнения и слоистость в таких условиях не сохранилась.

В результате падения уровня произошло, повидимому, повышение солености аральской воды при неизменной величине испарения. Изменения в солености Аральского моря в связи с понижением или повышением уровня наблюдаются и в настоящее время, но имеют незначительные масштабы. Увеличившаяся больше чем в 2,5 раза соленость аральской воды создала необходимые условия для садки CaSO_4 , причем в наиболее глубоководных местах (западная глубоководная котловина, впадина северных заливов) накоплялся тонкий глинистый материал и гипс сохранился, в то время как из песчаных осадков он легче всего мог быть вымыт.

Последующий подъем уровня Аральского моря «восстановил» условия осадконакопления, существовавшие до падения уровня; их мы и наблюдаем в поверхностном слое осадков. Интересно отметить, что в ряде мест на площади современного дна водоема верхний слой оказывается «сорванным» под действием, возможно, сильных штормовых ветров. В таких случаях на поверхности дна моря обнажается нижележащий «горизонт с *Cardium*». Такие «пятна» на картах распределения на дне моря осадков или составляющих их компонентов условно нами не закрашены.

Чтобы ориентироваться во времени, когда могли происходить события, повлекшие за собой падение уровня Аральского моря, воспользуемся тонкой слоистостью глубоководных осадков. На наличие подобной слоистости указано в работах В. П. Шостаковича (1944) и А. Л. Бенинга (1935), а затем В. П. Зенковича (1947). Названные авторы вычислили на основании этой слоистости скорость седиментации в водоеме Аральского моря, равную 0,5—1,9 мм в год в северных заливах моря (до глубины в 27 м), 1,5 мм в год в западной глубоководной полосе и 0,7—0,8 мм в год в центральных частях бассейна. В придельтовых зонах, по данным Л. С. Берга (1908), скорость седиментации максимальная и достигает 2 см в год. Нами также произведены подсчеты количества годичных слоев.

Из данных Шостаковича (1927) и Перфильева (1927) следует, что каждая пара слоев представляет собой результат отложения ила в течение года. В имеющихся колонках, взятых из северных глубоководных заливов моря, на 1 см колонки (во влажном состоянии) приходится около 8—10 пар слоев, что соответствует отложению от 1 до 0,8 мм в год. В центральных частях бассейна, по нашим данным, скорость седиментации не превышает 0,6 мм в год, а в западной глубоководной зоне 0,7—0,8 мм в год.

Зная примерную мощность слоя залегающего выше «гипсоносного горизонта» и «горизонта с *Cardium*», можно определить время его образования; оказалось, что падение уровня и осолонение моря произошло всего 400—500 лет тому назад.

Обращаясь к историческим фактам, следует прежде всего отметить ссылку в монографии Л. С. Берга (1908) на исследования, производившиеся в 1873 г. А. Каульбарсом. Этим исследователем найдены в море следы древних русел р. Яны-Су (приток р. Аму-Дарьи), свидетельствующих о некогда низких уровнях Аральского моря. А. Каульбарс следующим образом описывает наблюдавшиеся им подводные русла: «эти впадины, во всем напоминающие русла притоков, сохранились вполне; берега их круты и резко очерчены, а вследствие значительного углубления их дна, сравнительно с окружающими отмелями, морская вода отсвечивает над ними».

На подобное же явление в дельте Джаны-Дарьи указывает К. О. Северцев (1875): «Из сравнения бывших устьев Джаны-Дарьи оказались ясные, несомненные следы значительной прибыли моря, затопившего прежде сухую речную дельту». В монографии «Аральское море» Л. С. Берг (1908), ссылаясь на монографию Бартольда (1902) и на ряд исторических данных,

доказывает, что примерно в XIII—XVI вв. часть воды р. Аму-Дарьи наполняла Сары-Камышскую котловину и затем по Узбою впадала в Каспий. Он говорит: «до 1221 г. все достойные доверия авторы свидетельствуют о впадении Аму в Аральское море, но после 1221 г. начинаются сведения о повороте части Аму к Каспию; в 1573 г., по словам Абулгаза, Аму снова повернула в Арал». Таким образом, для Л. С. Берга очевидны два факта в исторической жизни Аральского моря: 1) значительное падение его уровня и 2) частичный сток вод Аму-Дарьи в Сары-Камыш и далее по Узбою в Каспий. Однако решить вопрос на основании имеющегося у него материала, связано ли падение уровня Аральского моря с периодом стока аму-дарьинских вод в Сары-Камышскую котловину или же это падение обуславливается какими-либо другими причинами (климат), Л. С. Берг не мог.

Основываясь на данных, приведенных в настоящей главе, нам кажется правильным связывать время падения уровня Аральского моря именно со стоком вод Аму-Дарьи в Сары-Камышскую котловину. Мощность осадков, отложившихся над горизонтом, являющимся свидетелем низкого уровня Аральского моря, равна 30—35 см, т. е., принимая во внимание скорость осадконакопления в водоеме, соответствует четырем столетиям, отделяющим нас от XVI в.

Глава III

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРРИГЕННОГО БЕСКАРБОНАТНОГО МАТЕРИАЛА НА ПЛОЩАДИ ДНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Донные отложения Аральского моря состоят из двух основных компонентов: карбонатного вещества и терригенной минеральной части. В подчиненных количествах находятся такие составляющие осадка, как железо, в главной своей массе связанное с теми же терригенными компонентами, углерод, фосфор и другие элементы, в сумме дающие не более 5% от общей массы осадка. В некоторых случаях известную роль играют диатомовые водоросли. Чтобы полнее представить себе протекающий в водоеме процесс седиментации осадка в целом, необходимо проанализировать распределение на площади моря каждого из составляющих осадок компонентов в отдельности. Процесс седиментации в целом есть как бы суммированный процесс осаждения всего комплекса слагающих осадок компонентов.

Терригенный материал является наиболее точным индикатором гидродинамических условий, господствующих в водоеме. Во-первых, он является наиболее обильным материалом, вносимым в водоем реками; во-вторых, обладая известным разнообразием гранулометрического состава, терригенный материал проникает во все типы осадков, отлагаясь на дне водоема при самых разнообразных гидрологических условиях. Руководствуясь этими соображениями, мы и попытаемся дать картину разноса в водоеме Аральского моря бескарбонатного терригенного материала. Что касается остальных составляющих осадка, то о них речь будет идти в соответствующих разделах.

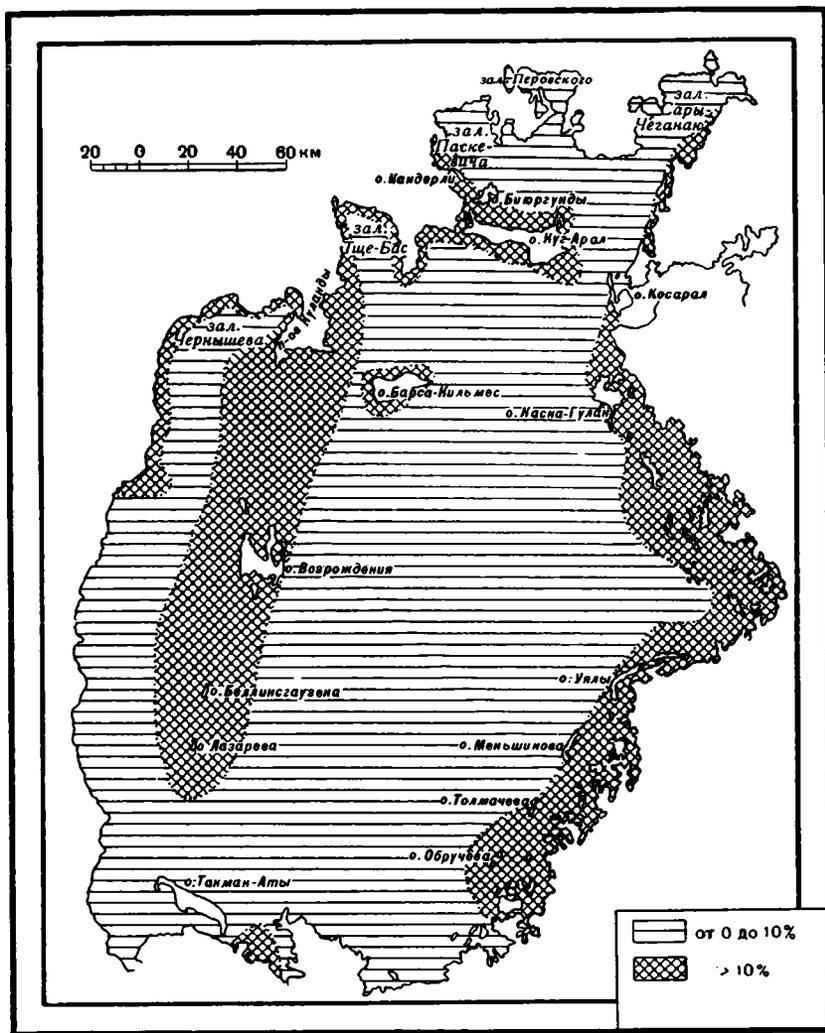
1. Разнос песчаного, алевритового и пелитового материала бескарбонатной части осадка в водоеме Аральского моря

Механический анализ нерастворимой части осадка показал, что она состоит из следующих фракций:

песчаной с размерностями.	> 0,1 мм
алевритовой »	0,1—0,01 мм
пелитовой »	< 0,01 мм.

Естественно, что более дробное деление позволит выделить еще целый ряд промежуточных градаций, но мы считаем достаточным для наших целей изучение распределения перечисленных трех основных слагающих осадок фракций.

Для иллюстрации разнота по площади моря выделенных фракций нами были составлены схемы процентного содержания в осадках моря соответственно песчаного, алевритового и пелитового материала. Подобного рода попытка была уже частично сделана В. П. Зенковичем (1947), составившим



Фиг. 6. Схема распределения песчаных частиц $> 0,1$ мм по площади Аральского моря в процентах от нерастворимого остатка.

карту содержания пелитовых фракций $< 0,01$ мм и $< 0,001$ мм. Однако карты эти отличаются чрезвычайной схематичностью и не позволяют произвести необходимого анализа. Мы старались, пользуясь в общем теми же анализами с небольшой добавкой новых данных, составить более детальную карту.

На схеме распределения песчаных частиц по площади дна Аральского моря (фиг. 6) можно выделить только две градации процентного содер-

жания фракции $>0,1$ мм: 0—10% и более 10%. Как следует из анализа схемы, основная площадь дна водоема занята осадками, содержащими минимальные количества песка. Оно в основном не превышает 1,0—1,5%, опускаясь до 0,2% в центральной части моря.

Невозможно уловить каких-либо переходных зон к более высоким содержаниям грубой фракции. Узкая прибрежная полоса, особенно четко выделяющаяся на восточном побережье моря, а на западном не изображаемая по масштабу карты, характеризуется высоким содержанием фракции $>0,1$ мм. Содержание ее здесь колеблется от 20 до 98%. Аналогичная картина наблюдается в мелководной зоне, окружающей острова, где количество песка достигает 60—90%. Небольшими пятнами выделяется наличие песка (25—30%) в дельтовых зонах и у побережья северных заливов моря (до 90%).

Схема, построенная для алевритовой фракции (фиг. 7), раскрывает следующие закономерности в разnose частиц размером от 0,1 до 0,01 мм. В предустьевой зоне р. Аму-Дарьи содержание алевритовой фракции в бескарбонатном материале равно 40—50%. Соответственно с двумя струями выходящего из дельты течения процентное содержание этого материала постепенно уменьшается, причем по фарватеру течения значение алевритовой фракции несколько выше, чем в сторону от него. Так, в непосредственной близости от западного побережья о-ва Возрождения содержание алевритовой фракции не превышает 6—17%, в то время как несколько западнее оно не спускается ниже 25%.

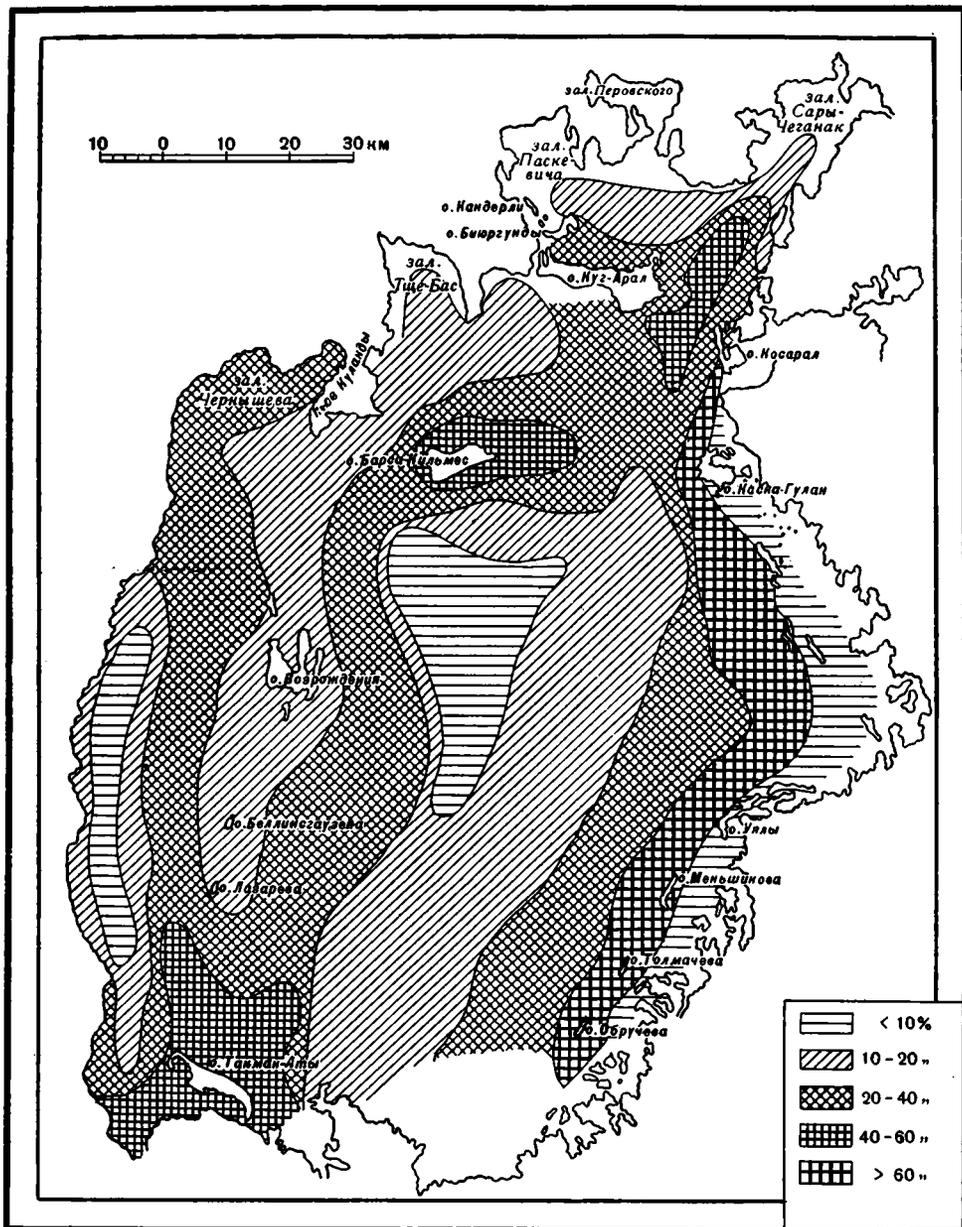
Далее на север, у урочища Кара-Куш, содержание алеврита несколько повышается, достигая 31%, что, повидимому, связано с значительным поступлением материала с берега, сложенного здесь сравнительно крупнозернистыми осадками. В зал. Чернышева отмечается снижение содержания алевритовых частиц до 23%. Аналогичные значения алевритовой фракции имеют осадки по ходу струи, огибающей о-в Константина с востока.

В районе о-ва Барса-Кельмес поток получает новую порцию алевритового материала, выходящего из дельтовой зоны р. Сыр-Дарьи. Содержание алеврита в выносе этой зоны несколько ниже, чем в условиях Аму-Дарьи, и составляет 35—40%. Благодаря восточному пологому берегу и, следовательно, широкой зоне взмучивания, тонкий пелитовый материал оттесняется к центру, образуя довольно широкую полосу отложений с высоким содержанием алевритового материала. В центральной части моря, куда течение не заходит, а волнение не везде достигает дна, содержание алевритового материала падает с 20 до 5%.

Распределение пелитовой фракции (меньше 0,01 мм) в донных осадках иное (фиг. 8). В дельте Аму-Дарьи содержание ее равно 47—50% (по ходу струй течения); у мыса Бай-Кубек наблюдается возрастание содержания пелитового материала до 68%. В зал. Чернышева в глубоководной впадине содержание пелита равно 75%, а в глубоководных зонах, протягивающихся вдоль западного берега, количество пелитового материала достигает 93%. Таким образом, по характеру донных осадков довольно хорошо намечаются границы фарватера течения. Узкая полоса повышенного содержания пелитовых частиц объясняется, очевидно, отмучиванием более тонкого материала в спокойных местах, соответствующих заводям нормального речного потока. Поток, выходящий из зоны дельты Сыр-Дарьи, осаждает значительное количество тонкого пелитового материала, что вызывает повышенное содержание его в осадках, достигающее 75—78%. Далее к югу роль этого материала в отложениях увеличивается до 79—85%, а в центральной зоне, куда более грубозернистый материал не попадает, количество пелитовой фракции возрастает до 94%.

Высокое содержание пелитового материала заходит довольно далеко на юг, достигая на широте о-ва Толмачева 87%. Как мы увидим ниже,

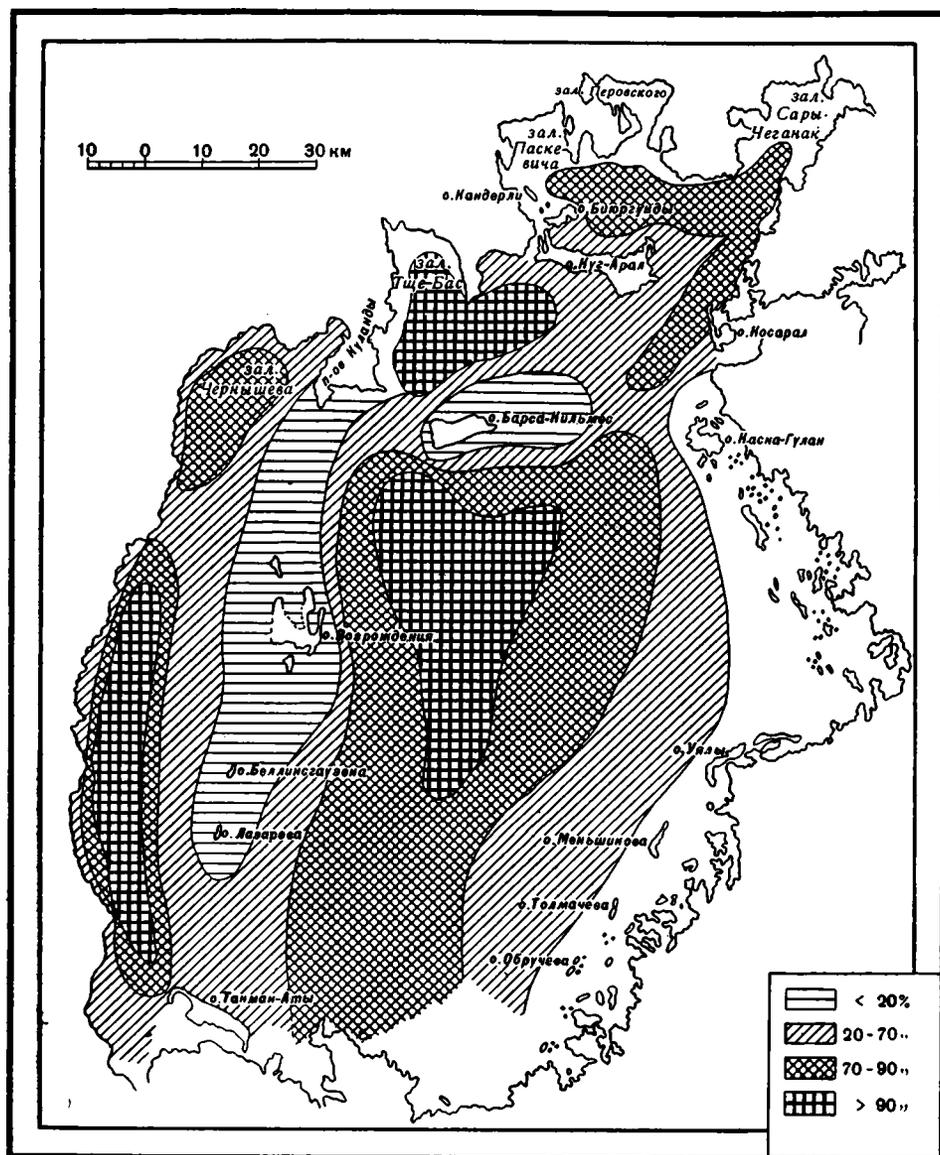
материал, слагающий эти осадки, выносится Аму-Дарьей, а потому следует предположить, что здесь на сравнительно больших глубинах (20 м) происходит оседание тонких пелитовых частиц, выносимых протоками Аму-Дарьи.



Фиг. 7. Схема распределения алевритовых частиц в осадках Аральского моря в процентах от нерастворимого остатка.

К сожалению, имеется очень небольшое количество механических анализов, касающихся северных заливов, но в совокупности с макроскопическими и микроскопическими исследованиями донных осадков можно признать, что и здесь наибольшее значение фракции $< 0,01$ мм приурочено

к центральным частям глубоководных котловин. Если основной материал поступает в северные заливы в связи с абразией берегов, то он располагается по дну в полной зависимости от гидродинамических условий



Фиг. 8. Схема распределения пелитовых частиц в осадках Аральского моря в процентах от нерастворимого остатка.

этих зон. Там, где волнение значительно (в береговых зонах), в осадках преобладают более грубозернистые частицы, в спокойных, застойных местах — тонкие пелиты.

Однако следует иметь в виду, что грубозернистые осадки концентрируются непосредственно у самых берегов, оставляя значительную площадь дна занятой тонкими илами. Зона мелководья, протягивающаяся от о-ва Лазарева до п-ова Куланды, характеризуется минимальными значениями

относительного содержания в осадках пелитовых и алевритовых частиц. Очевидно, что ветровые волнения, достигающие здесь до дна, не дают возможности осесть мелким пелитовым частицам. Осадок периодически взмучивается, и из него вымываются более тонкие составляющие, в то время как удельная величина более грубых песчаных фракций возрастает. Следует отметить, что материал в эту зону приносится не только течением, захватывающим лишь южную часть мелководья, но поступает также в результате абразии островов. Характер коренных пород, слагающих о-ва Лазарева и Возрождения, свидетельствует о том, что разрушаются в основном песчаники и известняковые толщи, дающие соответственный материал для седиментации в этой зоне.

Заканчивая анализ составленных трех схем, подытожим некоторые положения.

1. Песчаный материал играет весьма незначительную роль в массе терригенного бескарбонатного вещества донных осадков, занимая лишь узкие прибрежные зоны и приостровные участки.

2. Основная масса материала сложена алевритовой и пелитовой фракциями. Это подчеркивается общим сходством этих двух схем и тем, что по значению они являются зеркальным отражением одна другой.

3. Максимуму пелитового материала в центре моря соответствует минимуму алевритового материала на этой же площади. Постепенное уменьшение пелитовой фракции по направлению к восточному побережью на схеме распределения фракции $< 0,01$ мм выражается увеличением роли алевритового материала.

4. Распределение отдельных фракций по дну водоема находится в прямой связи с основными гидродинамическими факторами водоема: течениями, волнениями и рельефом дна.

2. Распределение средних диаметров терригенного бескарбонатного материала осадков на площади дна Аральского моря

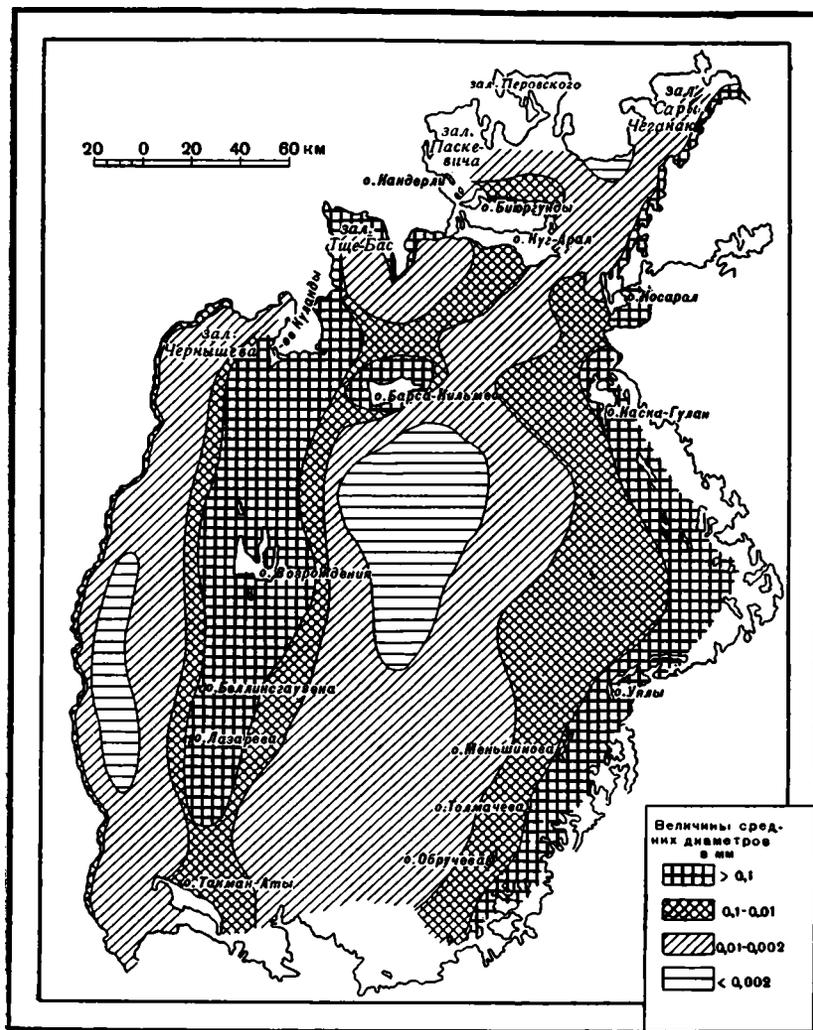
Основываясь главным образом на результатах гранулометрических анализов, заимствованных у В. П. Зенковича, нами построена схема распределения Мд бескарбонатного материала донных осадков на площади Аральского водоема (фиг. 9).

Прежде всего бросается в глаза зависимость Мд от глубины водоема. С постепенным углублением дна с востока на запад пески с Мд = 0,35—0,15 мм сменяются алевритами с Мд = 0,1—0,01 мм и, наконец, тонкими пелитами с Мд = 0,005—0,001 мм. Основное влияние на распределение Мд по дну водоема имеет топография, т. е. форма рельефа морского дна, как тектонического, так и эрозийного происхождения. К зоне поднятий, протягивающейся от п-ова Куланды почти до устьевой зоны Аму-Дарьи, приурочены сравнительно крупнозернистые отложения с Мд = 0,1—0,2 мм, в то время как в депрессиях западной части бассейна, центральной и северной накапливаются тонкие пелитовые осадки. Связь гранулометрического состава современных морских и озерных осадков с подводным рельефом неоднократно подчеркивалась как в работах советских авторов (Страхов, 1946; Кленова, 1948; Сапожников, 1951), так и иностранных (Trask, 1939; Shepard, 1932).

Однако природные условия гораздо более разнообразны, чем те «законы», которые мы старались установить, и для того чтобы правильно выяснить причину нахождения в данных условиях того или иного типа осадка, необходимо возможно более близкое знакомство с имеющимся фактическим материалом.

В условиях Аральского моря мы встречаемся с фактом, что вне зависимости от глубины водоема и топографии дна довольно тонкие осадки за-

нимают площадь дна в предустьевых зонах рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. По размерности своих частиц ($Md = 0,003--0,005$ мм) эти осадки аналогичны пелитовому материалу, относительно глубоководных котловин,



Фиг. 9. Схема распределения средних диаметров обломочного материала в осадках Аральского моря.

находятся же они здесь на мелководном, сравнительно плавно погружающемся дне. На образование пятен мелкозернистого материала в предустьевых пространствах крупных рек было указано в работах ряда авторов (Страхов, 1947з, Shepard, 1932). Механизм этого процесса заключается в том, что масса пресной речной воды, впадая в море, частично смешиваясь с соленой морской водой и расплываясь по ней, все же сохраняет некоторое время свое активное движение. Скорость потока постепенно становится меньшей, и несомый им взвешенный материал осаждается в недалеком расстоянии от устья. Наличие электролитов способствует этому процессу, усиливая коагуляцию. По данным исследований, произведенных В. А. Скопинцевым (1946), изучавшим осаждение паводковых взвесей

р. Волги в морской воде, следует, что скорость осаждения зависит в значительной степени от концентраций взвесей в паводковой воде; при малых концентрациях коагуляция происходит замедленным темпом. В условиях Аральского моря, учитывая огромную мутность его рек, естественно ожидать весьма быстрой и значительной коагуляции взвешенных веществ и, следовательно, большой скорости осаждения. Последнее сказывается на прозрачности морской воды; Аральское море, как известно, обладает необычайно высокой прозрачностью, достигающей 23—24 м.

На распределение среднего диаметра нерастворимого остатка аральских грунтов довольно отчетливо влияет крутизна прибрежного подводного склона и, следовательно, ширина зоны взмучивания. Так, восточное побережье, обладающее пологим склоном, характеризуется сравнительно широкой полосой грубозернистых осадков и далеко отодвинутыми к центру моря пелитовыми отложениями. Напротив, у западного берега, благодаря крутому склону, тонкий материал подходит почти вплотную к побережью, оставляя лишь узкую полосу алевритовых и песчаных осадков, имеющих средние диаметры соответственно от 0,04 до 0,1 мм и от 0,1 до 0,2 мм.

Помимо центральной части водоема, наименьшие значения средних диаметров приурочены к глубоководным котловинам западной зоны и к впадинам северных заливов. Здесь располагаются осадки, обладающие $Md = 0,0013$ мм. Очевидно, происходит размучивание очень тонкого глинистого материала, поступающего с берегов, и осаждение его в спокойных местах.

Заканчивая разбор данных, полученных в результате гранулометрических анализов, отметим, что ряд анализируемых образцов показал двухвершинность своих кривых механического состава. Располагаются эти образцы главным образом около островов и прибрежных зон¹. Следует предположить, что эта двухвершинность связана с приносом более крупнозернистого материала ветром с побережий. К тому же, при микроскопическом изучении осадков обнаруживаются отдельные хорошо окатанные крупные зерна кварца в сравнительно тонкозернистых осадках.

3. Минералогический состав терригенной бескарбонатной части аральских грунтов и его распределение по дну водоема

В немногочисленных работах, посвященных изучению грунтов Аральского моря (Берг, 1908; Сидоренко, 1911; Бенинг, 1935; Зенкович, 1947), вопросам, касающимся минералогического состава донных осадков, уделялось весьма скромное внимание.

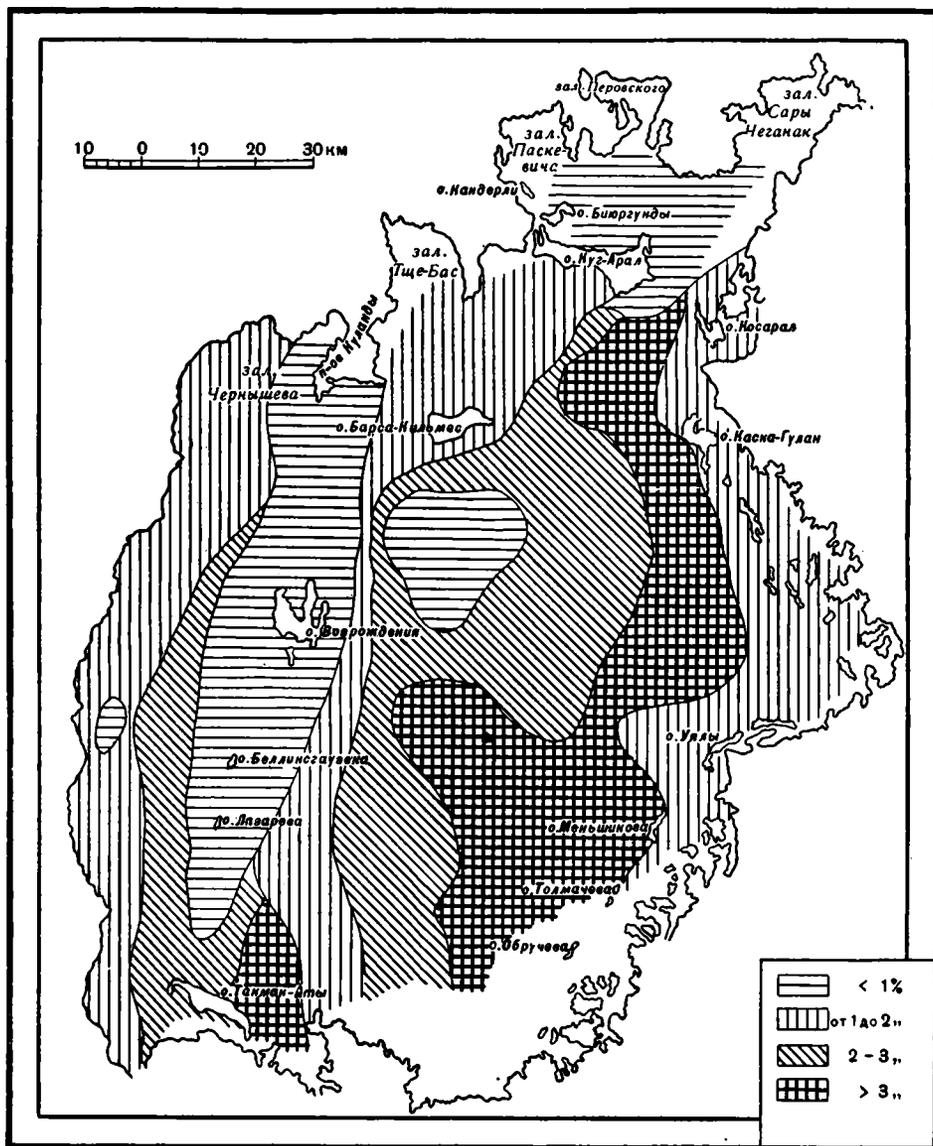
Проводя изучение донных осадков Аральского моря с определенной целью — представить себе как можно более полно весь процесс седиментации, происходящий в водоеме, мы считаем необходимым, ознакомившись с терригенной частью осадка, проследить за возможными изменениями ее минералогического состава по площади бассейна. В свете сравнительно-литологического метода изучения осадочных пород решения подобных задач являются весьма актуальными, ибо это вносит определенную лепту в истолкование минералогических комплексов пород прошлого.

Выделенные гранулометрическим анализом фракции от 0,25 до 0,01 мм разделялись на тяжелые и легкие минералы с последующим их изучением под микроскопом в иммерсионных жидкостях. Всего было изучено 50 образцов глинистых алевритовых и песчаных осадков моря.

Выход тяжелых минералов варьирует — от 0,02 до 4%. Минимальное количество их приурочено к пескам и составляет от 0,2 до 2%. Имею-

¹ По В. П. Зенковичу.

щийся в нашем распоряжении материал позволил составить схематическую карту распределения процентного содержания тяжелой фракции (размером 0,25—0,01 мм) по площади дна моря (фиг. 10).



Фиг. 10. Схема распределения тяжелой фракции в нерастворимом остатке донных отложений Аральского моря в процентах.

Из рассмотрения схемы видно, что максимальные значения процентного содержания тяжелой фракции приурочены к преддельтовой зоне Аму-Дарьи и составляют 3—4%. Сыр-дарьинский материал, по имеющимся у нас данным, несколько обеднен тяжелой фракцией, которая составляет только 1—1,5%; правда, на некотором расстоянии от дельты происходит увеличение ее содержания до 3,8%. Эти значения прослеживаются по ходу речной струи к югу от дельты в соответствии с зоной, занятой алевроитовыми осадками. В прибрежной части восточной мелководной зоны

количество тяжелой фракции не превышает 1—2%. В западной глубоководной зоне содержание ее колеблется от 1,5 до 2%, причем эти же значения наблюдаются в западной части аму-дарьинской придельтовой зоны. Обращает на себя внимание полоса мелководья, окружающая острова Лазарева, Возрождения, Беллинсгаузена; здесь, как правило, содержание тяжелой фракции не выше 0,9%, в северной части этой зоны даже от 0,2 до 0,45%. В состав тяжелой фракции осадков входят следующие минералы: роговая обманка, глаукофан, силлиманит, эпидот, цоизит, гранат, дистен, турмалин, ставролит, сфен, пикотит, брукит, гиперстен, рутил, андалузит, барит, зеленая слюда, биотит, рудные минералы (гидроокислы железа, лейкоксен, лейкоксенизированный ильменит, пирит, магнетит).

В легкой фракции констатированы: кварц, кварцит, полевые шпаты (олигоклаз-андезин и калиевые полевые шпаты), глаукоцит, мусковит, вулканическое стекло, тонко кристаллические агрегатные скопления. Из аутигенных минералов в осадках встречаются гидротроилит и гипс.

Резкое изменение в процентном содержании отдельных компонентов, наряду с выпадением некоторых минералов из списка, позволяет различать отдельные участки моря, характеризующиеся специфическими особенностями в минералогическом составе их донных осадков. Рассмотрение этих местных вариаций удобнее начать с областей, примыкающих к выносам Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи.

Обе эти реки несут в Аральское море в тяжелой фракции в основном роговообманково-эпидотово-цоизитовый комплекс минералов со значительным количеством слюд (биотита, зеленой слюды) и меньшим — таких минералов, как дистен, турмалин, силлиманит. Ставролит в выносе обеих рек почти полностью отсутствует. Следует подчеркнуть, что Аму-Дарья вносит в среднем до 17% роговой обманки, 45—50% эпидота, до 10% слюд (зеленая слюда и биотит) и до 17% рудных минералов. Таким образом, отмечается незначительное повышение содержания в сыр-дарьинском выносе роговой обманки и рудных минералов. В связи с этим фактом можно утверждать, что повышенное содержание тяжелой фракции в устьевой зоне Аму-Дарьи, о чем было сказано выше, связано с относительным возрастанием роли всей тяжелой фракции минералов по отношению к легкой фракции, а не с увеличением процента рудных минералов.

В легкой фракции в обеих реках встречаются кварц и полевой шпат (кислые плагиоклазы и щелочные полевые шпаты), причем Аму-Дарья вносит большее количество полевых шпатов по сравнению с кварцем, в то время как в осадках Сыр-Дарьи соотношение между этими двумя компонентами обратное. Минералы, вносимые реками в море, имеют, как правило, остроугольный и даже оскольчатый габитус. Среди полевых шпатов и эпидота отмечается значительный процент разложенных зерен. Располагая сравнительно небольшим материалом, все же можно проследить на карте за возможными изменениями комплексов минералов по площади моря. Материал, характерный для вноса Сыр-Дарьи, распространяется вдоль восточного берега моря и заносится в его центральную часть.

В анализируемых образцах в основном отмечается роговообманково-эпидотовый комплекс минералов, в котором роговая обманка составляет от 13 до 23%, эпидот — 20—30%, слюда присутствует в виде единичных пластинок, достигая иногда 5%, а рудные минералы составляют 20—30%.

Северная половина залива Сары-Чеганак, а также прибрежная зона о-ва Куг-Арал, заливов Паскевича и Тше-Бас несколько отличаются комплексом минералов в терригенной части своих осадков от приведенного выше распределения. Здесь, как правило, процент роговой обманки не поднимается выше 4—5, местами опускаясь до 1. Одновременно возрастает содержание граната, дистена, а иногда ставролита. Количество рудных минералов увеличивается до 50—60%. Эпидот составляет 10—20%. Присут-

ствует глауконит в количестве до 8%; зерна его округлые, большей частью яркозеленого цвета с агрегатным строением; размеры их варьируют от 0,01 до 0,15 мм.

Зал. Чернышева и прилегающая к нему северная часть моря, включая район о-ва Барса-Кельмес, выделяются нами в самостоятельную зону. Хотя в составе тяжелой фракции этой зоны не наблюдается особенных изменений по сравнению с выносом Аму-Дарьи и комплекс минералов остается роговообманково-эпидотовым, но в легкой фракции присутствует глауконит, что несомненно отличает эту площадь от более южной части моря. Полевые шпаты в зал. Чернышева преобладают над зернами кварца.

Возвращаясь к приустьевым пространствам Аму-Дарьи, нам кажется правильным выделить на фоне более или менее однообразного роговообманково-эпидотового комплекса минералов зоны, явно обогащенные слюдой. Содержание слюды в осадках (приустьевой зоны Аму-Дарьи) колеблется в пределах 20—40%. Аналогичная зона протягивается языком от протока Урга вдоль западного берега моря. В легкой фракции осадков этих зон значительный процент составляет мусковит. Количество зерен полевого шпата превышает обычно содержание кварца.

В западной глубоководной области Аральского моря и в центральных частях его тонкие мергелистые осадки характеризуются исключительной мелкозернистостью нерастворимого остатка. Однако здесь удается проследить тот же комплекс минералов, что и для выноса рек, состоящий, как упомянуто выше, главным образом из эпидота, цоизита, роговой обманки, слюды и так называемых «устойчивых минералов» (дистена, граната, турмалина), находящихся в подчиненном количестве. Несколько отличается зона, примыкающая к о-ву Возрождения. Здесь роговая обманка почти полностью исчезает, а количество граната и сфена возрастает. В легкой фракции присутствует главным образом кварц, хорошо окатанные зерна которого часто заключены в «железистую рубашку».

Зона, примыкающая к о-ву Толмачева, также выделяется некоторым своеобразием минералогического комплекса. Здесь возрастает содержание турмалина до 10%, ставролита до 8%, дистена до 12%. Роговая обманка и слюда исчезают полностью. В легкой фракции преобладает хорошо окатанный кварц.

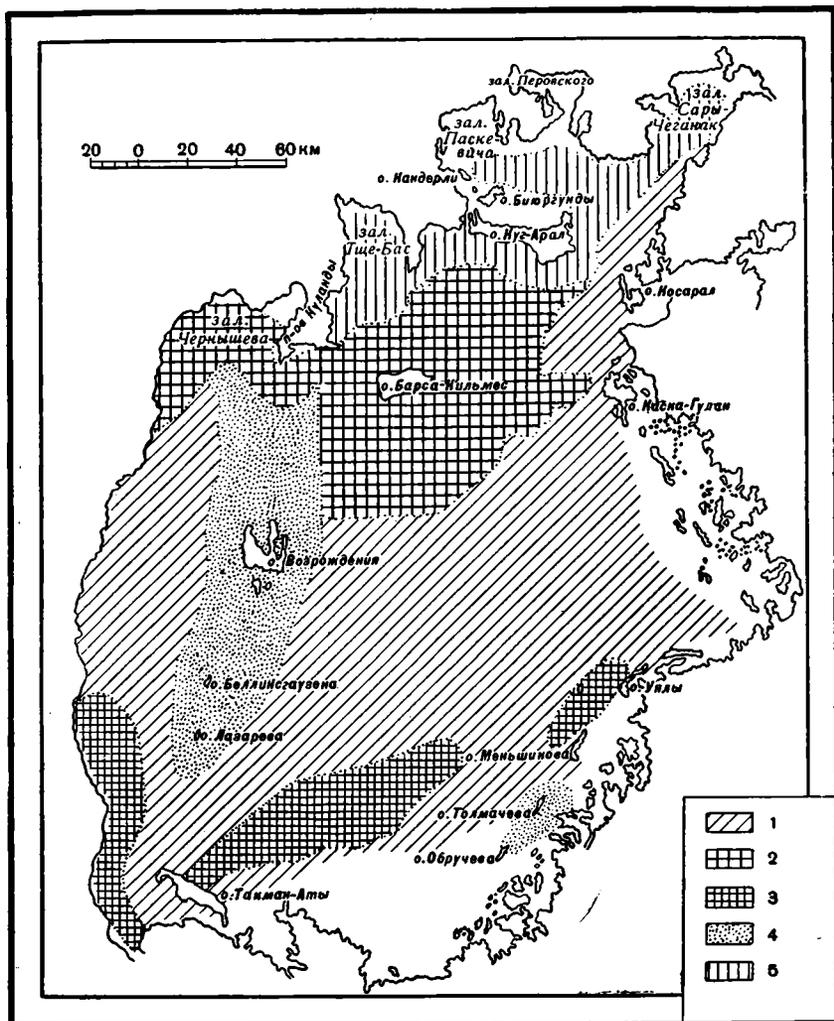
Таким образом, рассмотрев весь материал, представляется возможным выделить в донных осадках Аральского моря следующие пять комплексов характерных минералогических ассоциаций:

- 1) роговообманково-эпидотовый;
- 2) роговообманково-эпидотовый, обогащенный слюдистым материалом;
- 3) роговообманково-эпидотовый с глауконитом в легкой фракции;
- 4) комплекс «устойчивых» минералов (гранат, дистен, ставролит, турмалин);
- 5) комплекс «устойчивых» минералов с глауконитом в легкой фракции.

Приходится сожалеть, что недостаточное количество имеющегося у нас материала не позволяет дать полную и предельно точную характеристику минералогического состава донных осадков всех участков моря. Материал, которым мы располагаем, дает возможность только подметить некоторые закономерности, на которых мы и считаем необходимым остановиться.

Общая картина разносо терригенного материала связана, повидимому, с существующими в Аральском море течениями. Струя аму-дарьинской воды следует вдоль западного берега моря и с восточной стороны о-ва Возрождения. Соответственно мы наблюдаем на карте минералогического состава осадков (фиг. 11) роговообманково-эпидотовый комплекс минералов, характерный для вносимого рекой материала. Течение заходит в зал. Чернышева, а после выхода из него, минуя северные заливы, прижимается ближе к северным берегам о-ва Барса-Кельмес и смешивается с водами,

выходящими из Сыр-Дарьи. По пути следования течения мы всюду отмечаем наличие одного и того же комплекса минералов. Северные заливы моря получают значительную часть материала благодаря размыву берегов, сложенных третичными и меловыми породами. Очевидно глауконит, обнаруженный в осадках названных заливов, является переотложенным минералом именно из этих береговых пород, в которых петрографическое



Фиг. 11. Карта минералогического состава донных осадков Аральского моря.

1 — роговообманново-эпидотовый комплекс; 2 — роговообманново-эпидотовый комплекс с глауконитом в легкой фракции; 3 — роговообманново-эпидотовый комплекс, обогащенный слюдой; 4 — комплекс «устойчивых» минералов; 5 — комплекс «устойчивых» минералов с глауконитом в легкой фракции.

исследование показало наличие глауконита. Решить вопрос о происхождении комплекса «устойчивых минералов» в этих заливах, без детальных минералогических анализов коренных отложений северных побережий Аральского моря, трудно.

Минералогический состав береговых пород Приаралья довольно близко отвечает минералогическому составу изученных нами осадков северных

заливов моря. Роговая обманка почти полностью отсутствует, возрастает роль силлиманита, турмалина и дистена. Общее процентное содержание тяжелой фракции невелико, а в легкой фракции появляется глауконит. Можно допустить, что в связи с значительной абразией северных берегов моря осадки заливов обогащаются комплексом минералов разрушающихся пород, в то время как круговое течение, существующее в море, почти не заносит в эту зону материала выноса рек.

В зал. Чернышева глауконит поступает из береговых толщ в терригенную часть осадков, но одновременно в тяжелой фракции присутствует комплекс минералов, свойственных выносу рек, в частности Аму-Дарья. Это вполне естественно, так как основная струя течения заходит в зал. Чернышева и, следовательно, приносит в больших количествах материал, поступающий в Аральское море речным путем. Зона, примыкающая к о-ву Возрождения, остается почти не захваченной течением, и соответственно здесь наблюдается иной комплекс минералов, лишенный роговой обманки. Тяжелая фракция в этих песчаных осадках резко падает до 0,5%. Очевидно, происходит обогащение осадков кварцем. Аналогичная картина наблюдается у о-ва Толмачева, где сильно повышается процентное содержание такого минерала, как турмалин, и полностью исчезают роговая обманка и слюда.

Выделенная нами зона осадков, обогащенных слюдой, отвечает зоне тонких илов приустьевых пространств Аму-Дарья. Здесь, очевидно, происходит садка тонкого слюдистого материала одновременно с илистыми частицами. Два языка этой зоны соответствуют двум ветвям течения. Следует отметить, что в недалеком прошлом (40—50 лет тому назад) Аму-Дарья несла в Аральское море свои воды по протокам Улькун-Дарья и Яны-Су, находящимся несколько восточнее современных протоков (Берг, 1908). Этим, вероятно, и объясняются характерные тонкие осадки дельты, обнаруженные к северо-западу от о-ва Толмачева.

Причина садки тонкого материала в непосредственной близости от дельт разобрана выше. Проведенные исследования даже на современном, далеко не совершенном этапе изучения минералогического состава донных осадков Аральского моря показывают очень тесную связь разноса отдельных минеральных видов с гидродинамическими условиями водоема. Это обстоятельство часто упускается авторами при попытке установить минералогический состав древних пород и воссоздать палеогеографическую картину прошлого. Безусловно прав Л. В. Пустовалов (1947), когда он говорит о необходимости помнить о всей породе в целом, а не увлекаться только фракциями определенной размерности, независимо от того, к какому типу породы она принадлежит. Однако вывод Л. В. Пустовалова, что «по мере перехода от грубозернистых фаций к мелкозернистым (т. е. по ходу нормального осадочного процесса) должен соответственно меняться и минералогический состав кластолитов», несколько схематичен и не совсем отвечает сущности вопроса. Каждый водоем, обладающий по своим специфическим особенностям определенным механизмом седиментации, будет, по видимому, способствовать созданию того или иного минералогического комплекса донных осадков, часто не зависящих от механического состава породы.

На примере нашей работы видно, что пески предустьевых пространств, пески зал. Сары-Чеганак или пески, залегающие у о-ва Возрождения, характеризуются различными комплексами минеральных видов, в зависимости от характерных особенностей водоема, связанных с его гидродинамикой и составом окружающих берегов. С другой стороны, слюдистые минералы бесспорно тяготеют к более тонким осадкам (глинам и тонким алевритам), расположенным на небольшом расстоянии от дельты. В связи с высказанными положениями совершенно понятным становится сходство

в общих чертах составленной нами минералогической карты с картой типов пород и в то же время некоторое существенное их отличие. Такое же сходство наблюдается с картой цветности, демонстрирующей разнос вносимого реками материала по площади моря. Проведенная нами небольшая работа лишней раз подчеркивает существенную необходимость изучения вопросов, связанных с седиментацией, на примере различных современных водоемов.

4. О цвете донных осадков Аральского моря как показателе разноса терригенного бескарбонатного материала

Впервые сведения о различной окраске донных осадков Аральского моря были даны в работах К. Гильзена (1911), М. Сидоренко (1911) и в обширной монографии Л. С. Берга (1908). Эти авторы различают черный, серый и светлорыжий цвет илов и песков, покрывающих дно Аральского моря. Они указывают, что окраска донных отложений очень неустойчива и по истечении некоторого времени при высыхании осадка изменяется в сторону значительного посветления. Высохшие илы Аральского моря, по данным К. Гильзена, большей частью светлосерого цвета, некоторые с голубоватым или с желтоватым оттенками. В южной части моря К. Гильзен отмечает два образца, которые после высыхания приобрели фиолетовый цвет. В более поздних работах А. Л. Бенинга (1935), В. П. Зенковича (1947) и Г. В. Никольского (1940), посвященных грунтам Аральского моря, мы находим только ссылки на предыдущих исследователей, отмечающих изменение окраски грунта.

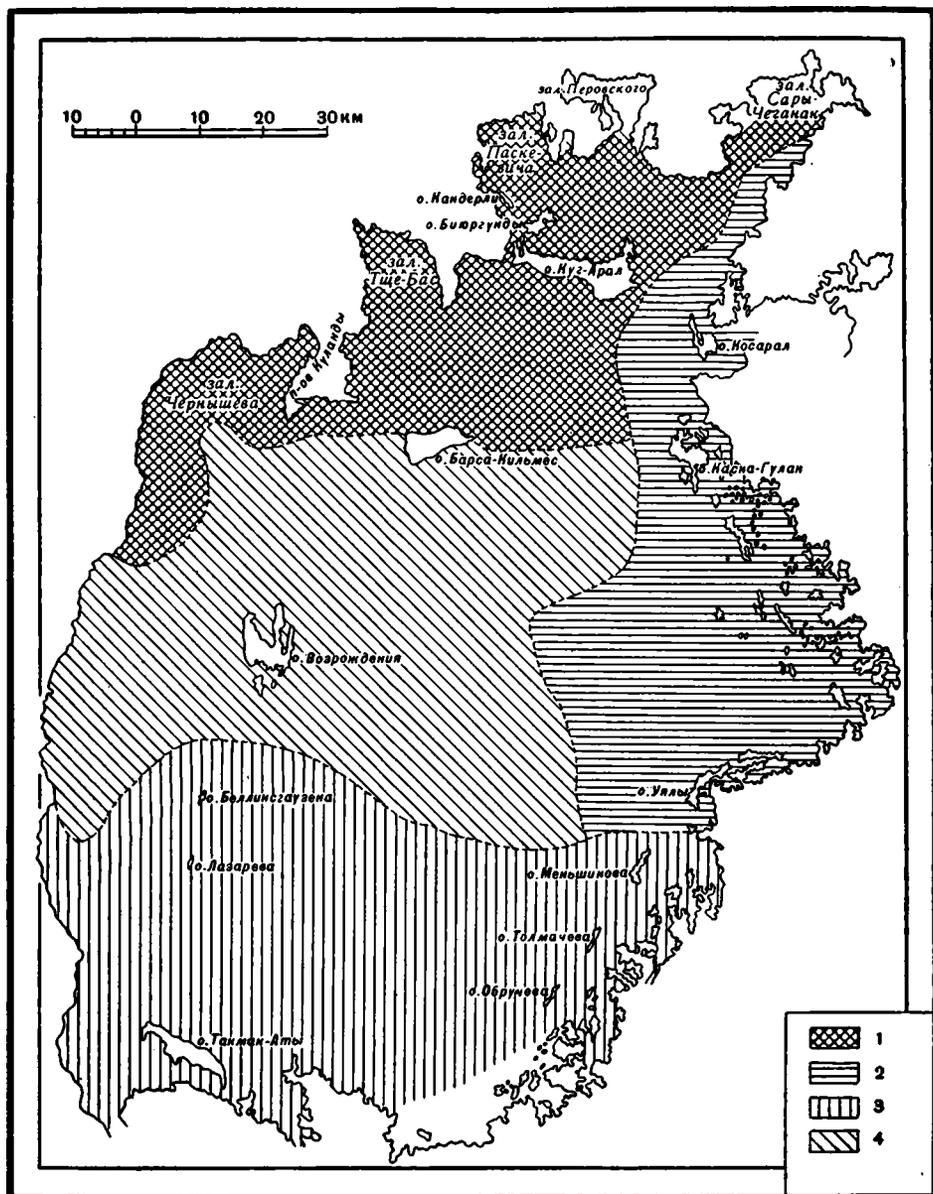
Собранный нами материал донных осадков Аральского моря имел в свежем состоянии коричнево-бурый, темносерый и черный цвет. Помимо этого, у осадков более северных пунктов наблюдались некоторые зеленоватые оттенки. Основная площадь дна моря покрыта темносерыми осадками (мергелями, глинами и алевролитами). Черные илы находятся в зал. Чернышева и в ряде пунктов, расположенных у северных побережий зал. Сары-Чеганак и у восточного побережья (зал. Бугунь, заливы у о-ва Уялы). Коричневая окраска отмечена нами во влажных образцах в зонах дельт обеих рек.

Однако после высыхания образцы оказались совершенно других тонов и представляли довольно пестро окрашенные отложения. В мергелях, глинах, алевролитах и песках отмечены четыре основных тона: желтовато-бурый, красновато-бурый, зеленоватый и светлосерый. В песках названные оттенки выражены слабее; обычно пески сохраняют желтовато-серый цвет, хотя встречаются и разности, окрашенные в указанные тона.

На составленной нами карте цветности донных осадков моря (фиг. 12) четко выделяются как материал, вносимый Сыр-Дарьей и имеющий желтовато-бурый оттенок, так и аму-дарьинские осадки с красновато-бурым оттенком. Эти тона прослеживаются соответственно на довольно большом расстоянии от дельт, причем аму-дарьинский материал следует как бы двумя рукавами на северо-восток и на запад, а сыр-дарьинский круто заворачивает к югу. Влияние выноса р. Аму-Дарьи на северо-восток прослеживается вплоть до широты о-ва Меньшикова.

В центральных частях бассейна указанные оттенки становятся более слабыми, так как повышенная карбонатность отложений, в связи с незначительным приносом сюда терригенного материала, придает им светлый тон. Однако некоторые признаки того или иного оттенка удается различить в ряде пунктов. Светлыми оттенками отличаются высококарбонатные осадки, слагающие западную глубоководную зону. Отложения северных заливов и всей северной части моря, включая район к северу от о-ва Барса-Кельмес, характеризуются, как указывалось при описании типов донных

осадков, зеленым цветом своих отложений, почти одинаково интенсивным в глинистых, алевритовых и песчаных разностях. Интересна окраска осадков зал. Сары-Чеганак. Этот залив как бы разделен вдоль на две части:



Фиг. 12. Карта цветности донных осадков Аральского моря.

1 — осадки зеленоватые; 2 — осадки желтовато-бурые; 3 — осадки красновато-бурые; 4 — осадки светлосерые.

с зелеными отложениями, тяготеющими к северным побережьям и к о-ву Куг-Арал, и желто-бурыми отложениями дельты.

Такое проявление природной окраски аральских грунтов связано, очевидно, с окислением присутствующего в них гидротроилита, ничтожная примесь которого достаточна для полной маскировки натурального цвета

осадков, зависящего от характера вносимого в водоем материала. Сыр-Дарья вносит взвешенные вещества, имеющие желтовато-бурую окраску, Аму-Дарья дает красновато-бурые осадки, возможно вследствие больших количеств каких-либо марганцевых соединений. Зеленая окраска осадка заливов всей северной части моря связана с разрушением палеогеновых толщ, слагающих северное побережье и имеющих в большинстве случаев зеленый цвет. Можно предполагать, что такое окрашивание зависит от присутствия в этих отложениях глауконита. Светлосерые осадки центральной части водоема и западных глубоководных котловин определенно подчеркивают сравнительно незначительный принос в эти районы терригенного материала и относительно высокое накопление в них карбонатов.

Таким образом, руководствуясь цветом вносимого материала, удалось проследить, хотя и несколько приближенно, зоны влияния выноса рек и абразии берегов на характер осадконакопления в водоеме.

Глава IV

КАРБОНАТНОСТЬ ДОННЫХ ОСАДКОВ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

При изучении процессов современного осадкообразования одним из интереснейших вопросов для геологов-осадочников является карбонатность донных осадков. Имея дело с водоемами определенной и гидрохимического и гидрологического режима, можно попытаться уяснить себе те процессы, которые способствуют карбонатообразованию в настоящее время, и, при учете историко-геологических особенностей прошлого, те процессы, которые приводили к образованию карбонатных осадков в древних толщах.

Осадки Аральского моря обладают высоким содержанием карбоната кальция, попадающего в водоем как в форме взвеси, так и в растворенном состоянии. Являясь замкнутым водоемом аридной зоны, Аральское море имеет свои специфические особенности, которые сказываются на распределении вносимого в него материала. Если разобрать карбонатный баланс стока и последующего осаждения, можно выявить отдельные генетические типы карбоната и оценить ряд факторов, контролирующих распределение карбоната по площади моря.

1. Питание Аральского моря карбонатным материалом и карбонатная характеристика аральской воды

Первые указания, относящиеся к содержанию CaCO_3 в донных осадках Арала, мы находим в монографии Л. С. Берга (1908). Некоторые предположения об источнике карбонатного материала в грунтах высказывает М. Сидоренко (1911), который отводит наибольшую роль раковинам моллюсков. В. П. Зенкович (1947) рисует чрезвычайно схематическую картину карбонатности аральских грунтов, указывая на максимальное содержание CaCO_3 в осадках центральной части моря и предполагая усиленную здесь хемогенную их садку.

Наиболее целесообразно начать изучение вопроса карбонатности донных осадков с попытки уяснения карбонатного баланса моря, т. е. постараться оценить роль карбонатного материала, вносимого в различных его формах в водоем. Естественно предположить, что главным путем поступления карбоната в Аральское море являются впадающие в него реки. Как показывал неоднократно в своих работах Н. М. Страхов (1946), путь миграции карбоната в воде двойкий: во-первых, он несется в растворенной ионной форме и, во-вторых, — в тонкодисперсном состоянии в виде мути.

Обе эти формы наблюдаются в реках Аму-Дарье и Сыр-Дарье в определенных соотношениях.

Анализы показали, что в мути Аму-Дарьи содержится 16,06% CaCO_3 . Близкую к этой цифру мы встречаем в анализах К. Шмидта, приведенных в работе Л. С. Берга (1908). Всего за многоводный год в дельту Аму-Дарьи поступает твердого стока 147 млн. т и карбоната в нем — 23 млн. т а в маловодный год — твердого стока 79,9 млн. т и карбоната в нем — 13,2 млн. т. Чтобы правильно оценить количество карбоната, попадающего непосредственно в Аральское море, следует учесть особенности огромной аму-дарьинской дельты. Она создает своеобразный отстойник, и в ее камышах задерживается громадное количество взвешенного материала, а следовательно и карбонатов. Учитывая это, находим, что общий приток взвешенного и растворенного карбоната, вносимого в Аральское море Аму-Дарьей, составляет $4,09 + 3,1 = 7,19$ млн. т.

Аналогичный подсчет был произведен нами для выноса Сыр-Дарьи. Обладая карбонатностью мути в 21%, Сыр-Дарья вносит в свою дельту 2,9 млн. т взвешенного карбоната кальция. Точных данных об осаждении взвешенного материала в дельте Сыр-Дарьи не имеется, но можно считать что примерно 10% всего вносимого материала задерживается в сыр-дарьинской дельте и, следовательно, в Аральское море попадает только 2,6 млн. т взвешенного CaCO_3 .

Растворенного карбоната в сыр-дарьинскую дельту поступает, согласно нашим расчетам, 1,7 млн. т в год. Допуская, что 3% воды испаряется, указанное количество следует уменьшить. Таким образом, непосредственно в Аральское море вносится Сыр-Дарьей 1,6 млн. т растворенного CaCO_3 , а общий приток по этой артерии взвешенного и растворенного карбоната составит $2,6 + 1,6 = 4,2$ млн. т.

Суммируя количества различных форм карбоната, ежегодно поступающего по обеим рекам, получаем: $x = a + b + c + d$, где a и b — количества соответственно взвешенного и растворенного CaCO_3 , вносимого Аму-Дарьей в море, c и d — количества соответственно взвешенного и растворенного CaCO_3 , вносимого Сыр-Дарьей в море.

$$x = 4,09 + 3,1 + 2,6 + 1,6 = 11,39 \text{ млн. т,}$$

причем отношение $\frac{a+c}{x \cdot 100} = 58,4\%$.

Из приведенных расчетов следует, что вносимое реками количество взвешенного CaCO_3 почти в 1,5 раза превышает количество карбоната, мигрирующего в растворенной ионной форме. Аральское море получает значительный процент CaCO_3 в виде твердой фазы, которая подчиняется в дальнейшем всем законам механического осаждения. В этом отношении из изученных в настоящее время водоемов (Балхаш, Каспий, Черное море) Аральское море является уникальным, так как в остальных бассейнах в карбонатах резко преобладает растворенная ионная форма.

График содержания различных форм карбоната в воде рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи по отдельным месяцам иллюстрирует колебания, которым подвергаются соотношения взвешенного и растворенного CaCO_3 . Естественно, что в холодные зимние месяцы кривая растворенного карбоната значительно выше, чем взвешенного, максимум же CaCO_3 , находящегося в твердой фазе, падает на июль — август.

Помимо вносимой реками основной массы карбонатов, некоторое количество поступает, очевидно, от разрушения берегов, сложенных карбонатными породами на довольно значительном протяжении. Поступает карбонатный материал и с островов, но при небольшой их площади это количество не должно быть значительным.

Восточные и северо-восточные ветры, повидимому, не приносят с собой карбонатов, так как исследованные нами барханы Кызыл-Кумов и северных пустынных районов содержат менее 0,5% CaCO_3 . Что касается ветров западных румбов, то здесь не исключена возможность приноса карбонатного материала с плато Усть-Юрта, хотя, к сожалению, это явление, как и два предыдущих, учесть пока не представляется возможным. Наконец, весьма вероятно принос карбонатов в растворенной форме в Аральское море подземными притоками. Незначительные по своему дебиту родники имеются по северному побережью (зал. Тще-Бас) и в некоторых пунктах чинков Усть-Юрта. Имеются данные относительно опреснения моря в восточной части. Однако в общей массе поступающего в море карбонатного материала это количество не должно превышать 1,5—2%. Весь вносимый в Аральское море карбонатный материал поступает в водоем, имеющий определенный гидрохимический режим.

Титрованием аральской воды соляной кислотой во время рейсов были установлены некоторые изменения величины щелочного резерва как в поверхностном слое воды, так и в слое, находящемся в непосредственной близости от дна. Из имеющихся в нашем распоряжении аналитических данных за май — июнь и июль — август 1947 г. майские данные для северной половины моря должны быть забракованы, так как здесь сказывается влияние тающего снежного покрова, который, очевидно, понижает щелочной резерв. В южной половине моря майские анализы воды могут быть условно приняты.

Общая картина распределения щелочного резерва по поверхности моря такова. Наиболее низкое содержание щелочности (2,3—2,6 мг/экв) приурочено к придельтовым пространствам. Полоса низких значений прослеживается вдоль восточного побережья вблизи от берега (здесь мы имеем мало точек и проводим границу условно). Аналогичные значения щелочного резерва встречены у берегов п-ова Куланды. Следующие по величине значения щелочного резерва (2,6—2,79 мг/экв.) располагаются в более глубоководной зоне. В зоне мелководья, к югу от п-ова Куланды и в центральной части моря значения щелочного резерва равны 2,8—2,89 мг/экв. Эти же величины встречаются к северу от о-ва Барса-Кельмес и в западной глубоководной котловине. Величина щелочного резерва в 2,9 мг/экв. и более встречается в северных заливах моря — Сары-Чеганак и Паскевича. Те же закономерности прослеживаются на карте, построенной для придонного слоя воды. Таким образом, щелочной резерв в общем растет по направлению от мелководных зон к более глубоководным и, соответственно, от зон с более крупнозернистыми осадками к зонам с мелкозернистыми осадками.

С величиной щелочного резерва тесно связано количество кислорода, так как в зонах интенсивной карбонатной садки увеличивается фотосинтез и, следовательно, выделение O_2 . Эта связь его особенно хорошо заметна на вертикальных разрезах пунктов, где, как правило, увеличение содержания щелочного резерва соответствует уменьшению содержания кислорода и наоборот.

В условиях аральской воды щелочной резерв ко дну водоема обычно уменьшается. Однако во всех случаях изменения щелочного резерва его значения не спускаются ниже 2,3—2,2 мг/экв. Это значит, что карбонат кальция в Аральском море повсеместно пересыщает воду. По данным опытов выяснилось, что вода, отвечающая по своему составу и температуре аральской, находится в стадии насыщения при содержании 1,24 мг/экв. растворенного CaCO_3 . Таким образом, пересыщение аральских вод CaCO_3 достигает 2—2,5 раз.

Величина рН до наших исследований определялась равной 7,3—7,5. Однако двухлетние наблюдения за изменением рН на Аральском море дают колебания в пределах 8—8,2; с глубиной величина рН несколько пони-

жается — до 7,3—7,8 (наблюдается в западном глубоководном бассейне). Учитывая насыщение и даже пересыщение аральской воды карбонатами, естественно предположить, что весь поступающий в водоем карбонат в конечном итоге в той или иной форме должен перейти в осадок. Поэтому в первую очередь пришлось заняться изучением тех морфологических форм карбонатов, в которых они встречаются в донных осадках моря.

2. Морфологические и генетические типы карбонатов в осадках Аральского моря

Химические анализы показали, что во вносимой реками мути, так же как и в донных осадках, карбонат присутствует главным образом в виде CaCO_3 ; на долю же MgCO_3 падает лишь незначительная его часть — от 0,5 до 3%.

В одном только случае анализ осадка обнаружил содержание MgCO_3 в 4,88%. Этот образец, равно как и содержащий 3% MgCO_3 , были проверены термическим анализом на содержание в нем доломита. Однако кривая, полученная при нагревании, не показала характерных для доломита точек. Изучение карбонатного вещества в иммерсионных жидкостях по всем образцам осадков, собранным во время рейсов, также не выявило наличия в них доломита.

Очевидно, незначительную примесь MgCO_3 , содержащегося в карбонатном веществе осадков, можно объяснить приносом в форме взвеси реками, с последующим сохранением этой примеси в донных отложениях Аральского моря. Это обстоятельство дает нам право при всех дальнейших рассуждениях, говоря о карбонатности, понимать под этим только CaCO_3 .

Всего в осадках Аральского моря можно установить три формы карбоната кальция: пелитоморфный карбонат, оолиты, биогенный карбонат.

Приводим характеристику каждого из выделяемых типов.

а) Пелитоморфный карбонат

Микроскопическое исследование шлифов, изготовленных из мергелей, глин и алевроитов, слагающих дно Аральского моря, показало, что карбонат обычно бывает диффузно рассеян среди массы глинистого вещества, состоящего в основном из гидрослюд, и морфологически представлен агрегатными скоплениями зерен неправильной формы или отдельными лепешкообразными кристаллами размером от 0,001 до 0,01 мм. Реже встречаются более крупные кристаллы величиной от 0,025 до 0,05 мм. Часто наблюдается как бы обрастание тонкозернистой карбонатной массы вокруг терригенных частиц кварца, полевого шпата или же обломков карбоната.

Однако при подобных исследованиях оставалось невыясненной форма отдельных карбонатных зерен, имеющая значение для правильной трактовки пелитоморфного CaCO_3 в донных осадках моря. Для решения этой задачи нами было произведено микроскопическое исследование специально изготовленных порошкообразных препаратов. Осадок взбалтывался с водой и капля мути наносилась на предметное стекло, высушивалась и затем изучалась в иммерсионных жидкостях. В результате подобного просмотра почти всех имеющихся у нас образцов удалось установить следующие формы пелитоморфного карбоната в аральских грунтах: а) обломки кристаллов лепешкообразной формы, б) «иглочки» чечевицеобразной формы, в) сросшиеся кристаллы лепешкообразной формы, г) ромбоэдры, д) сферолиты.

К двум первым формам относится основная масса карбонатного вещества осадков. Обломки кристаллов лепешкообразной формы представляют собой под микроскопом овальные или почти круглые лепешки; иногда

очертания обломков приобретают несколько причудливую форму. Размеры их колеблются от 0,003 до 0,015 мм (табл. VI, фото 11). «Иголки» напоминают в разрезе удлинённую чечевицу. Повернутые на 90°, они становятся совершенно плоскими и изотропными. Размер отдельных иголок колеблется от 0,0028 до 0,008 мм (табл. VI, фото 12).

Сросшиеся кристаллы представляют собой обычно две или больше «иголки», сросшиеся вместе наподобие «лепестка» или «звездочки». Размер — до 0,01 мм (табл. VII, фото 13). Ромбоэдры карбоната обычно довольно крупные, до 0,02 мм. Судя по измеренному показателю преломления, они принадлежат кальциту (табл. VII, фото 14). Сферолиты имеют небольшие размеры — 0,002—0,003 мм; представляют собой округлые тельца, поляризующие в серых тонах и обладающие довольно ясной дисперсностью. В скрещенных николях хорошо заметен крест.

Изучение под микроскопом мути, вносимой в Аральское море Аму-Дарьей и Сыр-Дарьей, показало, что подавляющая масса карбонатного вещества, находящегося во взвешенном состоянии в реке, состоит из обломков лепешкообразной формы. Обломками сложен также карбонат осадков, находящихся в непосредственной близости от устьев рек и в песчаной полосе восточного побережья. Мы склонны считать, что этот карбонат является по своему происхождению обломочным, вносится в водоем реками и отлагается по ходу морских течений. Более мелкие обломки карбоната, очевидно, выносятся в открытые части моря. Возможно, что описываемый карбонат частично диагенетический, образующийся при перекристаллизации карбоната осадков. «Иголки» чечевицеобразной формы, несколько напоминающие наши, встречены в карбонате Багамской отмели, где они образовались, очевидно, химическим путем (Thorp, 1935). Такие же «иголки» встречены Г. И. Бушинским в осадках оз. Балхаш, карбонат которых также достоверно химического происхождения. Наконец, в ряде опытов по искусственной садке CaCO_3 из насыщенных растворов карбонат выпадал в той же форме «иголок», часто сросшихся по две-три штуки. Все эти данные позволяют с большим вероятием приписывать игольчатым карбонатным зернам Аральского моря химическое происхождение.

На составленной нами карте распределения морфологических типов карбонатов выделены зоны с преобладанием обломочного карбоната в осадках, зоны преимущественно хемогенного карбоната, зоны их равных (приблизительно) количеств и области распространения оолитов, речь о которых будет ниже.

Как следует из карты (фиг. 13), северо-восточная и юго-западная части моря, т. е. предустьевые участки рек Сыр-Дарья и Аму-Дарья, являются зонами преобладания в донных отложениях карбоната обломочного типа. Зоны эти соединены между собой узкой полосой вдоль восточного берега моря. В западной части моря наблюдаются два обособленных участка с преобладанием в донных осадках обломочного карбоната, которые тянутся короткими языками от мыса Ак-Тумсук, сложенного известняками мелового возраста, и мыса Кара-Куш, где береговая полоса занята оползнями пород сармата, представленных также известняками.

На основной площади моря — в его центральной части и в западном более глубоководном участке — в донных отложениях преобладает хемогенный карбонат, представленный кристаллами чечевицеобразной формы. Зоны равного содержания в донных осадках того и другого морфологического типа карбонатов протягиваются линзообразными участками, вытянутыми с юго-запада от приустьевой части Аму-Дарья к северо-востоку, к устью Сыр-Дарья. Несколько изолированно от этой основной, правда прерывистой полосы равного содержания двух типов карбоната в осадках, находится вытянутое с юго-востока на северо-запад пятно к западу от о-ва Уялы и зона в Малом море. К северу и северо-западу от о-ва Возро-

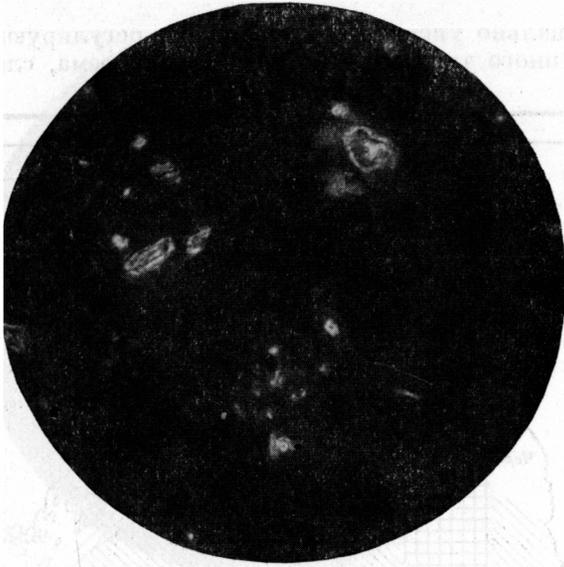


Фото 11. Обломки карбоната лепешкообразной формы (увел. 590, николи +).

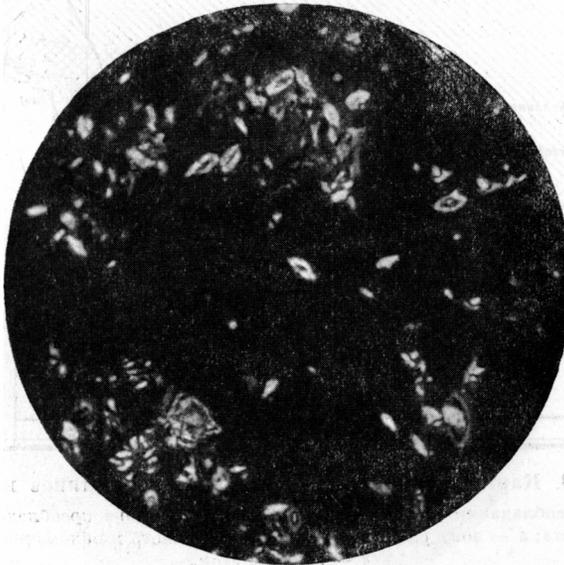
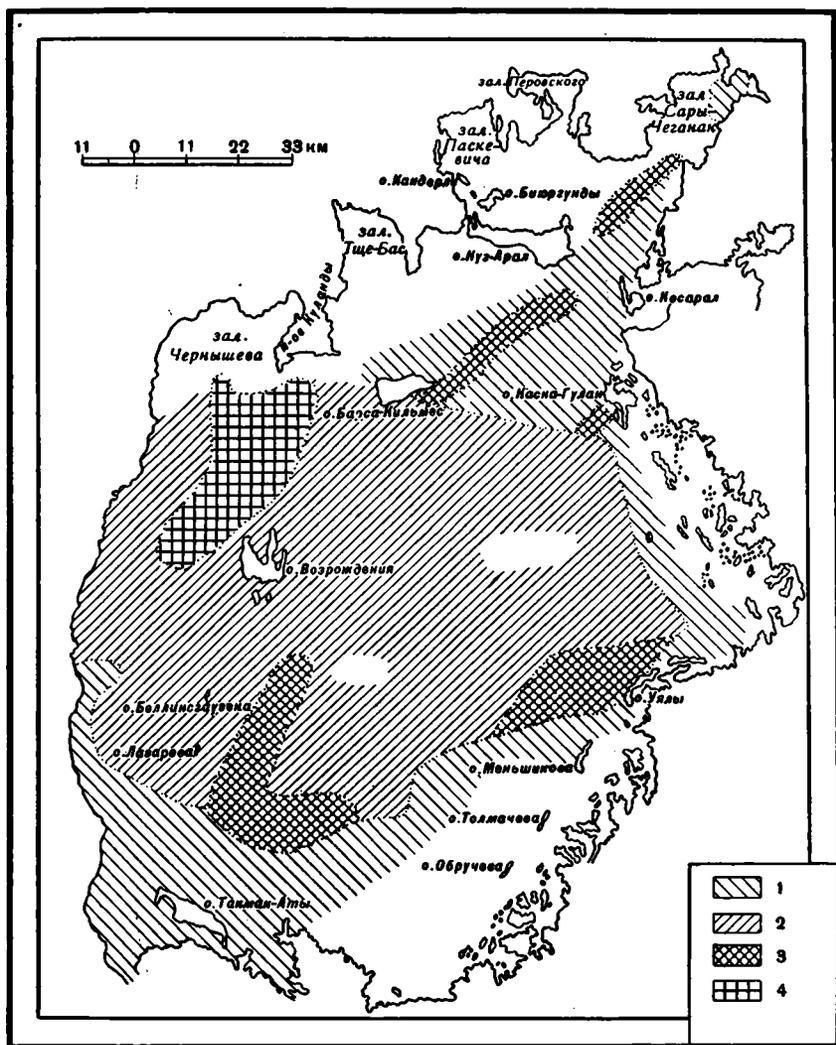


Фото 12. Иголочки карбоната (увел. 590, николи +).

ждения расположена довольно значительная по размерам площадь осадков, в которых преобладающим морфологическим типом карбоната являются оолиты.

Чтобы правильно уяснить себе процессы, регулирующие распределение того или иного типа карбоната по дну водоема, следует вспомнить



Фиг. 13. Карта распределения морфологических типов карбоната.

1 — зона преобладания обломочного карбоната; 2 — зона преобладания хемогенного карбоната; 3 — зона равных количеств хемогенного и обломочного карбоната; 4 — зона оолитов.

приведенные выше конкретные гидрохимические условия Аральского моря. Воды Аральского моря пересыщены CaCO_3 в 2—2,5 раза. Отсюда логично предположить, что как только речные воды Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи, обладающие щелочным резервом от 2,3 до 2,4 мг/экв., попадают в гидрохимические условия Аральского моря, немедленно же начинается садка принесенного речными водами в ионной форме CaCO_3 . Совершенно исключаются причины, которые препятствовали бы уходу ионной формы CaCO_3 из раствора

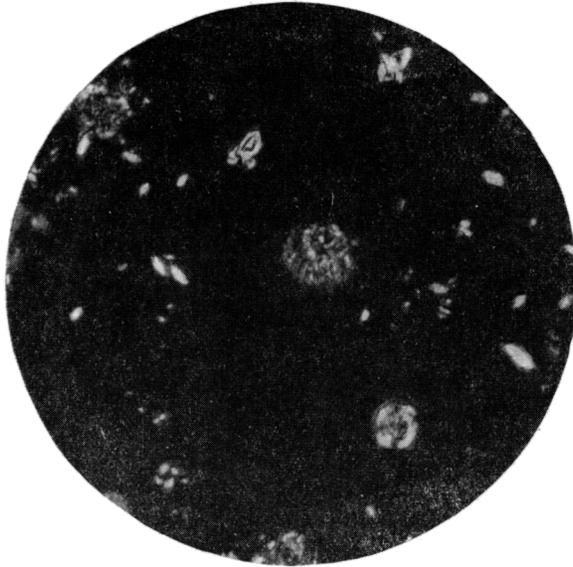


Фото 13. Сросшиеся кристаллы, агрегатные скопления и сферолиты карбоната (увел. 590, николи +).



Фото 14. Ромбоэдр карбоната (увел. 590, без анализатора).

непосредственно в зоне соприкосновения речной и морской воды. Наоборот, повышенная мутность воды в этой зоне и, следовательно, наличие центров кристаллизации, ее мелководность, а отсюда и интенсивный прогрев создают именно здесь благоприятные условия для преобразования ионной формы CaCO_3 в ее твердую фазу.

Действительно, в зоне дельты и вблизи берегов мы встречаем в алевритовых и глинистых осадках своеобразные образования CaCO_3 , покрывающего в виде тонких корочек терригенные частицы. Однако, как бы интенсивно не происходила садка растворенного в морской воде карбоната кальция в области дельты и прибрежной части моря, все же преобладающими компонентами здесь будут терригенный материал и обломочный карбонат.

Совершенно обратная картина наблюдается в центральной и западной частях моря. Обломочный материал, в том числе и обломочный карбонат, поступает сюда в гораздо меньшем количестве, гидрохимические же условия сохраняются примерно те же, т. е. должно происходить выпадение CaCO_3 из раствора. Но здесь резко меняется мутность воды, цвет которой достигает по шкале Фореля величины 2—3 вместо 14—15 в дельтовых зонах. Прозрачность по диску Секки соответственно увеличивается от 1—2 м до 22 м. Центры кристаллизации здесь практически отсутствуют. Совершенно не встречается в этих районах моря в донных осадках пелитоморфный карбонат, облегающий тонкой корочкой минеральные частицы. С увеличением глубин изменяется и температурный режим, что не может не сказаться на выпадении CaCO_3 в осадок.

Все изложенное подтверждает, что абсолютное количество выпадающего в осадок карбоната кальция в центральной и западной частях моря значительно меньше, чем в предустьевых и в прибрежных его частях. Однако еще гораздо более ограниченное поступление сюда обломочного карбоната кальция создает обманчивую картину, будто именно здесь происходит преобладающее выпадение CaCO_3 из раствора. Как известно из работы Н. М. Страхова (1948₂), всякий компонент, выпавший из раствора (карбонат, железо, марганец и др.) и получивший определенную размерность, подчиняется общим законам осаждения, связанным с гидродинамикой моря. Размерность хомогенного карбоната несколько меньше обломочного, следовательно, еще более понятным становится приуроченность его к более глубоководным зонам, т. е. к зонам осаждения тонкого материала.

При дальнейшем рассмотрении карты распределения морфологических типов карбоната довольно отчетливо видна некоторая аналогия ее с картой донных осадков Аральского моря (фиг. 3). На последней выход течений рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи в море представлен «языками» пелитовых отложений, протягивающихся по фарватеру основных струй. На карте морфологических типов карбоната влияние гидрологических условий сказывается в появлении в придельтовых зонах языкообразных участков, характеризующихся примерно равным содержанием обломочного и хомогенного карбонатов. Вклинивание подобных «языков» в зоны распространения обломочного карбоната говорит об усилении осаждения в этих областях тонкого химического CaCO_3 , образовавшегося, вероятно, в предустьевых зонах. Мощный речной поток, испытывая подпруживание со стороны моря, осаждает вместе с пелитовым материалом и хомогенный карбонат, что создает, наряду с усиленным поступлением обломочного CaCO_3 , картину примерно равных их количеств. Благодаря очень крутому склону западного берега, а также хорошо выработанной береговой линии, вдоль него почти не происходит отложения кластического материала, за исключением небольших выдающихся в море участков (мыс Ак-Тумсук и мыс Кара-Куин). На карте донных осадков у мыса Кара-Куин наблюдаются отложения песков, а на карте морфологических типов преобладание тер-

ригенного карбоната приурочено к траверзу вышеуказанных мысов на западном берегу.

В заключение необходимо еще остановиться на генезисе карбонатов, обнаруженных в мелководной зоне, которая протягивается от п-ова Куланды до о-ва Такмака. Обозначенная зона характеризуется преобладанием хемогенного карбоната в виде «иголочек» и срощихся «звездочек»; последние распространены здесь довольно широко. В северной части реки имеет место образование оолитов. Отмечается несколько пониженная щелочность этого участка по сравнению с окружающими более мелководными зонами. По всей вероятности, здесь происходит усиленная садка карбоната, поступление же обломочного карбоната относительно невелико, так как течение Аму-Дарьи огибает мелководье с запада и с востока, а площадь разрушения островов, находящихся в этом контуре, сравнительно невелика. Мелководность, а следовательно, и наличие хорошего прогрева и достаточного волнения делают процесс хемогенной садки здесь особенно интенсивным.

б) Оолиты

Оолиты встречаются в нескольких пунктах в районе, расположенном к северу-западу от о-ва Возрождения. До настоящего времени присутствие их в осадках Аральского моря никем не отмечалось. Форма оолитовых зерен весьма разнообразна: наряду с совершенно округлыми или овальными зернами встречаются образования самых причудливых очертаний.

Обычно оолит состоит из ядра, представленного зернами кварца, полевого шпата, мелкозернистого карбоната, обломками раковин или даже целыми раковинами фораминифер. Вокруг этого ядра наблюдается скопление тонкозернистого карбоната, выполняющего все его неровности, а затем следует ряд скорлуповатых оболочек, общее число которых достигает иногда девяти. Нередко встречаются два и больше оолитовых зерна, образования дают обычно крест. Начальные стадии образования оолитов замечены и на других участках моря, но в виде редких зерен терригенного материала или органических обломков раковин с одной оболочкой из тонкозернистого карбоната. Применение хроматической реакции по Файгелю показало, что оолиты состоят главным образом из арагонита.

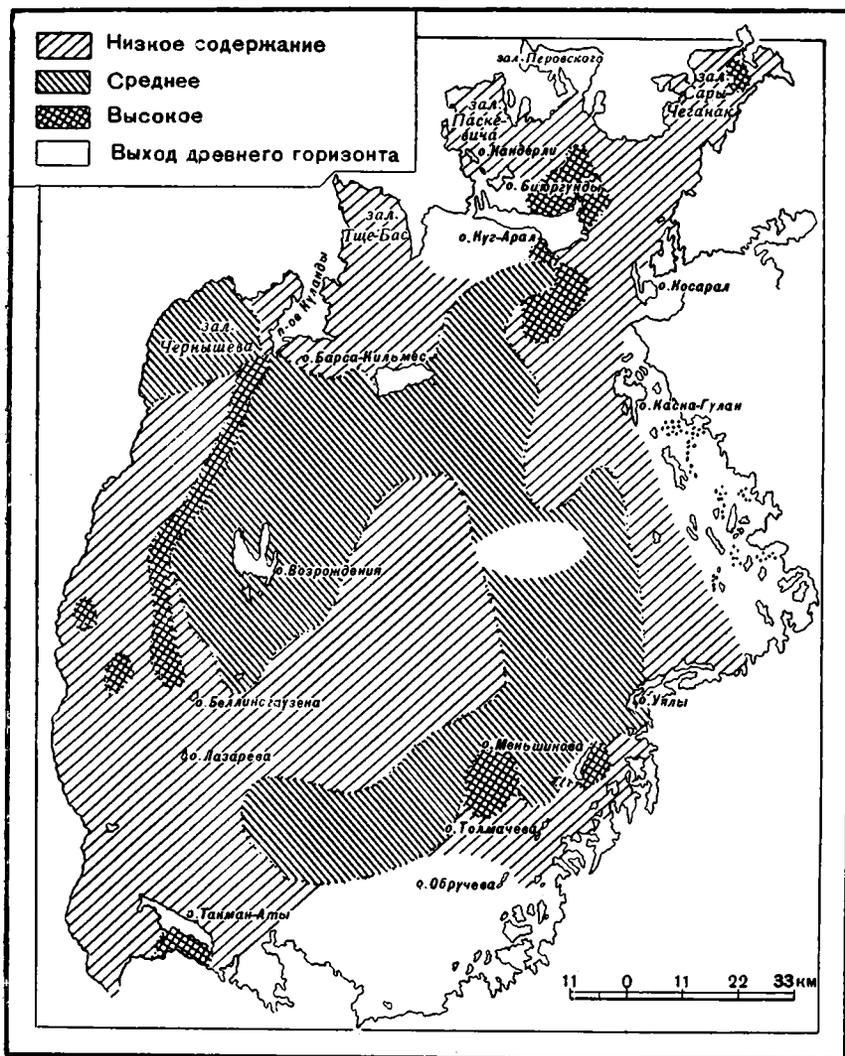
Надо полагать, что в районе, расположенном в северо-западу от о-ва Возрождения, существуют условия благоприятные для образования оолитовых зерен. Некоторое количество кластического материала, возможно, поставляется разрушением пород вдоль береговой линии о-ва Возрождения, а интенсивная садка карбоната связана с разобранными выше особенностями мелководной зоны. Большое значение имеет, очевидно, принос течением более холодных вод западных глубин в прогретую до дна часть водоема.

в) Биогенный карбонат

В осадках Аральского моря биогенный карбонат встречается в виде целых раковин организмов, а также обломков различных размеров, от легко различимых глазом до микроскопических частиц в 0,05 мм. Организмы, строящие свои раковины из карбоната кальция, в Аральском море немногочисленны, а именно: *Ostracoda* — 6 видов, *Foraminifera* — 6 видов, *Mollusca* — 8 видов.

Планктон, выделяющий известь, в жизни Аральского моря имеет весьма небольшое значение, практически приближающееся к нулю. Наибольшую роль в интересующем нас процессе играют, несомненно, моллюски, обладающие довольно крупной карбонатной раковиной.

Известны следующие виды моллюсков, обитающие в водоеме: *Hydrobia pusilla* Eichw., *Theodoxus pallasi* Lind. (*Neretina liturata*), *Dreissensia polymorpha* Pall., *Dreissensia pallasi* Andr., *Dreissensia caspia* Eichw., *Adacna minima* Ostr., *Cardium edule*, *Corbicula fluminalis* Müll. Согласно нашим наблюдениям и данным Бенинга (1935), наибольшую роль в жизни моря играют *Adacna* и *Dreissensia*.



Фиг. 14. Карта распределения раковинного материала по дну Аральского моря.

При микроскопическом описании осадков были введены условные градации для различного содержания раковинного материала: «низкое», «среднее», «высокое». Как видно на прилагаемой карте (фиг. 14), основная площадь моря занята «низким» содержанием раковинного CaCO_3 . Высокое содержание — в большинстве случаев ракушники — распределено по морю небольшими пятнами, тяготеющими главным образом к зоне мелководья вокруг островов и к району, расположенному к северу и к югу от о-ва Куг-Арал.

Для приблизительной количественной оценки указанных градаций была произведена следующая обработка материала: 100 г осадка размучивались в течение суток в дистиллированной воде с добавлением NH_4OH для лучшего диспергирования; затем осадок промывался через сито в 0,25 мм; фракция $> 0,25$ мм, содержащая основной раковинный материал, высушивалась, взвешивалась и в ней, как и в исходной навеске, определялось содержание CO_2 с последующим пересчетом на CaCO_3 . Полученные данные сведены в табл. 16, в которой показано колебание содержания фракции $> 0,15\%$ и видно, что максимальное содержание органического CaCO_3 в высоко раковинных разностях составляет 20—30% от массы осадка.

Для осадков, входящих в градацию — «среднее» содержание раковин, эта величина составляет от 2 до 5%, а входящих в градацию «низкое» — всего 0—2%.

Таблица 16

Содержание органического CaCO_3 в осадках

Название осадка	Условное обозначение количественного содержания раковин	Общая карбонатность (в %)	Содержание фракции $> 0,25$ мм (в %)	Содержание органического CaCO_3 в осадке (в %)	Органический CaCO_3 , % от общей суммы карбонатов
Песок	среднее	10,0	12,2	4,1	40
Песок	»	13,0	7,8	2,3	18
Мергель	»	22,0	5,35	2,96	13
Мергель	»	42,0	9,0	2,5	6
Мергель	»	53,0	3,5	3,2	6
Мергель	»	41,0	2,27	1,65	4
Алеврит	»	16,0	9,1	6,6	41,2
Алеврит	низкое	11,3	1,2	1,1	10
Алеврит	»	21,0	1,5	1,35	6,4
Мергель	»	44,2	1,45	1,19	2,7
Алеврит	»	18,0	1,4	1,26	7
Мергель	»	47,0	1,33	1,05	2,2
Песок	»	33,0	0,9	0,72	2,2
Глина	»	10,6	0,4	0,28	2,6
Алеврит	высокое	17,0	16,8	12,28	73
Алеврит	»	22,0	31,2	16,2	74
Песок	»	—	19,3	16,2	—
Песок	»	44,5	35,4	32,4	72,3

Естественно, что вычисленная величина процентного содержания органического CaCO_3 от общей суммы карбонатов скачет самым прихотливым образом, так как осадки, обладающие небольшой общей карбонатностью, могут содержать сравнительно значительное количество раковин, и наоборот. Этим еще раз подчеркивается, что распределение биогенного CaCO_3 подчиняется своим особым законам, в основе которых лежат максимально благоприятные условия для развития жизни. В обстановке Аральского моря, где отсутствуют физико-химические условия нормального соленого водоёма, биогенный фактор не достигает большой величины и тем самым не затушевывает общей картины распределения карбоната, связанного с законами механического осаждения.

Для оценки роли биогенного карбоната в общем карбонатном балансе моря произведено следующее вычисление: на карте (фиг. 14) определялась

площадь «низкого», «среднего» и «высокого» содержания раковин; в каждой градации подсчитывался среднеарифметический процент содержания раковин и затем методом взвешивания площадей очерченных контурами, определялась величина среднего содержания раковинного материала по площади моря. Полученный результат $x = \sim 3\%$.

Аналогичное вычисление было сделано для определения среднего содержания CaCO_3 для Аральского моря (см. табл. 17). Полученное значение $x_1 = 25,6\%$. Отношение $\frac{x}{x_1}$ составляет $\sim 0,12$. Таким образом, количество раковинного карбоната в общей карбонатности донных осадков Аральского моря составляет около 12%.

Так как при оперировании только фракцией $>0,25$ мм получается заведомое преуменьшение роли раковинного карбоната, следует увеличить цифру 12% не менее чем в 1,5 раза. Тогда раковинный CaCO_3 составит, вероятно, около 18% всех карбонатов (табл. 17).

Таблица 17

Расчет содержания биогенного карбоната в общем карбонатном балансе моря

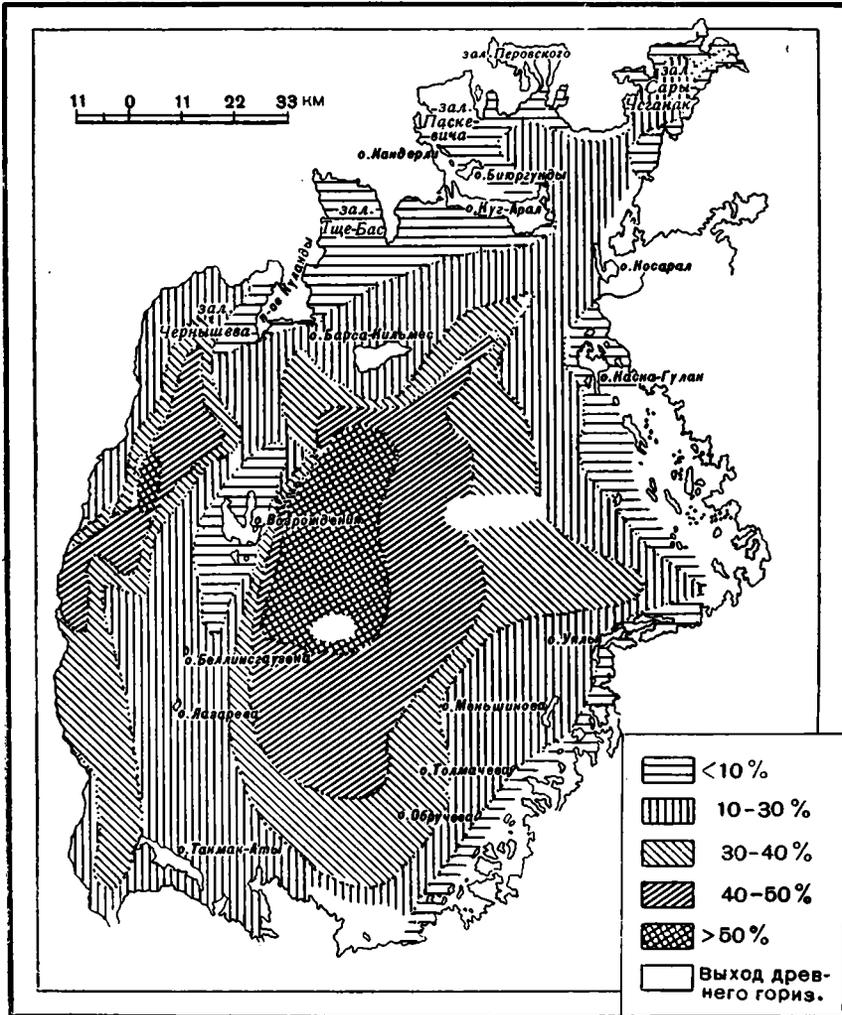
Содержание	Среднеарифметический % карбоната по карте	Вес околтуренных площадей (в г)	Отношение численной площади к взятой за единицу
Раковинный карбонат			
Низкое	0,98	0,8978	9,7
Среднее	3,33	0,5242	5,6
Высокое	19,27	0,0922	1
			16,3
	$x = \frac{(0,98 \times 9,7) + (3,33 \times 5,6) + 19,27}{16,3} = 3,0\%$		
Общая карбонатность			
<10%	6,4	0,4294	4,4
10—30%	22,9	0,6645	6,8
30—40%	34,5	0,3108	3,2
40—50%	41,5	0,2672	2,7
>50%	55	0,0972	1
			18,1
	$x_1 = \frac{(6,4 \times 4,4) + (22,9 \times 6,8) + (34,5 \times 3,2) + (41,5 \times 2,7) + 55}{18,1} = 25,6\%$		

Располагая этими данными и вычисленным балансом стока, можно попытаться дать некоторое заключение о соотношении различных генетических форм карбоната, имеющих в изучаемом водоеме: 1) обломочный карбонат в соответствии с вычисленным балансом стока составит 58—60%; 2) органогенный карбонат — 12—18%; 3) химический карбонат — оставшиеся 22—28%.

Не претендуя на абсолютную точность подобных расчетов, мы имеем ввиду доказать, что наибольшую роль в осадконакоплении карбонатов Аральского моря играет обломочный CaCO_3 , за ним следует химически осажденный карбонат и на последнем месте оказываются биогенные формы карбоната.

3. Распределение карбонатов в осадках Аральского моря

Во всех образцах осадка, собранных в течение морских работ, определялось содержание CO_2 . Суммарная карбонатность была вычислена путем связывания всего CO_2 с Ca в CaCO_3 . Полученные данные позволили



Фиг. 15. Карта содержания карбонатов в донных осадках Аральского моря.

составить довольно подробную карту карбонатности аральских грунтов (фиг. 15). При разборе этой карты бросается в глаза общее сходство ее с картой донных отложений (фиг. 3) и со схемой распределения средних

диаметров обломочного материала (фиг. 9). Низкое содержание CaCO_3 до 10% приурочено к песчаной полосе, протягивающейся вдоль восточного побережья к прибрежным пескам залива Сары-Чеганак и островов, где величина M_d составляет 0,15—0,35 мм. Содержание CaCO_3 от 10 до 30% характерно для зоны алевритов, имеющих M_d от 0,1 до 0,01 мм, включая зоны обих дельт, где, как правило, карбонатность осадков равна 20—25%. Содержание CaCO_3 свыше 30% встречается во всей центральной и западной глубоководной зоне бассейна, занятой тонкими пелитовыми отложениями (с M_d , равным 0,001—0,005 мм) и закрашенной на карте осадков мергелями.

Максимальное содержание CaCO_3 (>50%) обнаружено на некоторых станциях в центральной части бассейна и в его западной котловине. Таким образом, карбонат кальция как бы следует распределению терригенного материала, накапливаясь в депрессиях, где залегают более тонкозернистые осадки, и приобретая минимальные значения на подъемах рельефа. Однако нельзя упускать из вида, что сходство с картой осадков проявляется только в общих чертах. Вся северная часть моря (заливы Паскевича, Чернышева, Тше-Бас) отличается низкой карбонатностью, редко превышающей 10—12%. Это — зеленые плотные глины с M_d , равным 0,001—0,003 мм, образовавшиеся главным образом за счет размыва третичных толщ. Абразия в этих местах достигает огромных размеров, продукты разрушения бескарбонатны и естественно «разбавляют» карбонатный материал, заносимый сюда течением или образующийся благодаря хемогенной садке. При этом высокие щелочные резервы в северных заливах моря, очевидно, указывают на несколько замедленный процесс выпадания в этих местах карбоната кальция. Следовательно, в сравнительно глубоководных котловинах, где откладывается тонкий пелитовый материал, мы встречаем слабо карбонатные осадки.

Вторым отклонением от общих намеченных закономерностей является зона мелководья вокруг о-вов Лазарева, мыса Беллинсгаузена и к северу от о-ва Константина. Песчаные осадки этой зоны сравнительно более карбонатны, чем в остальных частях моря, и содержат от 22 до 25% карбоната. Это связано, очевидно, с обильным содержанием ракуши в образцах и с наличием выделенных нами известковых песков, состоящих из оолитовых крупинок. Некоторое влияние, возможно, оказывает размыв известковых пород, слагающих острова.

В зонах дельт, несмотря на отложение осадков различной крупности зерна (алевроиты и глины), наблюдается примерно равное содержание карбоната, которое колеблется от 15 до 25%. Это объясняется тем, что громадные водные массы, вносимые в Аральское море реками, частично смешиваясь с соленой морской водой и расплываясь по ней, сохраняют некоторое время свое активное движение. Скорость потока постепенно уменьшается и несомый им взвешенный материал садится в недалеком расстоянии от устья. Учитывая также большое значение коагуляции в аральской воде, о чем было сказано выше, естественно предположить, что наряду с крупным материалом в зоне дельт осядут и более мелкие частицы, т. е. пелиты и карбонат. Имея карбонатность мути в 16—17%, Аму-Дарья и в своей дельтовой зоне характеризуется этим же показателем с некоторым повышением, примерно до 25%, за счет хемогенной садки карбоната и карбоната раковин. Аналогичная картина наблюдается и в дельте Сыр-Дарья, где сохраняется процент карбонатности мути, равный 21—22%, повышающийся в ряде точек до 25%.

Таким образом, несомненно сходство общей картины разноса карбоната по площади моря с разносом терригенного материала. Это служит подтверждением, что законы механической седиментации руководят накоплением карбонатов в осадке, однако в Аральском море, как и в каждом другом

водоеме, все же имеются свои специфические особенности, влияющие на этот общий процесс.

Из имеющихся материалов по карбонатности Черного и Каспийского моря (Страхов, 1947з, 1950) известно, что подмеченная в Аральском море связь содержания CaCO_3 с механическим составом осадков прослеживается и в этих двух водоемах. Каждый из изученных водных бассейнов, несомненно, имеет свои чисто «местные» условия, влияющие на изменение процентного содержания карбонатов, но не нарушающие общей выявленной закономерности.

Роль биогенного CaCO_3 в Аральском море по сравнению с упомянутыми водоемами меньше, и поэтому нарушение связи содержания CaCO_3 с механическим составом в Аральском море не столь значительно. К сожалению, не имеется указаний относительно распределения обломочного и хемогенного CaCO_3 по площади Черного и Каспийского морей, но, учитывая большее значение биогенного фактора в Каспии, логично предположить, что хемогенная садка в его бассейне должна быть меньшей, так как растворенный карбонат потребляется организмами. Очень хорошо это выявляется при изучении такого водоема, как Красное море. Этот закрытый бассейн, не имеющий речного приноса и обладающий высокой температурой, характеризуется тем, что максимальное содержание CaCO_3 приурочено к прибрежным и мелководным зонам и связано полностью с громадным выделением биогенного карбоната. Последний маскирует картину распределения карбоната по площади моря; связь с механическим осаждением, отмеченная для других водоемов, в этом бассейне не наблюдается.

Суммируя все имеющиеся данные по вопросу карбонатности донных осадков Аральского моря, можно сделать следующие выводы:

1. Карбонатный баланс рек, впадающих в Аральское море, складывается в пользу преобладания обломочных форм CaCO_3 , составляющих более 60% от общего поступления карбоната; на долю хемогенного карбоната приходится 22—28%.

2. Пелитоморфный CaCO_3 наблюдается в двух генетических формах: а) обломочный карбонат и б) хемогенный карбонат.

3. Химическая садка CaCO_3 имеет довольно широкие размеры по площади моря. Наиболее интенсивная садка приурочена к зонам мелководья, примыкающим к о-вам Лазарева и зонам дельт и побережий.

4. Бедность Аральского моря организмами способствует образованию относительно большого количества химически осевшего в нем CaCO_3 по сравнению с другими водоемами. Максимальное содержание органогенного CaCO_3 приурочено к зонам мелководий и к полосе алевритового материала.

5. Распределение карбонатов в осадках водоема в общих чертах следует распределению терригенного материала, накапливаясь в депрессиях, где залегают более тонкозернистые осадки, и приобретая минимальные значения на подъемах рельефа в зонах более крупнозернистых отложений. Для песков характерной является карбонатность $<10\%$, для алевритов 10—30% и для мергелей $>30\%$.

6. На процентное содержание CaCO_3 в осадках в условиях Аральского моря влияют некоторые местные факторы. К ним относятся: абразия северных берегов, особенности предустьевых пространств крупных рек и абразия известковых отложений.

7. В составе карбонатов в осадках Аральского моря значительно преобладает карбонат кальция. Карбонат магния составляет всего от сотых долей процента до 1—3% и существенного значения не имеет. Dolomit не обнаружен.

ЖЕЛЕЗО, МАРГАНЕЦ, ФОСФОР, ОРГАНИЧЕСКИЙ УГЛЕРОД И АУТИГЕННАЯ КРЕМНЕКИСЛОТА В ОСАДКАХ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Как указано в вводной части, железо и углерод в донных осадках Аральского моря определялись в химической лаборатории Отдела сравнительной литологии Института геологических наук АН СССР. Определения марганца, углерода и фосфора велись в химической лаборатории Московского геолого-разведочного института. Этот материал и наши микроскопические и микро-скопические исследования дали возможность составить представление о распределении названных элементов в донных осадках моря.

1. Железо

В разделе «Питание водоема» (глава 1) было указано, что железо поступает в Аральское море как во взвешенном, так и в растворенном состояниях. Табл. 18 показывает количество железа, приносимого в водоем реками.

Таблица 18

Количество железа, вносимого в водоем Аральского моря реками
(за год, в млн. т)

Р е к и	Количество железа		Всего
	взвешенного	растворенного	
Аму-Дарья	3,9	0,1	4,0
Сыр-Дарья	0,43	0,039	0,469
	4,33	0,139	~ 4,5

Из рассмотрения таблицы следует, что отношение $\frac{\text{железо взвешенное}}{\text{железо растворенное}} = 31$, т. е. не подлежит сомнению, что основной формой, в которой железо поступает в водоем, является форма взвеси.

Приведенные данные вполне совпадают с той оценкой соотношения двух форм вносимого реками железа, которая дана Н. М. Страховым (1948₂), показавшим, что «в подавляющем большинстве случаев основной формой переноса железа реками является тонкая железистая взвесь», достигающая максимального количества (до 90% общего железа) в реках, отличающихся быстрым течением.

Помимо рек, железо поступает в Аральское море, очевидно, вследствие абразии берегов, главным образом северных, где железо находится в глинистых и песчаных разностях коренных пород, часто в виде многочисленных сидеритовых прослоев (например, в чеганской толще палеогена). Некоторое количество железа доставляется в водоем эоловым путем.

Согласно данным Н. М. Страхова (1948₂), во взвешенном состоянии железо может находиться в следующих формах: 1) в виде гелевых сгустков, имеющих состав многоводного гидрогетита; 2) в виде силикатных и алюмосиликатных минералов (роговых обманок, гидрослюда и др.), магнетита, пирита и гидроокислов железа. К этому следует добавить, что железо входит в состав минералов глин.

Размеры Md взвешенного материала, вносимого рекой, колеблются в пределах от 0,01 до 0,05 мм, т. е. в основном они отвечают размерностям пелитов и мелких алевритов. Очевидно, что и вносимое железо должно обладать преимущественно теми же размерностями, причем преобладают по всей видимости среди них пелитовые. Это положение связано с тем, что гидроокислы железа способны дробиться до очень мелкого состояния, гелевые же сгустки железа, входящие в минералы глин, тяготеют также к тонкой пелитовой фракции.

Макроскопически в осадках Аральского моря наблюдается ряд признаков ожелезнения. Обычно это приуроченные к мергелистым и глинистым осадкам небольшие пятна, прослой и включения, которые во влажном образце непосредственно после взятия пробы обладают черным цветом, а в высушенном — ржаво-бурым. В алевритах и песках признаки ожелезнения выражены значительно слабее. При этом в случае неоднородности осадков железистые пятна приурочены обычно к более тонкому материалу.

Изучение колонок мергелистых и глинистых осадков показало, что «подтягивание» железа к поверхности осадков, как это наблюдается в водоемах, лишенных карбонатов или обладающих незначительной карбонатностью (например, в оз. Байкал, оз. Белом, в Японском море, отчасти в Черном море и др.), в Аральском море имеет весьма небольшое распространение. В мергелистых колонках такое сосредоточивание железа в поверхностных слоях совершенно отсутствует, а в глинистых образцах, взятых в северных заливах моря, где содержание карбоната в осадках незначительно, поверхностный горизонт несколько более обогащен железом.

При микроскопических исследованиях в ряде глинистых и мергелистых осадков видны многочисленные включения черных округлых комочков гидротроилита. Обычно эти образования приурочены к прослоям органического вещества. Естественно, что образование гидротроилита сильнее всего выражено в зонах заражения донных осадков сероводородом, что имеет место в северной части западной котловины и в зал. Чернышева.

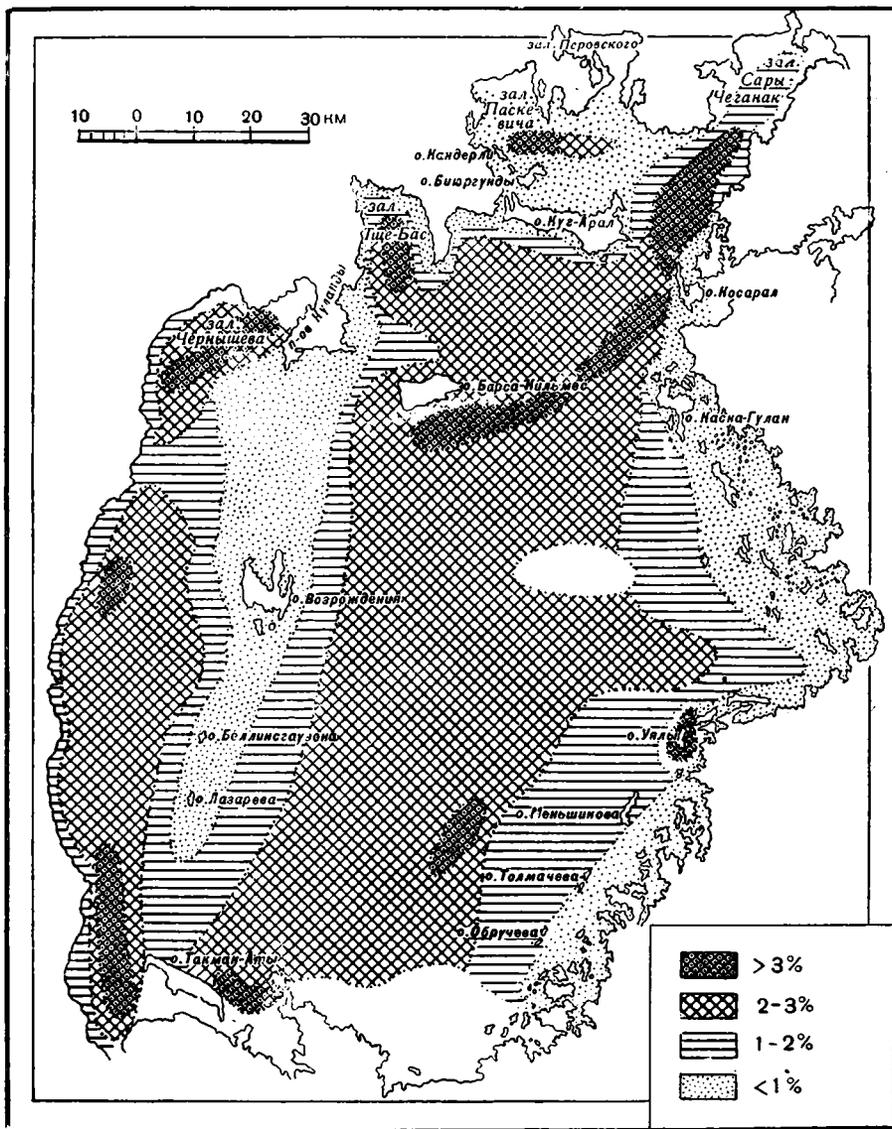
При микроскопическом изучении минерального состава осадков в ряде препаратов обнаружены зерна кварца, покрытые «железистой рубашкой». Зерна эти обычно хорошо окатаны и, по видимому, доставлены в водоем эоловым путем. Химические определения валового количества железа показали колебания в пределах от 0,1 до 5,3% от массы натурального осадка: при пересчете на бескарбонатное вещество значения эти составляют от 0,2 до 5,9%. Среднее содержание железа по отдельным типам осадков приведено в табл. 19.

Таблица 19

Среднее содержание железа в различных типах осадков Аральского моря

Типы осадков	Количество анализированных образцов	Содержание Fe в натуральном осадке (в %)	Пределы колебания (в %)	Содержание Fe в бескарбонатном веществе (в %)	Пределы колебаний (в %)
Пески	10	0,88	0,23—1,7	0,92	0,47—2,0
Известковые пески	5	0,41	0,17—0,6	0,89	0,29—1,72
Алевриты	15	1,87	0,3—3,0	2,35	1,0—4,15
Глины дельтовые	7	3,58	3,3—3,8	4,61	4,4—5,0
Глины северных заливов	10	3,98	2,1—5,3	4,35	2,7—5,9
Мергели	21	1,8—3,17	2,47	4,0	3,4—5,3

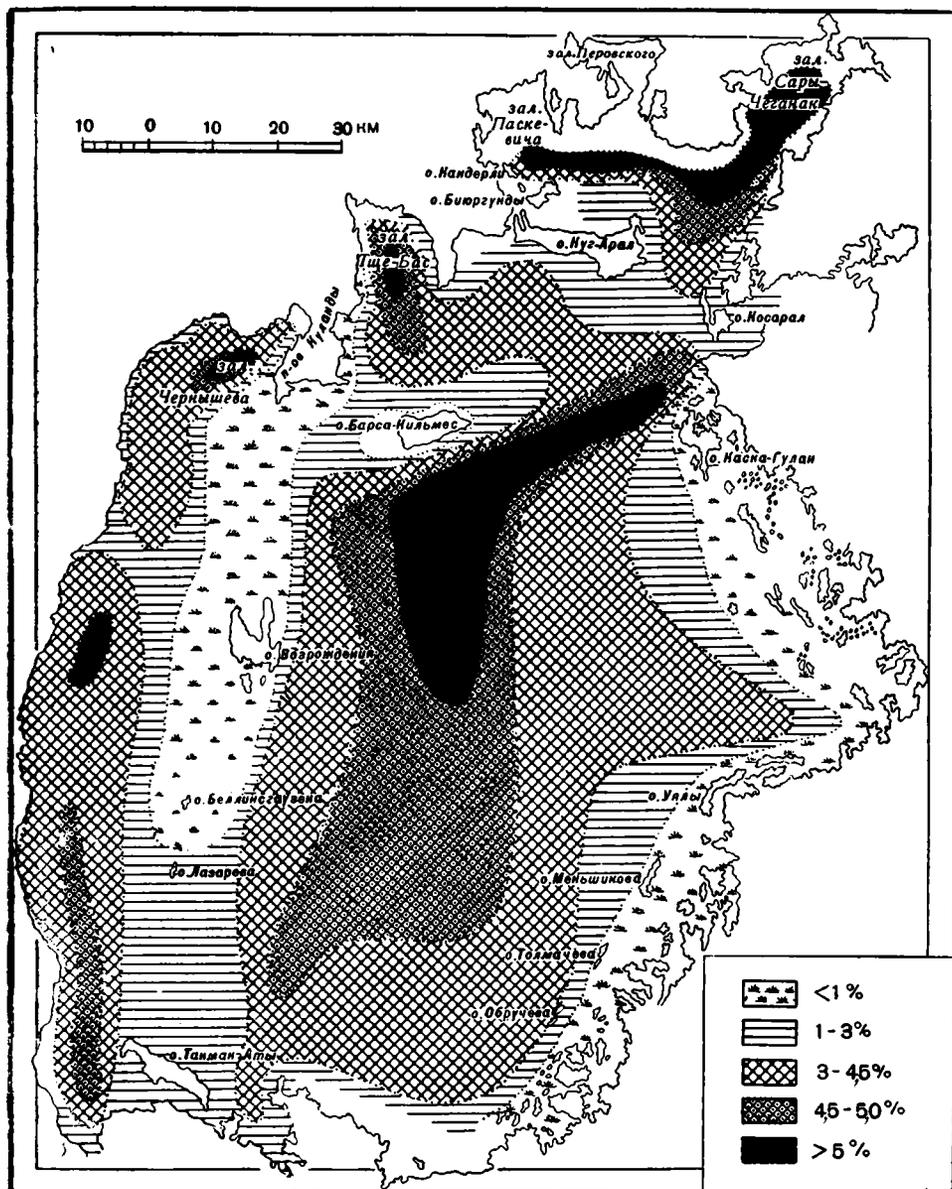
Данные таблицы ясно говорят о приуроченности максимальных количеств железа к тонким пелитовым осадкам и о наименьших содержаниях его в грубозернистых отложениях. Для изучения распределения железа по дну водоема были составлены две карты, показывающие процентное содержание Fe по отношению ко всей массе осадка (фиг. 16) и по отношению



Фиг. 16. Распределение железа в осадках Аральского моря в процентах на натуральный осадок.

к нерастворимому остатку (фиг. 17). Начнем с описания первой карты. Прежде всего, наблюдается общая закономерность в изменении содержания железа, заключающаяся в том, что прибрежные осадки, содержащие незначительное количество Fe, постепенно сменяются более глубоководными, отличающимися повышенным содержанием железа. При движении от восточного побережья моря к центральной его части мы переходим постепенно от осадков, содержащих от 0 до 1% железа, к осадкам обогащенным

железом до 4% и более. Низкое содержание железа приурочено к пескам, покрывающим зону мелководья, в то время как западная глубоководная котловина занята осадками, содержащими 3% железа. Такая же картина наблюдается в северных заливах моря; отчетливо прослеживается смена



Фиг. 17. Распределение железа в осадках Аральского моря в процентах на бескарбонатное вещество.

низких содержаний железа в песчаных и алевритовых прибрежных отложениях высокими содержаниями в глубоководных осадках котловин. На фоне этой общей, довольно закономерной картины распределения железа в осадках наблюдаются отдельные пятна повышенного содержания железа в донных отложениях, приуроченные к придельтовым зонам обеих рек.

В условиях выноса Аму-Дарьи наблюдается содержание железа в 3% и более непосредственно в осадках, залегающих в зал. Талдык (куда впадал проток реки) и в западной части дельты (Урга). Оба пятна связаны с тонкими глинистыми осадками. Очевидно, что, разгружаясь, реки осаждают вместе с пелитовым материалом железо в том же процентном соотношении, в котором оно содержится в несомой рекой мути. Подобное же пятно находится в выносах Сыр-Дарьи. На основной же площади, примыкающей к дельте, содержание железа не превышает 3%, снижаясь до 1,1%.

Еще более ясной становится связь распределения железа с терригенным материалом осадка, если снять разбавляющее действие карбонатов и пересчитать массу железа на нерастворимый остаток. Карта содержания железа в бескарбонатном материале осадка, составленная по нашим материалам Н. М. Страховым (1948₂), иллюстрирует это положение. На ней более четко, чем на рассмотренной выше карте, видны постепенные переходы от максимальных к минимальным содержаниям железа. Выделяется пять зон с содержанием железа: <1%; 1—3%; 3—4,5%; 4,5—5% и >5%. Наиболее низкое содержание железа приурочено к прибрежным осадкам, а наиболее высокое — к центральным частям моря. Сходство двух построенных карт в основных чертах несомненно. Некоторое различие наблюдается лишь в деталях.

В дельтовых зонах содержание железа в натуральном осадке повышено как и в пятнах максимальных содержаний железа в осадках центральных частей моря. Однако после того, как железо было пересчитано на бескарбонатное вещество, это положение изменилось в сторону максимальных содержаний железа, приуроченных именно к центральным частям водоема. В дельтовых же зонах значения эти не превышают 4—4,5%, вытягиваясь по ходу речных струй.

Сопоставление разбираемой карты со схемой распределения среднего диаметра бескарбонатного вещества в Аральском море, опубликованное автором (Бродская, 1949), показывает очень хорошую их согласованность. Наименьшие содержания железа приурочены к наибольшим значениям средних диаметров, а зоны осадков терригенной части с $Md=0,001—0,002$ мм характеризуются максимальным процентным содержанием железа. Такая тесная зависимость бесспорно указывает на то, что в своем распределении по дну водоема железо следует законам, руководящим механическим осаждением вещества.

Незначительностью роли раковинного, органогенного карбоната объясняется тождество карт распределения карбоната и терригенного бескарбонатного вещества. Обе формы, как обломочная, так и хемогенная, в которых находится $CaCO_3$, следуют законам механической седиментации, поэтому естественно, что снятие разбавляющего действия $CaCO_3$ не изменяет основных закономерностей в распределении железа, а только их уточняет. Лишь те немногочисленные зоны, в которых $CaCO_3$ был представлен большим количеством раковин, после снятия карбоната несколько изменили картину распределения Fe (зона, примыкающая к о-вам Лазарева, Куг-Аралу и др.).

Какими же гидродинамическими процессами, господствующими в водоеме, вызвано такое распределение железа? Вносимое в водоем в форме тончайшей мути и, следовательно, отвечающее по своей размерности главным образом тонким пелитам, железо начинает свой путь в дельтовых зонах Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. Значительные его количества задерживаются вместе с терригенной мутью в обширных пространствах дельт.

Мощные речные потоки, подпруживаемые морской водой, осаждают непосредственно у устьевых зон часть своего тонкого взвешенного материала, в том числе и железо, что ведет к обогащению железом находящихся вблизи от дельт глинистых пятен. Круговое течение вместе со взвешенным

материалом переносит как обломочное железо, поступившее в водоем, так и то сравнительно незначительное количество хемогенного железа, которое выделилось из морской воды в виде частиц гидроокислов незначительных размеров. С этого момента железо неразрывно связывается с тонкими пелитовыми частицами, вместе с которыми оно оседает в глубоководных котловинах западной части водоема, где волнения не доходят до дна. Высокое содержание железа здесь в связи с узкой зоной взмучивания отмечается вблизи от береговой линии. Волнением тонкие пелитовые частицы и железо вымываются из мелководной зоны, окружающей острова. На восточном побережье водоема, где зона взмучивания широка, повышенное содержание железа отодвинуто к центральной части бассейна. Здесь в так называемой застойной зоне, связанной с отсутствием течений, оседает тонкий материал и вместе с ним железо.

В северных заливах моря основная масса железа поступает, повидимому, вместе с абразионным материалом. Некоторое его количество вносится в растворенной форме кратковременными потоками и немногочисленными родниками. Распределение железа в этих зонах аналогично распределению на остальной площади дна моря. В более глубоких, «спокойных» местах вместе с пелитовым материалом осаждаются основные массы железа, в то время как прибрежные грубозернистые осадки бедны им. Исключения представляют железистые пески, образовавшиеся за счет разрушения железистых песчаников и располагающиеся вблизи от берега — у мыса «Левушкина гора».

Обращает на себя внимание то, что максимальное содержание железа в осадках моря почти не превышает количество его, определенное в мути, выносимой реками. Это говорит о том, что в водоеме обогащение железом за счет процессов, связанных с выпадением его из раствора или же с поступлением с берегов, минимально.

Резюмируя изложенное, можно установить следующее.

1. Железо в условиях водоема Аральского моря подчиняется всем законам механического осаждения; в связи с этим минимальные его количества имеются в зонах наибольшего взмучивания, максимальные — в глубоководных и застойных частях бассейна, лишенных волнений.

2. Будучи по размерам своих частиц близким к пелитовому материалу, железо в водоеме тяготеет к зонам распространения тонких глинистых частиц, а потому минимальные его количества встречаются в песчаных осадках, максимальные — в тонких пелитах.

3. В условиях Аральского моря выпадение карбонатного вещества следует почти полностью законам механического осаждения и поэтому оно не искажает существенным образом закономерности в распределении железа по дну водоема. Карты распределения железа на бескарбонатное вещество и на натуральный осадок в основных важнейших чертах сходны и различаются лишь в деталях.

В работе Н. М. Страхова (1948₂) разбираются вопросы, связанные с распределением железа в различных современных водоемах. Исследования, проведенные в лаборатории по материалам Черного моря, Балхаша, Иссык-Куля, Байкала и Аральского моря, а также данные Корренса (1935), по определению железа в Атлантике, Т. И. Горшковой (1931) по Баренцову морю и С. В. Бруевича (1946) по Каспию и ряд других, дали возможность Н. М. Страхову сопоставить друг с другом перечисленные водоемы с точки зрения распределения в них железа. Вывод получается совершенно определенный: содержание железа в осадках различных водоемов увеличивается обратно пропорционально средним диаметрам обломочного материала, и в связи с этим минимальные концентрации железа приходится на прибрежную песчаную зону, а максимальные — на центральные области пелитовых осадков.

2. Марганец

Содержание марганца в донных осадках Аральского моря определено всего по 19 образцам. Анализировались образцы песков, алевроитов, глин и мергелей. Табл. 20 дает представление о содержании марганца в осадках различных типов.

Необходимо отметить увеличение содержания марганца в осадках при переходе от грубозернистых к тонкозернистым отложениям. Среднее содержание его в песках равно 0,026 %, в алевроитах — 0,037 % и в мергелях — 0,046 %. Содержание марганца в дельтовых глинах, как видно из приведенной таблицы, выше, чем в мергелях. Однако соотношения несколько изменяются, если учесть, что средняя карбонатность мергелей составляет 40 %, а дельтовых глин всего 20 %. При пересчете содержания марганца на бескарбонатную часть осадка легко убедиться, что значения эти в обоих случаях будут одинаковы и составят 0,08 %. Соответственно при пересчете изменяется средний процент содержания марганца в песках и алевроитах, но соотношения между ними сохраняются.

Т а б л и ц а 20

Содержание марганца в осадках Аральского моря (в % от натурального осадка)

Типы осадков	Содержание Mn
Пески	0,026
Алевроиты	0,037
Глины	0,07
Мергели	0,046

Содержание марганца в мути Аму-Дарьи равно 0,07 %, а в мути Сыр-Дарьи — 0,06 %. Это обстоятельство свидетельствует о том, что марганец поступает в водоем главным образом в обломочной форме и, следовательно, в дальнейшем следует всем законам механического осаждения. Тот факт, что тонкие глинистые осадки придельтовых зон и пелитовый материал центральной части водоема содержат одинаковое процентное количество марганца, подтверждает высказанное предположение. Действительно, образование придельтовых глин происходит в связи с быстрой разгрузкой реки от несомого ею достаточно тонкого пелитового материала. Содержание марганца в мути реки почти точно соответствует процентному содержанию в дельтовых глинах. В дальнейшем происходит механическая сортировка поступившего в водоем материала, и марганец, содержащийся главным образом в более тонких частях осадка, накапливается в «подходящих» по гидродинамическим условиям зонах.

Содержание марганца нигде не превышает 0,07—0,08 %, т. е. количества, связанного с приносом его в обломочной форме. Поэтому правильно предположить, что дополнительного обогащения осадка севшим из водных растворов марганцем почти не происходит. В заключение следует отметить, что картина распределения марганца в донных осадках, подобная описанной нами, наблюдается и в ряде других водоемов. Так, для Каспийского моря, по данным А. С. Пахомовой (1948), характерные величины содержания марганца в среднем равны 0,075 %, что почти не отличается от данных по нашему водоему.

Анализируя составленную карту содержания марганца в донных осадках Каспия, А. С. Пахомова приходит к выводу, что наиболее высокое со-

держание его наблюдается в центральной части котловины и в приустьевых пространствах рек. Невысокое содержание марганца в осадках восточного побережья моря А. С. Пахомова объясняет маскировкой его вследствие значительных количеств карбоната. Так же, как и для Аральского моря, основным источником марганца в Каспии служит твердый сток рек (Волга — 0,077% и р. Самур — 0,08%). Аналогичные картины распределения марганца наблюдаются в Черном, Азовском, Баренцовом, Карском и Белом морях.

А. С. Пахомова указывает, что северные реки вносят марганец в водоем в виде гуминово-кислых соединений, которые коагулируют в гели на стыке речных и морских вод. Автор допускает, что часть растворов попадает в глубоководные зоны, где и выпадает. Однако и без этого допущения вполне понятной станет картина распределения марганца в водоеме, если вспомнить, что выпаший в приустьевой зоне осадок его должен выноситься течением и волнением в открытые части водоема и вследствие сравнительно небольших размеров своих частиц обогащать главным образом тонкие пелитовые осадки. Таким образом, независимо от формы поступления в водоем, марганец повторяет картину распределения по дну водоема терригенного материала.

3. Фосфор

Содержание фосфора в осадках Аральского моря определялось по 19 образцам. Табл. 21 дает представление о содержании фосфора в различных типах донных осадков Аральского моря.

Таблица 21

Содержание фосфора в % от натурального осадка

Типы осадков	Содержание P
Пески	0,063
Алевриты	0,1
Глины	0,16
Мергели	0,14

Приведенная таблица показывает аналогичное марганцу закономерное увеличение накопления фосфора в осадке при переходе от крупнозернистых песков к тонкозернистым пелитам. Подобно марганцу, и в данном случае мы имеем большее содержание фосфора в процентах от натурального осадка в дельтовых глинах, чем в мергелях. Однако это различие сглаживается и значения становятся почти одинаковыми, если принять во внимание высокую карбонатность мергелей. В мути Аму-Дарьи фосфора содержится 0,18%, в мути Сыр-Дарьи — 0,11%. Интересно, что такие же количества наблюдаются в глинистых осадках устьевых зон Сыр-Дарьи и Аму-Дарьи.

Незначительное количество имеющихся у нас данных не позволяет составить карту распределения фосфора по дну водоема, но даже по полученным средним значениям ясно, что максимальные количества фосфора в осадке будут тяготеть к центральным и приустьевым частям моря, где накапливаются тонкие пелитовые отложения, а минимальные значения протянутся вдоль прибрежных и приостровных мелководных зон. Промежу-

точные значения расположатся, очевидно, в согласии с полосой алевритовых осадков.

Данные Г. В. Никольского (1940) и Е. Г. Виноградовой (1948) с несомненностью показывают, что количество растворенных фосфатов в Аральском море весьма незначительно. Почти полное совпадение процентного содержания фосфора в мути рек и в донных отложениях моря позволяет предполагать, что фосфор, приносимый во взвешенном состоянии, играет основную роль в водоеме. Это обстоятельство, к сожалению, весьма неблагоприятно сказывается на органической жизни водоема, которая нуждается в растворенных фосфатах. В работе М. Л. Будянской (1948) приводятся данные о накоплении фосфора в донных осадках Каспийского моря. Эти осадки по содержанию фосфора несколько уступают отложениям Аральского моря, не превышая 0,08—0,09%. Однако закономерности в распределении фосфора по дну водоема сохраняются те же самые. Наиболее бедны фосфором крупнозернистые осадки мелководной зоны, а наиболее богаты ими тонкие пелитовые отложения.

4. Малые элементы¹

В донных осадках Аральского моря спектроскопически обнаружены следующие элементы: Be, As, Mn, Pb, Sn, Mg, Si, Ga, Fe, Bi, Al, Ti, Cu, Zn, Na, Co, Ni, Ca, K, Sr, Cr, Ba и Sc.

Элементы Ca, Mg, Fe, Si, Al, Na и K относятся к числу наиболее широко распространенных в природе, и их содержание в осадках частично определено химическим путем. Содержание Mn и Fe также определялось более точным химическим анализом, и данные по этим элементам разбираются в соответствующих разделах работы. Поэтому в дальнейшем этих элементов мы касаться не будем. Из остальных элементов некоторые, как, например, As, Zn, Sn, Sc, Bi, обнаружены лишь в единичных образцах и установить какие-либо закономерности в их распределении в осадках Аральского моря не представляется возможным.

В значительном числе образцов присутствуют следующие элементы: Be, Pb, Ca, Ti, Cu, Co, Ni, Sr, Cr, Ba; весьма интересно и важно выяснить, с каким типом осадка и с какой размерностью фракции они связаны. При изучении этого вопроса применялась методика спектрального анализа (Лизунов и Петров, 1946), которая дает ориентировочные данные об относительных количествах элементов, входящих в анализируемые материалы.

Оценка интенсивности спектральных линий производилась на глаз по следующей десятибалльной шкале:

Название балла	Сокращенное обозначение
Ничтожные следы линий	н. следы
Следы линий	следы
Очень слабые линии	оч. слаб.
Слабые линии	слаб.
Слабые линии +	слаб. +
Линии средней яркости —	средн. —
Линии средней яркости	средн.
Линии средней яркости +	средн. +
Линии выше средней яркости	в. средн.
Сильные линии	сильн.
Очень сильные линии	оч. сильн.

¹ Работа выполнена совместно с Н. В. Лизуновым.

Всего было проанализировано 82 образца, из них песка — 17, алевритов — 15, глин дельтовых — 8, глин северных заливов — 15 и мергелей — 27. Постараемся проследить за изменением содержания отдельных элементов по типам осадков.

Б е р и л л и й. Из 17 образцов песка только в 5 образцах содержатся незначительные следы этого элемента, а в остальных 12 образцах бериллий не обнаружен. В алевритах соотношения меняются, и из 15 образцов бериллий не обнаружен лишь в 2; в 3 образцах его содержание определяется как «следы» и в 6 — «оч. слаб.». В глинах и в мергелях отмечается наибольшее содержание бериллия; из 27 образцов мергелей в 17 образцах содержание бериллия оценивается как «следы», а в 5 образцах «оч. слаб.». Глины частично попадают в рубрику «слаб.».

С в и н е ц. Аналогичная картина наблюдается в отношении свинца. В основной массе образцов песка свинец отсутствует. В алевритах обнаруживаются его ничтожные следы, а в значительном количестве мергелей и глин северных заливов содержание свинца обозначается как «н. следы» и «следы».

Г а л л и й. Этот элемент почти полностью отсутствует в песках; в алевритах из 15 образцов в 11 содержание галлия попадает в рубрику «следы», а в 3 — в рубрику «слаб.». В дельтовых глинах, глинах северных заливов и в мергелях основная масса располагается в графе «оч. слаб.».

Н и к е л ь. Для никеля характерно относительно повышенное содержание его в алевритах, дельтовых глинах, мергелях и особенно в глинах северных заливов («слаб.»). Следует отметить, что в ряде образцов мергелей никель не обнаружен.

К о б а л ь т. Кобальт отсутствует в значительном большинстве образцов как песков, так и более тонких осадков. Из тех немногочисленных образцов, где кобальт обнаружен, относительно большое количество падает на глины дельтовые и глины северных заливов.

М е д ь. Относительно повышенное содержание меди наблюдается в алевритах, глинах дельтовых и глинах северных заливов; в мергелях и песках ее содержание ниже.

Х р о м. Встречается в образцах глин северных заливов, хотя его присутствие отмечено также в песках, алевритах и мергелях.

С т р о н ц и й присутствует во всех типах пород; содержание его соответствует в основном символу «слаб.».

Т и т а н и б а р и й. Эти два элемента в наибольших количествах встречаются в песках и алевритах, где их содержание соответствует символу «средн.», а в мергелях и глинах их содержание характеризуется символом «слаб.».

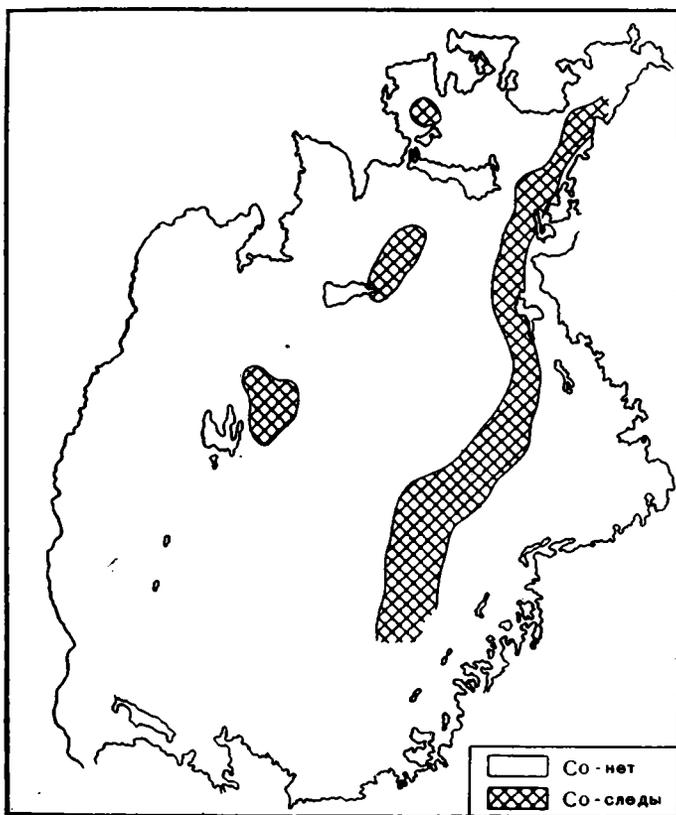
Из приведенного разбора следует, что элементы бериллий, галлий, свинец, никель и отчасти кобальт отчетливо тяготеют к более тонким осадкам и главным образом — к глинам и мергелям (отчасти к алевритам). В песках эти элементы почти не содержатся. Напротив, титан и барий накапливаются преимущественно в более крупнозернистых осадках песков и в алевритах, хотя в меньших количествах они содержатся и в тонких осадках.

Такие элементы, как стронций и отчасти хром, содержатся во всех типах осадков, причем у них наблюдается тяготение к более тонким осадкам.

Для выяснения картины распределения кобальта, свинца и галлия по дну водоема были построены соответствующие схемы.

Для кобальта (фиг. 18) характерна приуроченность его к осадкам, связанным с выносом Сыр-Дарьи. Схема, построенная для распределения кобальта по дну водоема, показывает приуроченность его повышенных содержания к центральной части водоема.

Аналогичную картину дает распределение галлия и свинца (фиг. 19 и 20).



Фиг. 18. Распределение кобальта в осадках Аральского моря.

Кроме донных осадков водоема, были произведены анализы мути обеих рек, впадающих в Аральское море. Табл. 22 дает представление об их составе.

Таблица 22

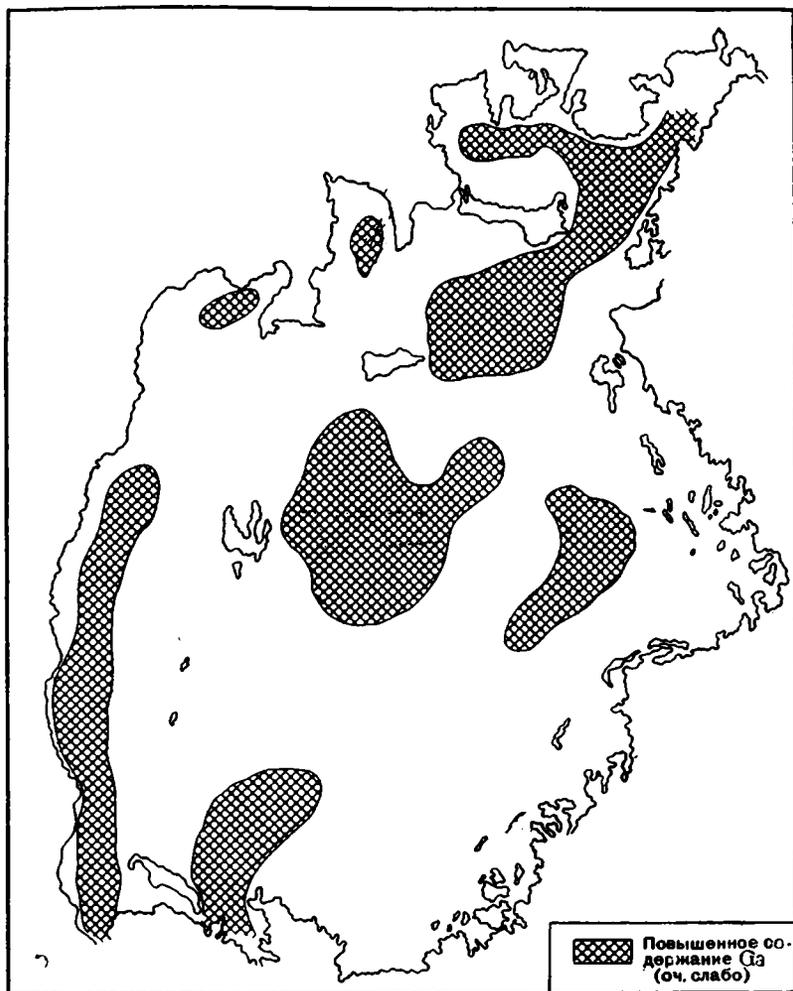
Содержание малых элементов в мути рек

Р е к и	Be	Pb	Ga	Tl	Cu	Co	Ni	Sr	Ba	Cr
Аму-Дарья . . .	след.	н. след.	след.	слаб.	слаб.	—	след.	след.	слаб.	оч. слаб.
Сыр-Дарья . . .	оч. слаб.	след.	оч. слаб.	средн.	слаб.	след.	оч. слаб.	след.	слаб.	слаб.

Как видно из таблицы, комплекс элементов, вносимых реками во взвешенном состоянии, вполне соответствует комплексу, обнаруженному в донных осадках водоема. Интересно отметить, что кобальт в выносе Аму-Дарьи отсутствует. Это хорошо увязывается с составленной схемой (см. фиг. 18), из которой следует, что наличие кобальта связано с выносом

Сыр-Дарьи. Этим, очевидно, объясняется незначительное количество образцов, в которых данный элемент был обнаружен.

Помимо спектральных анализов натуральных осадков, были проведены анализы отдельных фракций нерастворимых остатков, полученных после обработки донных отложений слабой HCl. Во фракциях: $< 0,01$ мм, $0,01—0,05$ мм, $0,05—0,1$ мм, $0,1—0,25$ мм и $> 0,25$ мм 22 образцов были обнаружены те же элементы, которые установлены в натуральных осадках. Однако распределение этих элементов по отдельным фракциям подвержено

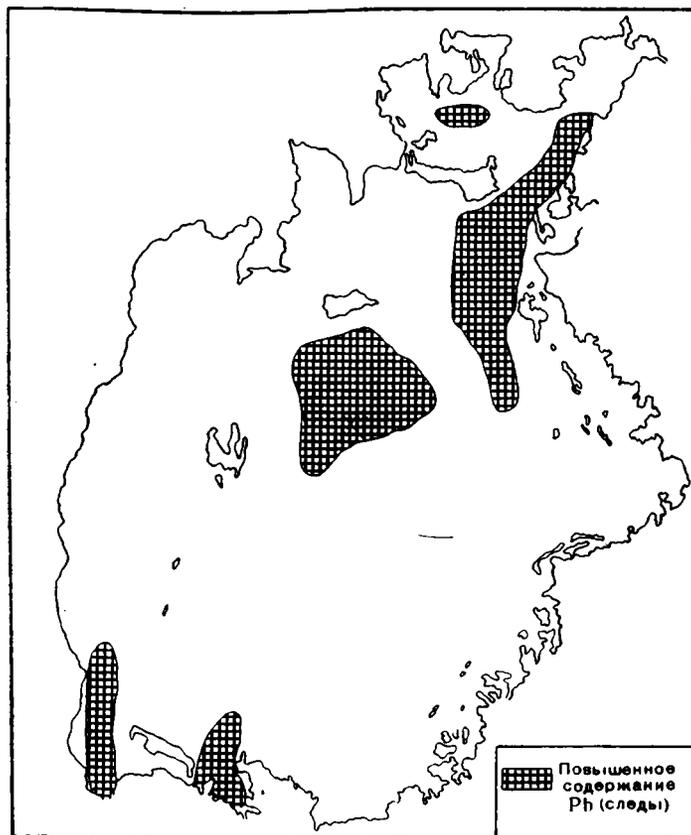


Фиг. 19. Распределение галлия в осадках Аральского моря.

значительным колебаниям. При обработке полученных результатов анализов для каждого анализированного образца были построены графики, характеризующие распределение в данном образце всех обнаруженных элементов по отдельным фракциям. Всего было вычерчено 264 графика. Строились они по следующему принципу: по оси абсцисс откладывались размерности фракций, а по оси ординат — содержание данного элемента в условных единицах. Для того чтобы иметь возможность использовать весь этот материал, представилось необходимым выделить из всей массы графических изображений характерные типы кривых для отдельных элементов.

Основное, что при этом интересовало, — это точки перегиба кривых в связи с размерами фракций вне зависимости от абсолютных содержаний элементов.

Оказалось, что для ряда элементов эти кривые однотипны (фиг. 21). Такие элементы, как бериллий, галлий, свинец, никель, кобальт и хром, ясно обнаруживают увеличение содержания в тонких фракциях и уменьшение в грубых. В фракциях 0,1—0,25 мм большинство из этих элементов уже не содержится, а в фракциях $>0,25$ мм они практически отсутствуют совсем.

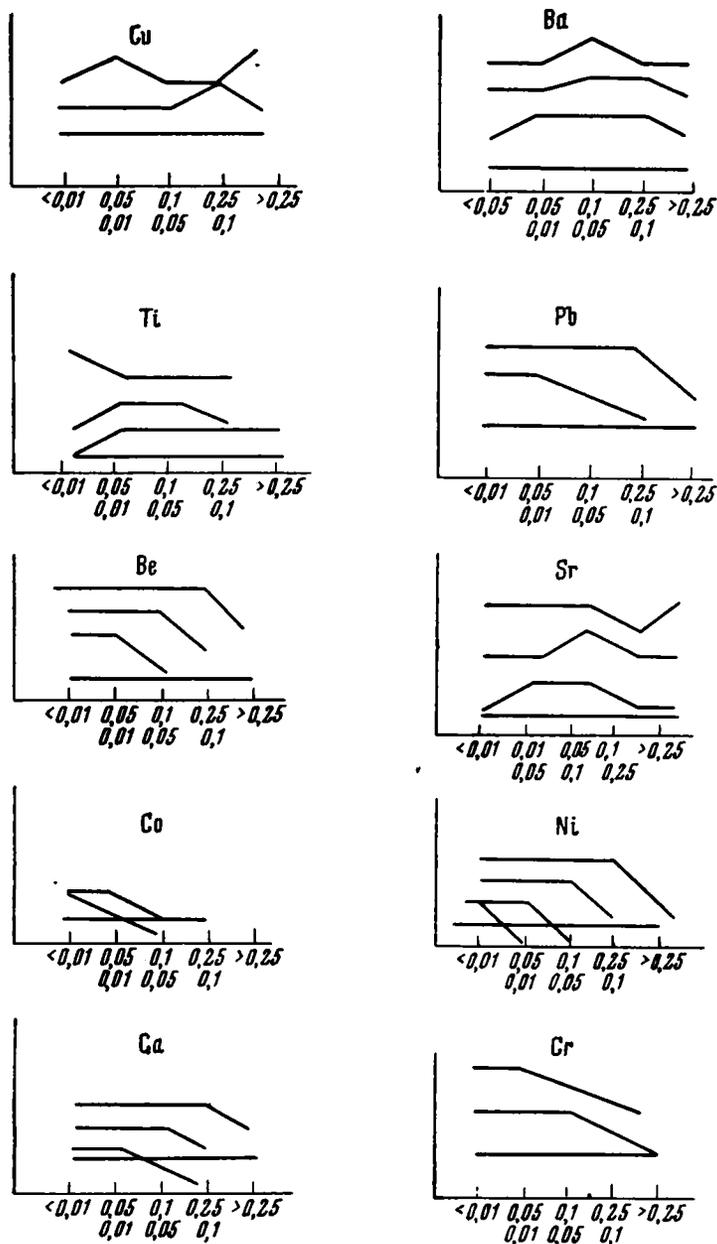


Фиг. 20. Распределение свинца в осадках Аральского моря.

Помимо кривых этих элементов, отличающихся наличием точек перегиба, существуют прямые, идущие параллельно оси абсцисс, т. е. показывающие более или менее одинаковое содержание исследуемого элемента во всех фракциях. Такие прямые линии имеются лишь у образцов, взятых из зоны выноса рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи. В нерастворимом остатке этих образцов каждый из элементов: бериллий, кобальт, никель, свинец, хром и галлий находится приблизительно в равных количествах во всех фракциях.

Кривые, полученные для титана и бария, дают несколько иную картину. В фракции $<0,01$ мм содержание титана и бария является минимальным; основное накопление этих элементов происходит в более крупных фракциях, причем выделяются алевритовые фракции 0,01—0,1 мм как основные носители этих элементов. Прямые, параллельные оси абсцисс, дают также образцы с пунктов, расположенных в зоне выноса рек.

Элементы медь и стронций по характеру полученных кривых также можно объединить в одну группу. Для этих элементов, наряду с понижением содержания в крупных фракциях, характерны кривые, которые



Фиг 21. Типы кривых содержания некоторых малых элементов в донных осадках Аральского моря.

отражают накопление элемента в фракциях $0,05-0,01$ мм, а для некоторых из них, как, например, для меди, — в фракциях $>0,25$ мм. Прямая, параллельная оси абсцисс, встречается и у меди. Стронций дает одинаковое содержание в разных фракциях только для образцов, взятых с пунктов, расположенных в зоне выноса рек.

Основываясь на разобранных выше данных, можно отметить, что различные элементы связаны с разными фракциями терригенного материала. Если повышенное содержание элементов бериллия, кобальта, никеля, галлия, свинца и хрома заключается главным образом в мелких фракциях, то такие элементы, как титан, барий, отчасти медь и стронций, связаны с более крупными фракциями осадка. Наблюдаемое одинаковое содержание элементов в различных фракциях зон выноса материала реками в море указывает на специфические условия осаждения здесь малых элементов.

Помимо перечисленных спектральных анализов натуральных осадков и различных фракций нерастворимых остатков, нами были исследованы раковины моллюсков, обитающих в Аральском море. Анализировались растертые в порошок раковины осадка *Adacna*, *Cardium* и *Dreissensia*. Результаты анализов видны из табл. 23.

Таблица 23

Содержание малых элементов в раковинах моллюсков Аральского моря

Раковины	Be	Mn	Pb	Ga	Ti	Cu	Co	Ni	Sr	Cr	Ba
<i>Adacna</i>	—	следы	—	—	следы	—	—	—	сильн.	—	оч. слаб.
<i>Cardium</i>	—	следы	—	—	—	—	—	—	сильн.	—	—
<i>Dreissensia</i>	—	оч. слаб.	—	—	—	—	—	—	сильн.	—	слаб.

Приведенные данные ясно говорят о том, что раковинный материал лишен того комплекса элементов, который встречается в осадках. Единственным из изучаемых нами элементов, содержание которого в раковинах велико, является стронций; он отличается индексом «сильно», что составляет $>1\%$. В небольших количествах обнаруживается барий.

М. А. Ратеев на нашем материале производил исследование коллоидной фракции, причем выделенная фракция <1 микрона была им подвергнута спектральному анализу, результаты которого помещены в табл. 24. Из данных этой таблицы следует, что комплекс малых элементов, содержащихся в коллоидной фракции осадка, тот же, что и в натуральном осадке.

Тем не менее коллоидная фракция не обогащена малыми элементами, напротив, даже несколько обеднена ими. Действительно, такие элементы,

Содержание малых элементов в коренных

Место взятия образца	Be	Mn	Pb	Ga
Барса-Кельмес (глина)	следы	слаб.	следы	следы
То же	следы	следы	следы	следы
Залив Чернышева (глина)	оч. слаб.	следы	следы	следы
Ак-Тумсук (мергель)	следы	следы	не обнаруж.	следы

Содержание некоторых малых элементов в коллоидной фракции

Образцы	Be	Mn	Pb	Ga	Ti	Cu	Co	Ni	Sr	Ba
Дельтовая глина Сыр-Дарьи . . .	н. следы	слаб.	—	следы	оч. слаб.	следы	следы	н. следы	следы	оч. слаб.
Дельтовая глина Аму-Дарьи . . .	н. следы	слаб.	—	оч. слаб.	оч. слаб.	—	следы	н. следы	следы	слаб.

как бериллий и стронций, присутствуют только в виде ничтожных следов, свинец отсутствует вовсе, а титан попадает в рубрику «оч. слаб.».

Наконец, помимо образцов донных осадков моря, были проведены спектральные анализы четырех образцов коренных пород: двух образцов палеогеновой глины, обнажающейся на о-ве Барса-Кельмес, одного с северного берега зал. Чернышева и образца мергеля из меловых отложений мыса Ак-Тумсук.

Результаты этих анализов помещены в табл. 25.

Комплекс элементов, обнаруженных в коренных породах, несколько отличается от комплекса донных осадков моря. Появляются такие элементы, как вольфрам и молибден, значительно возрастает содержание титана и стронция.

Суммируя весь приведенный выше фактический материал, нам представляется возможным сделать следующие заключения. Основное количество «малых» элементов вносится в водоем во взвешенном состоянии, очевидно, как в ряде акцессорных минералов более крупных фракций, так и в пелитовых фракциях.

Некоторое количество малых элементов попадает в водоем и в растворенном состоянии. В дальнейшем в водоеме происходит процесс осаждения внесенных элементов. По совокупности имеющихся данных вероятно, что осаждение это подчиняется главным образом законам механического осаждения вещества. Тем не менее известную роль играют и биохимические процессы. Выше мы видели, что раковины моллюсков содержат некоторые малые элементы (Ba и Sr), которые, следовательно, таким путем уходят из растворов и в конечном итоге попадают в осадок. Согласно Я. В. Самойлову (1929), Ba и Sr содержатся в осадках органического происхождения.

Таблица 25

породах побережья Аральского моря

Mo	Ti	Cu	Wb	Co	Ni	Sr	Ba
следы	в. средн.	оч. слаб.	оч. сильн.	следы	следы	следы	следы
следы	в. средн.	следы	оч. сильн.	следы	средн.	в. средн.	следы
следы	в. средн.	следы	следы	следы	в. средн.	в. средн.	следы
н. следы	средн.	следы	оч. сильн.	следы	оч. слаб.	в. средн.	следы

В заключение надо отметить, что для решения ряда вопросов, возникающих при анализе имеющегося у нас фактического материала, необходимы дополнительные исследования.

5. Органический углерод

В мути, вносимой Аму-Дарьей и Сыр-Дарьей в Аральское море, содержится соответственно 0,69 и 0,62% углерода от веса сухого осадка.

К сожалению, мы не располагаем материалом, позволяющим нам дать всю сумму вносимого в водоем органического углерода, находящегося как во взвешенном, так и в растворенном состоянии. Согласно данным, имеющимся в работах ряда биологов, количество это весьма незначительно. Визуально органическое вещество сравнительно легко обнаруживается в донных осадках моря. Наблюдаются включения и примазки черного органического вещества, приуроченные главным образом к глинистым осадкам. Иногда наблюдаются отдельные темные прослои органического вещества, переслаивающегося с обедненным органикой материалом. Произведенные химические анализы показали, что в общем содержание органического вещества в натуральных осадках моря колеблется в пределах от 0,1 до 1,5%. По отдельным типам пород среднее содержание углерода распределяется следующим образом (табл. 26).

Таблица 26

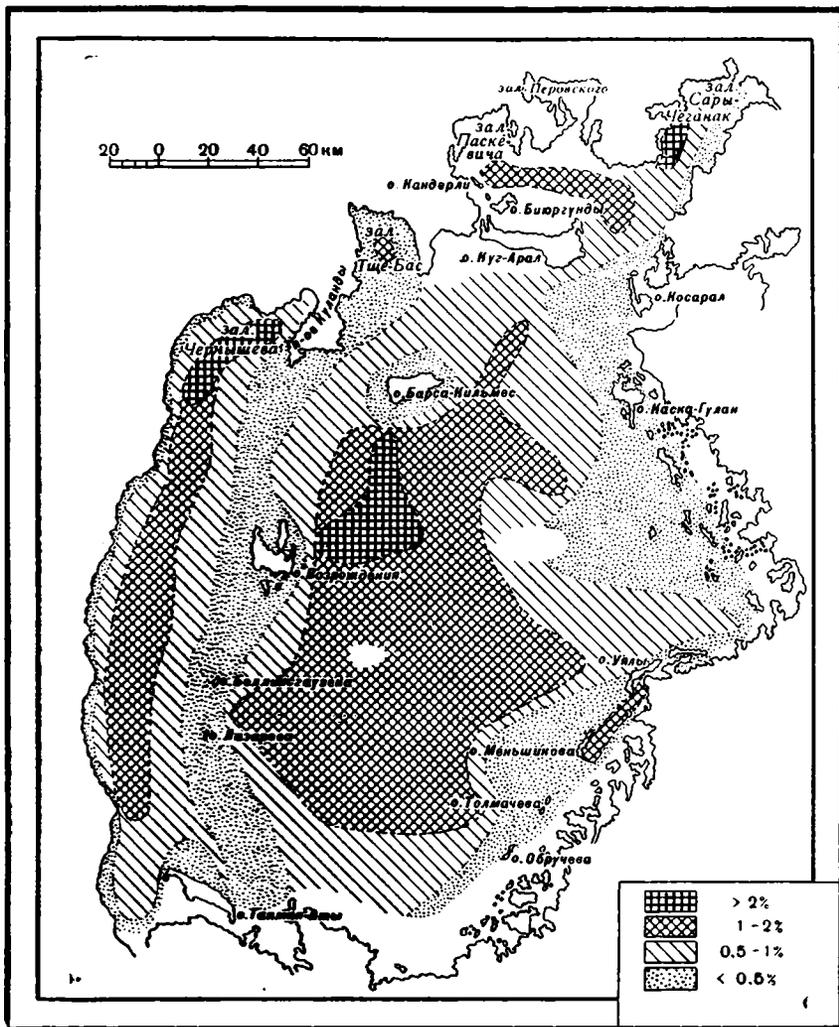
Содержание органического углерода в различных типах осадков

Типы осадков	Количество анализов	С в % на натуральный осадок		С в % на бескарбонатное вещество	
		среднее содержание	пределы колебаний	среднее содержание	пределы колебаний
Пески	10	0,12	0,07—1,1	0,16	0,08—1,2
Известковые пески	5	0,29	0,1—0,4	0,65	0,2—1,2
Алевриты	17	0,35	0,1—1,0	0,5	0,2—1,2
Глины дельтовые	7	0,61	0,3—1,4	0,8	0,39—2,0
Глины северных заливов	6	0,82	0,3—1,56	0,85	0,3—1,69
Мергели	17	0,84	0,4—1,3	1,44	1,0—1,7

Как следует из таблицы, среднее содержание, вычисленное в процентах от натурального осадка, а также перечисленное на бескарбонатное вещество, непрерывно возрастает от крупнозернистых осадков к мелкозернистым. Минимальное содержание органического углерода (0,12 и 0,16%) наблюдается в песках, а максимальное (0,84 и 1,4%) — в мергелях. Следует отметить, что в то время как для железа в дельтовых глинах среднее содержание было больше, чем в мергелях, в данном случае для углерода мы имеем обратную картину. Повидимому, органическое вещество обладает чрезвычайно малыми размерностями и малым удельным весом, способствующим его переносу на предельно большие расстояния.

Нами составлены две карты, показывающие распределение углерода в донных осадках моря в процентах на всю массу осадка (фиг. 22) и на его бескарбонатную часть (фиг. 23). При первом же взгляде на карты нетрудно заметить, что общие закономерности одинаковы на обоих изображениях и заключаются в том, что максимальное количество углерода приурочено

пятна к востоку от о-ва Возрождения, которое показывает максимальное содержание углерода, равное 2,2—2,5%. Еще дальше к западу, минуя промежуточную зону с количеством углерода в 0,8%, мы встречаемся с полосой низких значений (0,5%), приуроченных к песчаной зоне поднятия. Западнее содержание углерода в 0,58—0,85% закономерно сменяется новым подъемом в районе западной глубоководной впадины, где



Фиг. 23. Распределение органического углерода в осадках Аральского моря в процентах на бескарбонатное вещество.

в заливе Чернышева оно достигает 2,2%. В северных заливах моря котловинам соответствуют пятна с повышенным количеством углерода (1,7—1,8%).

Содержание углерода в мути, вносимой реками, составляет 0,62—0,69%, в то время как в донных осадках оно достигает 1,4%. Такое увеличение процента углерода в осадках может быть связано с биогенными процессами, протекающими в водоеме, причем, несмотря на то, что подводный растительный мир богаче всего в прибрежных участках моря, органическое

вещество, вымываемое из грубозернистых осадков, переносится и накапливается в наиболее тонких пелитовых отложениях. Это положение находит свое подтверждение при сравнении карты распределения углерода по площади моря в процентах от бескарбонатного остатка со схемой распределения средних диаметров терригенной части осадка.

Сходство этих двух карт очень велико. Пятна повышенного содержания углерода приурочены к наиболее тонким пелитовым осадкам, имеющим M_d , равный 0,0018 мм, тогда как наиболее низкое содержание углерода соответствует грубозернистым осадкам с значением средних диаметров $> 0,1$ мм. Таким образом, остается несомненной самая тесная связь, существующая в распределении углерода и тонкого пелитового материала по площади дна Аральского моря. Связь эта вполне естественна, ибо распределение тончайших частиц органического вещества зависит от рельефа дна (исследование Траска, 1939) и связано с накоплением их в котловинах дна вместе с тонким илистым осадком. Из песчаных грубозернистых отложений углерод, вымываемый постоянными волнениями в этих зонах, переносится течениями на большие расстояния от первоначального места своего нахождения.

Вопросы, связанные с изучением распределения органического вещества в современных морских осадках, в настоящее время сравнительно хорошо освещены в ряде работ как советских авторов (Архангельский и Страхов, 1938; Горшкова, 1938; Страхов, 1947з; Сапожников, 1951; Кленова, 1948), так и иностранных (Trask, 1939; Gripenberg, 1934; Waksman, 1934; Higazu a. Shukri, 1944).

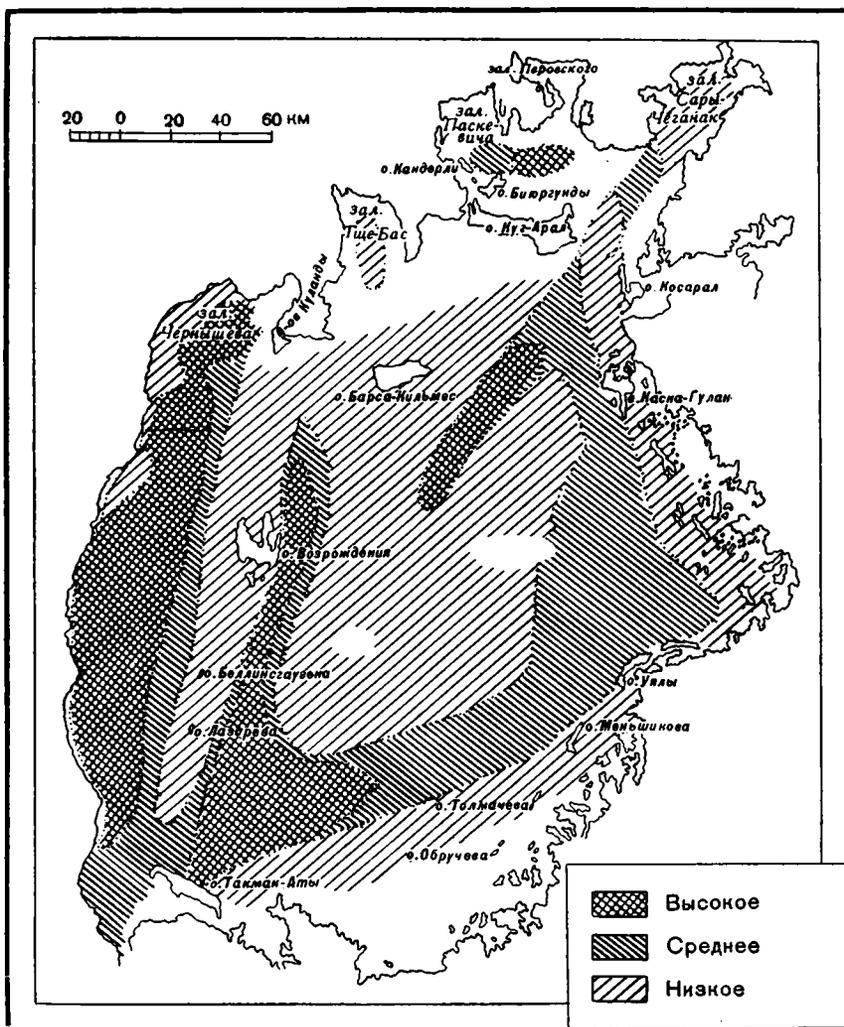
Данные, полученные при исследованиях Аральского моря, отнюдь не являются новостью в деле изучения органического вещества в донных осадках, а толькошний раз подтверждают правильность выводов, сделанных предыдущими авторами для других водоемов. Приуроченность органического углерода к более тонким пелитовым осадкам и минимальное содержание его в грубозернистых отложениях отмечались для ряда морей и озер (Черное море, Каспийское море, Красное море, Баренцево море. Балтийское море, оз. Балхаш и др.).

Совершенно справедливо пишет в своей работе М. В. Кленова (1948), что «повидимому накопление органического вещества происходит наиболее интенсивно там, где отлагается более мелкозернистый материал, и это является общей закономерностью». Механизм накопления углерода в современных осадках разобран в работах Н. М. Страхова по Черному морю (1947з) и Южному Уралу (1939). Пески, отлагающиеся главным образом на таких участках дна, где волнения могут вымывать наиболее тонкие фракции осадка, естественно будут содержать минимальные количества органического углерода, в то время как тонкие пелитовые осадки должны относительно обогащаться им. Кроме того, характер среды осадка имеет решающее влияние на консервацию органического вещества. Глины, обладающие восстановительной средой, будут способствовать гораздо лучшему захоронению в них органических веществ, чем песчаные осадки, в которых господствуют окислительные условия. Кроме «прямых» факторов, влияющих непосредственно на ход накопления органического вещества, Н. М. Страхов разбирает ряд факторов второго порядка, к которым относится характер рельефа дна водоема и течения.

Как следует из приведенного материала по содержанию органического углерода в донных осадках Аральского моря, распределение его по дну водоема вполне объясняется указанными соображениями Н. М. Страхова.

6. Распределение аутигенной кремнекислоты в донных отложениях Аральского моря

Одним из компонентов, присутствующих в донных осадках изучаемого водоема, является аморфная кремнекислота, образующаясь своим происхождением диатомовым водорослям. Последние встречаются в Аральском море как в планктонных формах, так и в донных биоценозах.



Фиг. 24. Распределение диатомовых водорослей в осадках Аральского моря.

В донных осадках Аральского моря, как это было показано на стр. 31, обнаружены значительные скопления диатомовых водорослей. Наибольшая их концентрация, по А. Л. Бенингу (1935), приурочена к коричневой пленке, покрывающей осадок. Нами наблюдалось лишь незначительное увеличение содержания диатомовых водорослей в поверхностном слое. Исследования, произведенные по всей длине взятых колонок, показали почти равномерное распределение диатомовых форм. Иногда, правда, выделялись отдельные прослои, обогащенные диатомовыми водорослями.

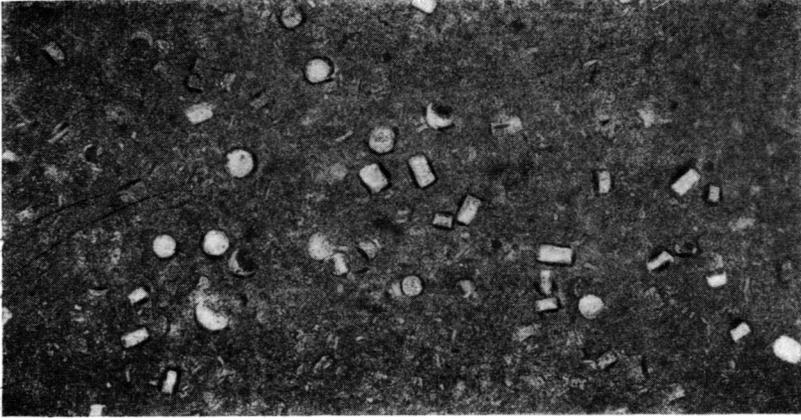


Фото 15. Осадки, в которых диатомовых «много» (увел. 46, без анализатора).

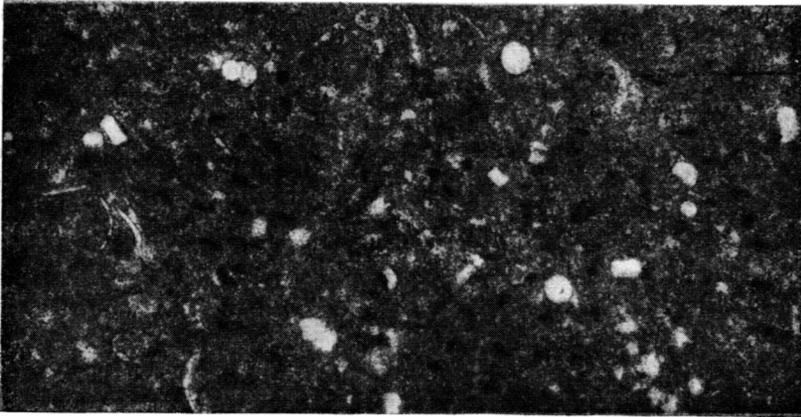


Фото 16. Осадки, в которых диатомовых «средне» (увел. 46, без анализатора).

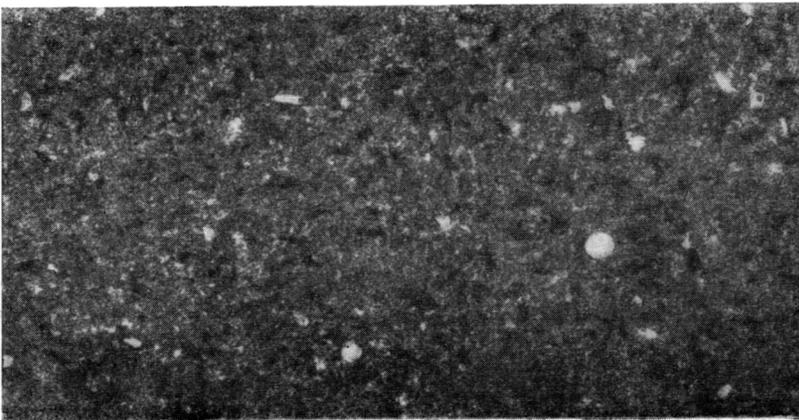


Фото 17. Осадки, в которых диатомовых «мало» (увел. 46, без анализатора).

Зато по площади дна моря содержание диатомовых водорослей в осадках резко изменяется. Нами были просмотрены в шлифах образцы со всех имеющихся пунктов. Содержание в них диатомовых водорослей мы определяли по рубрикам: мало, средне и много. Если в шлифе диатомей не обнаруживалось, образец причисляли к градации «мало», во избежание пропуска очень незначительного содержания диатомей. На табл. VIII (фото 15, 16 и 17) представлены три типа осадка в зависимости от содержания в них диатомей.

Карта, построенная на этом материале (фиг. 24), показывает распределение диатомовых водорослей на площади дна Аральского моря. Осадки, содержащие «мало» диатомей, занимают зону выноса обеих рек и протягиваются неширокой полосой вдоль восточного побережья моря. Таким же содержанием характеризуется область поднятий, примыкающих к о-вам Лазарева и Возрождения, и вся центральная часть моря. Осадки, отвечающие по количеству диатомей значению «средне», занимают полосу алевроитовых осадков вдоль восточного побережья и огибают с двух сторон зону поднятий. Максимальное содержание диатомей находится в осадках западной глубоководной зоны, в узкой полосе, примыкающей к о-ву Возрождения с востока, в заливе Чернышева и Паскевича, а также на станциях, находящихся под влиянием сыр-дарьинских вод.

Такое распределение диатомовых водорослей, как нам кажется, прежде всего связано с выносом речных вод, обогащенных элементами, необходимыми для развития жизни как планктонных, так и донных диатомовых организмов. Согласно данным, приводимым в работе Л. И. Курсанова и Н. А. Комарницкого (1945), наиболее мощное развитие морского планктона наблюдается против устьев больших рек, приносящих воду, обогащенную фосфором и азотом. Глубина развития диатомового бентоса определяется прежде всего

Таблица 27

Содержание аморфной кремнекислоты в осадках Аральского моря

Тип осадка	Содержание SiO ₂ , в %
Песок	2,66
»	2,31
Алеврит	3,08
»	3,82
Глина	6,34
Мергель	5,36
»	6,0
»	5,24
»	2,32
»	4,06
»	3,62
»	3,25
»	3,91

прозрачностью воды. Таким образом, в условиях Аральского моря максимальное развитие диатомовых водорослей, естественно, приурочено к глубоководной западной котловине, где высокая прозрачность сочетается с притоком течений свежих порций речных вод. Аналогичные условия, правда с меньшей прозрачностью, имеют место по направлению движения сыр-дарьинских струй.

Халистатическая зона моря, куда круговое течение не попадает, характеризуется, очевидно, минимальным развитием планктонных и донных

форм диатомовых водорослей. Интересно, что накопление диатомей в осадках по всей видимости связано с местом их развития. Сравнительно крупные размеры диатомей — от 0,03 до 0,055 мм, соответствующие алевритовым частицам, позволяют им оставаться на месте и почти не переноситься в более глубоководные места.

Некоторое количество планктонных видов, конечно, попадает в центральные части моря, но это не создает большого накопления их в осадке; и, как видно на карте (фиг. 24), содержание диатомовых водорослей в центральных частях водоема не выходит за пределы символа «мало».

Количественное определение аморфной кремнекислоты в донных осадках Аральского моря приведено в табл. 27.

Из таблицы следует, что содержание аморфной кремнекислоты в донных осадках колеблется от 2 до 6%. Максимальную величину 6% показывают осадки, в которых микроскопически обнаружено наибольшее содержание диатомей, занимающих в шлифе почти все поле зрения. Такое несоответствие между визуальными наблюдениями и химическими определениями связано, как мы это уже объясняли, с чрезвычайной тонкостью кремневых оболочек.

Глава VI

ОБЩАЯ СХЕМА ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В АРАЛЬСКОМ МОРЕ

1. Механизм аральской седиментации

Конечной целью работы было выяснение механизма образования донных осадков в небольшом замкнутом водоеме, расположенном в зоне засушливого климата. После анализа, проведенного в предыдущих главах, суть этого механизма совершенно ясна.

Основным поставщиком осадочного материала, из которого формируются донные отложения Аральского моря, являются реки. В главе 1 было указано, что материал, вносимый реками, состоит главным образом из сравнительно тонких минеральных частиц, продуктов выветривания горных пород. Во взвешенном состоянии, кроме обычных силикатных и алюмосиликатных минералов, переносятся также и так называемые «хемогенные компоненты» осадка: карбонаты, железо, марганец, фосфор и ряд малых элементов. Этим же путем поступает в главной своей массе органическое вещество. И лишь очень незначительную долю поступающего в бассейн материала составляют растворенные в речной воде карбонаты, соли железа, марганца и т. д.

Эти соединения выпадают в водоеме в осадок в качестве действительно хемогенных компонентов.

Из сказанного ясно, что основным процессом, протекающим в Аральском море, является осаждение обломочного, взвешенного материала, приносимого реками; подчиненное значение имеют процессы химической и биологической седиментации, что целиком подтверждается приведенным выше материалом.

Анализ схем и карт, построенных для характеристики распределения терригенного бескарбонатного материала (фиг. 6—9), показал, что вносимая в Аральское море бескарбонатная часть осадочного материала распределяется по площади дна водоема согласно с рельефом дна и гидродинамическими условиями водоема. В зоне взмучивания, окаймляющей сравнительно широкой полосой восточное побережье и очень узкой западное, весь поступающий в водоем материал разделяется волновыми движениями воды на две части. Мелкие фракции — пелитовые и тонкоалевритовые — во взвешенном состоянии переносятся в более глубоководные

части моря, где проходящее круговое течение перемещает их сообразно размерам: частицы, обладающие наименьшим средним диаметром, попадают в так называемую «застойную часть» моря, более же крупнозернистые (алевритовые) оседают по фарватеру течения.

Так как незначительные размеры нашего водоёма обуславливают очень узкую зону взмучивания и, кроме того, реки поставляют главным образом сравнительно тонкий материал, роль песков в донных осадках моря невелика. Полоса песчаных отложений прижимается близко к береговой линии; тогда как основная площадь моря занята довольно тонкими алевритовыми и пелитовыми осадками.

Влияние рельефа дна сказывается в постепенной смене более крупнозернистых осадков восточного побережья (со средним диаметром 0,1 мм) на тонкозернистые пелитовые осадки (средний диаметр < 0,001 мм), занимающие центральную котловину моря.

Поднятие, протягивающееся в меридиональном направлении от п-ова Куланды до о-ва Такмак-Ата, характеризуется, как это и следовало ожидать, более крупнозернистыми осадками — песками и алевритами. Крутой склон западной прибрежной части моря обуславливает очень узкую зону взмучивания. На распределении осадков это обстоятельство сказывается в залегании тонкого пелитового материала почти непосредственно у береговой линии. На фоне описанного распределения терригенного материала аномалией выделяются пятна тонких пелитовых осадков, залегающих в зоне взмучивания, в приустьевых пространствах обеих рек. Образование их здесь связано с коагуляцией и с замедленным движением воды в зоне стыка речной и озерной воды, о чем уже говорилось выше.

Сравнивая схему средних диаметров обломочного материала с картами, построенными для карбонатов, железа, углерода, а также с имеющимися данными по содержанию в донных осадках марганца и фосфора, мы видим близкое сходство в распределении всех этих компонентов. Повышенное процентное содержание CaCO_3 , Fe, Mn, P, органического C тяготеет к наиболее мелким диаметрам обломочного материала, и, напротив, низкое процентное содержание названных компонентов обычно в более крупнозернистых осадках. Эти общие закономерности хорошо прослеживаются на всех разбираемых картах и выражаются в постепенном увеличении процентного содержания CaCO_3 , Fe, Mn, P и углерода при движении от прибрежных частей моря к центральной зоне и к глубоководным впадинам западной борозды.

Однако на фоне общей закономерности следует различать некоторые особенности, присущие распределению каждого из названных компонентов. На карте распределения карбонатов выделяются северные заливы моря, сложенные тонкими пелитовыми осадками и в то же время обладающие сравнительно низкой карбонатностью, колеблющейся от 2 до 13%. Происхождение этих осадков (как это подтверждается рядом фактов, и в том числе анализом нерастворимого остатка) связано главным образом с абразией северных берегов, сложенных бескарбонатными и слабо карбонатными породами. Круговое течение почти не попадает в эти заливы, за исключением слабых ответвлений, и в связи с этим карбонатный материал, свойственный основной площади моря, сюда почти не заносится, а если и поступает, то в сильной степени разбавленный бескарбонатным материалом побережий.

Другое отступление от выдвинутых закономерностей представляет собой зона поднятия в районе о-вов Лазарева и Возрождения, где откладываются песчаные осадки. Здесь нами обнаружены известковые оолитовые пески, имеющие аномально высокую карбонатность, до 60%. В этом районе течение выносит более холодную воду западной котловины, которая перемешивается с хорошо прогретой водой мелководья. Резко изменяются фи-

зико-химические условия в сторону, благоприятствующую интенсивному осаждению карбонатов. Наличие песчаного материала способствует образованию оолитов, которые благодаря своей крупной размерности остаются в гидродинамически благоприятных для них условиях. Этим и объясняется в данном случае содержание карбонатов в песчаных осадках.

Наконец, последнее замечание относится к придельтовому пелитовому материалу, имеющему карбонатность, равную всего 20—25%. Такой же процент карбонатов содержится в мути, вносимой реками. Это положение лишний раз доказывает правильность истолкования подобных пятен, связанных с высаживанием вносимого материала в непосредственной близости от устьев рек.

Для остальных компонентов — Fe, Mn, P — наблюдается повышенное их содержание в пелитовых осадках мелководной придельтовой зоны, равное по значению содержаниям этих элементов во вносимой реками мути. Повидимому, коагулируясь в предустьевых зонах рек, взвешенное вещество сохраняет процентное содержание названных элементов. Поскольку в водоеме интенсивного химического осаждения не происходит, постольку естественно, что и наиболее тонкие осадки центральных котловин содержат примерно те же значения Fe, Mn и P. Некоторое повышение процентного содержания происходит в связи с накоплением в центральных частях большего количества пелитовой фракции, с которой связаны названные элементы.

В северных заливах моря не происходит никаких особенных понижений или повышений содержания железа (для магния и фосфора нет данных), нарушающих общую картину закономерного изменения этого комплекса в связи с характером материала. Объясняется это обстоятельство тем, что разрушаемые породы побережья, как это показали анализы, содержат те же 4—5%, что и взвешенное вещество, вносимое в водоем реками.

Выше было показано, что в водоеме Аральского моря заведомо имеет место процесс химического осаждения CaCO_3 , происходящий по всей площади моря и главным образом в прибрежных и мелководных зонах. Однако сопоставление и анализ карт ясно свидетельствуют о почти полном тождестве распределения по площади моря карбонатов и бескарбонатного обломочного материала. Отсюда мы делаем естественный вывод, что в условиях Аральского моря разнос по нему продуктов химического осаждения в конечном итоге так же подчиняется законам механического разноса материала. Такое положение было выдвинуто впервые Н. М. Страховым для водоемов Черного (1947з), а позднее и Каспийского моря (1950). Д. Г. Сапожниковым аналогичные замечания были сделаны для условий водоема оз. Балхаш. Сущность дела заключается в том (по Н. М. Страхову), что каждое выпавшее из воды вещество, как только оно получит определенную размерность, тем самым подчиняется физическим законам механической седиментации материала в водоеме. Таким образом, повышенное содержание CaCO_3 в центральных частях Аральского моря вовсе не следует относить за счет усиленной хемогенной садки его здесь, как это предполагает В. П. Зенкович (1947) и что вытекает из общих положений выдвинутых Л. В. Пустоваловым (1940). Достаточно представить себе, что химически осажденный CaCO_3 имеет размерность мелких пелитов, чтобы понять, что он будет вынесен в более спокойные глубоководные места и обогатит пелитовый материал.

Исследования по распределению морфологических типов CaCO_3 в Аральском море с достаточной убедительностью показали, что как обломочная, так и хемогенная форма CaCO_3 присутствуют во всех анализируемых образцах. Однако, в то время как массы обломочного карбоната, поступающие в больших количествах в выносе обеих рек и обладающие несколько большей размерностью, занимают зону, соответствующую алевритам и частично

пескам, хемогенный CaCO_3 , осаждающийся из раствора в этих же зонах (о чем свидетельствует частое присутствие в прибрежных осадках оолитовых карбонатных зерен), выносятся в силу своих меньших размеров в центральные котловины, относительно обогащая пелитовый материал.

Значение химического осаждения железа в водоеме Аральского моря очень невелико, как незначительно и содержание растворенного железа в водах Аму-Дарьи по сравнению с взвешенным в них железом. Процентное содержание железа в водоеме примерно равно содержанию его в взвеси. Распределение железа, как мы убедились, полностью подчиняется законам механического осаждения. Для органического углерода характерно некоторое накопление его за счет биологических процессов, протекающих в самом водоеме. Однако распределение углерода по площади моря, независимо от его генезиса, целиком подчиняется законам механического осаждения.

Недостаточно подробно исследованное распределение малых элементов по дну водоема не позволяет делать здесь каких-либо окончательных выводов; все же приведенные данные убедительно говорят о приносе основного количества малых элементов в форме взвеси. Основываясь на этом заключении, можно предполагать, что основным процессом, контролирующим распределение этих элементов, должен быть процесс механической седиментации.

Распределение диатомовых, как мы видели на приведенной карте (рис. 24), строго следует направлениям течений, что связано с биологическими особенностями организмов. Некоторое (весьма малое) количество диатомовых попадает в халистатическую зону, но процесс этот протекает недостаточно интенсивно вследствие относительной крупности кремневых створок и прикрепленности ряда бентосных форм.

Из сказанного ясно, что основным процессом, контролирующим распределение всех изученных компонентов осадка в Аральском море и образование отдельных типов осадков на различных его участках, является механический разнос и осаждение различных по гранулометрическому составу частиц, как внесенных в водоем реками, так и образовавшихся в самом бассейне. Иначе говоря, истинные гидродинамические условия в пределах каждого участка водоема определяют в Аральском море образование того или иного типа донного осадка.

2. О некоторых чертах сходства осадкообразования в Аральском море с седиментацией в других водоемах засушливой зоны

Выяснив картину осадкообразовательного процесса, свойственного Аральскому морю, естественно остановиться вкратце на сравнении этого процесса с осадкообразованием в других бассейнах засушливой полосы. Такими водоемами среди уже изученных являются: ближайший аналог Аральского моря — Каспийское море, затем оз. Балхаш и Черное море. Надо сказать, что подобные сопоставления в некоторой степени уже были сделаны Н. М. Страховым (1950), и поэтому на нашу долю остается только рассмотреть, насколько приведенный в настоящей работе материал отвечает сделанным Н. М. Страховым заключениям.

В ряде глав мы уже коснулись сходства осадкообразования отдельных компонентов в Аральском море и в других водоемах. Основной общей закономерностью во всех рассматриваемых водоемах является теснейшая связь в распределении как обломочного материала, так и ряда «хемогенных» компонентов с гидродинамическими условиями водоема. Во всех рассматриваемых водоемах, как правило, центральные более глубоководные их части сложены более тонким пелитовым материалом, обогащенным в процентном отношении такими компонентами, как карбонаты, железо, мар-

ганец, фосфор. Решающее значение на распределение материала имеет везде характер подводного рельефа и направление течений. Это великолюбно иллюстрируется картой осадков Черного и Каспийского морей и оз. Балхаша и очень четко видно на нашем материале по Аральскому морю. Специфические условия каждого из взятых водоемов накладывают свой отпечаток на эти общие закономерности. Так, для Черного, Каспийского и Аральского морей весьма характерно образование придельтовых зон тонкого материала, связанного с выносом очень мощных рек. В условиях Черного и Каспийского морей процесс биогенной садки карбоната создает полосу высоких процентных содержаний CaCO_3 в прибрежных зонах. Образование оолитов, имеющее, как известно, место в Каспийском море, так же как и в условиях Аральского моря, создает повышенное содержание карбонатов в песчаных отложениях.

Интересно отметить изменение полосы отложения песчаного материала в зависимости от размеров водоема. Из сопоставления ширины зоны песков в Черном, Каспийском, Аральском морях и на оз. Балхаш следует, что чем меньше водоем, тем меньшую роль играет в нем полоса прибрежных песчаных отложений. Максимальная ширина этой полосы наблюдается в Черном море; почти сходит на нет роль песков в водоеме оз. Балхаш. Объяснение этого явления, очевидно, следующее: в маленьких водоемах длина разбега волны незначительна, в связи с этим меньше высота (h) и длина (λ) волны и, следовательно, соответственно меньше глубина проникновения ветровых волнений, т. е. гипсометрически выше находится граница зоны взмучивания. Высказанное положение, очевидно, должно в равной мере относиться к отложениям алевритов и глин, залегающих в условиях маленьких водоемов гораздо ближе к береговой линии, чем в больших.

Развивая эту мысль дальше, можно сказать, что отложения того или иного литологического типа осадков определенного гранулометрического состава не являются критерием для суждения о глубине и удаленности береговой линии в любом водоеме; они целиком зависят от характера конкретного водоема, его размеров, рельефа дна, гидрологических условий и, вероятно, силы и направления господствующих ветров. Это обстоятельство особенно важно иметь в виду при интерпретации водоемов прошлого.

* * *

Исследования, проводимые сравнительно-литологическим и историко-геологическим методами, имеют своей конечной целью дать возможно полную реконструкцию условий и механизма осадкообразования ископаемых отложений. Успешное выполнение этой задачи открывает широкие пути практикам геологам для поисков полезных ископаемых, связанных с определенным литологическим типом осадочных горных пород. Подтверждением высказанного положения может служить работа Н. М. Страхова (1948₂), посвященная гипергенным железным рудам. Мы свою задачу ограничивали только первой частью исследования — изучением механизма современного осадкообразования в водоеме засушливого климата. Тем не менее уже теперь представляется возможным хотя бы в общих чертах сравнить современные отложения Аральского моря с литологически сходными аналогами в древних осадках.

Представим себе, что современное Аральское море в ходе естественно-исторического развития постепенно усыхает, осолоняется и через какой-то долгий промежуток времени его осадки превращаются в ископаемые отложения, эродированные в результате последующих процессов тектогенеза.

Комплекс осадочных горных пород, с которыми геолог встретится в естественных обнажениях или же в искусственных выработках, при

изучении этого района будет очевидно представлен переслаиванием песков, мелких алевритов и глин. Все перечисленные породы будут в большей или меньшей степени карбонатны, от слабо карбонатных песков до мергелей и даже известняков, причем, как следует из проведенных в настоящей работе исследований, степень карбонатности должна возрастать по мере утоньшения терригенного материала.

В распределении железа, марганца и редких элементов, очевидно, можно будет подметить те же закономерности, которые наблюдаются в современных осадках. Некоторые изменения в распределении отдельных элементов будут наблюдаться в связи с процессами диагенеза и литогенеза, но общий литологический тип пород, нам кажется, сможет быть представлен на основании изучения современных осадков. Некоторые слои будут довольно интенсивно обогащены гипсом, что мы наблюдаем и в современных условиях при изучении образцов, взятых трубкой Экмана.

Верхи разреза будут представлены галогенными отложениями, примерно аналогичными встречаемым сейчас в реликтовых озерах Аральского моря. Наиболее хорошо изученным среди них является оз. Джаксы-Клыч, об осадках которого имеется сравнительно обширная литература (Бадер, 1934; Клебанов, Корф и Еловская, 1937; Николаев и Фрадкина, 1944 и ряд других). Довольно пестрая смена пород по вертикали будет сопровождаться столь же пестрым как по цвету, так и по литологическому составу, их распределением в пространстве. Наблюдаемое в настоящее время изменение цветности донных осадков, связанное с различными источниками питания и степенью карбонатности, сохранится, по всей вероятности, и в будущих ископаемых породах.

Своеобразная пятнистость в виде бесформенных зеленоватых и голубоватых пятен на общем розоватом фоне, наблюдаемая нами в современных аральских осадках, возникает, вероятно, уже в самом раннем диагенезе илов в результате местного восстановления железа. Подобная же пятнистость, повидимому, будет одним из характерных внешних признаков образующихся пород.

В целом уже сейчас аральскую серию, как нам кажется, можно считать формирующимся аналогом многих древних пестроцветных континентальных толщ. Все эти осадки, подобно современным аральским, формировались в предгорных впадинах аридной зоны, часто заполненных озерами, куда сносился с высоких горных цепей осадочный материал. В частности, аральские осадки, возможно, аналогичны третичным осадкам Средней Азии, породам продуктивной толщи Азербайджана, озерным глинам пестроцветного комплекса верхней перми Русской платформы и другим древним отложениям.

ЛИТЕРАТУРА

- А лекс и н О. А. К вопросу о происхождении солевого состава воды Аральского моря. Метеорология и гидрология, 1947, № 4.
- А р х а н г е л ь с к и й А. Д. и С т р а х о в Н. М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.—Л., Изд. Академии Наук СССР, 1938.
- Б а д е р Ф. Ф. 1. Состав воды Аральского моря. Исследование озер СССР, 1934, вып. 6.
- Б а д е р Ф. Ф. 2. Соляное озеро Джаксы-Клыч и Чумыш-Куль. Исследование озер СССР, 1934, вып. 6.
- Б а р т о л ь д В. Сведения об Аральском море и низовьях Аму-Дарьи с древнейших времен до XVII ст. Изв. Туркест. отд. Русск. геогр. общ., 1902, 4, вып. 2. Научные результаты Аральской экспедиции.
- Б е н и н г А. Л. Материалы к составлению промысловой карты Аральского моря. Тр. Аральск. отд. Научно-исслед. инст. морск. рыбн. хоз. и океаногр., 1935, 4.
- Б е р г Л. С. Аральское море. Изв. Туркест. отд. Русск. геогр. общ., 1908, 5.
- Б р о д с к а я Н. Г. Карбонатообразование в Аральском море. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1949, № 6.

- Бруевич С. В. Карбонаты в осадках Каспийского моря. Доклады Акад. Наук СССР, 1946, 54, № 2.
- Будянская М. Л. Миграция фосфора в донных отложениях Каспийского моря. Тр. Гос. океаногр. инст., 1948, вып. 5.
- Виноградова Е. Г. Гидрохимический очерк Аральского моря. Тр. Гос. океаногр. инст., 1948, вып. 10.
- Гильзен К. К. Грунт Аральского моря. Изв. Туркест. отд. Русск. геогр. общ., 1911, 8, вып. 1. Научные результаты Аральской экспедиции, вып. 10.
- Горшкова Т. И. Химико-минералогическое исследование Баренцова и Белого морей. Тр. Гос. океаногр. инст., 1931, 1, вып. 2—3.
- Горшкова Т. И. Органическое вещество в осадках Мотовского залива. Тр. Всесоюз. научно-исслед. инст. рыбы. хоз. и океаногр., 1938, 5.
- Зайков Б. Д. Современный и будущий водный баланс Аральского моря. Тр. научно-исслед. учрежд. Гидрометслужбы, сер. 4, 1946, вып. 39.
- Зенкович В. П. Донные отложения Аральского моря. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1947, 22, вып. 4.
- Иванов К. И. О зависимости между прозрачностью и содержанием взвешенных веществ. Тр. Гос. океаногр. инст., 1948, вып. 10.
- Клебанов Г. С., Корф Д. М. и Еловская Л. П. Соляное озеро Джаксы-Клыч. В кн. Приаральские соляные озера. Тр. Солян. лаборат. Акад. Наук СССР, 1937, вып. 12.
- Кленова М. В. К вопросу о классификации грунтов. Зап. по гидрографии, 1930, 62.
- Кленова М. В. Геология моря. М., Учпедгиз, 1948.
- Курсанов Л. И. и Комарницкий И. А. Курс низших растений. Изд. Советская наука, 1945.
- Лизунов Н. В. и Петров В. П. Содержание микроэлементов в уральских огнеупорных глинах и каолинах. В кн. Вопросы минералогии, геохимии и петрографии. М.—Л., Изд. Акад. Наук СССР, 1946.
- Николаев Р. И. и Фрадкина Х. В. Изотермические пути кристаллизации солей при испарении воды Аральского моря. Изв. Акад. Наук СССР, 1944.
- Никольский Г. В. Рыбы Аральского моря. Мат. к познанию фауны и флоры СССР, нов. сер., отд. зоол., 1940, вып. 1.
- Пахомова А. С. Марганец в морских осадках. Тр. Гос. океаногр. инст., 1948, вып. 5 (17).
- Перфильев Б. В. К методике исследования иловых отложений. Тр. Бородинск. пресноводн. биол. ст., 1927, 5.
- Поляков В. В. Исследование стока взвешенных и донных наносов. Л., 1935.
- Пустовалов Л. В. Петрография осадочных пород, ч. 1 и 2. М., Гостоптехиздат, 1940.
- Пустовалов Л. В. О терригенно-минералогических фациях. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1947, 22, вып. 5.
- Розен М. Ф. Условия образования наносов в дельте р. Волги. Тр. Касп. комиссии, 1928.
- Розенгрин Г. Химический анализ воды у западного берега Аральского моря. Зап. Оренбург. отд. Русск. геогр. общ., 1875, вып. 3.
- Самойлов Я. В. Биолиты. Л., Научно-хим.-техн. изд., 1929.
- Сапожников Д. Г. Современные осадки и геология оз. Балхаш. Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук СССР, 1951, вып. 132.
- Северцев К. О. О результатах физико-географических наблюдений в Арало-Каспийских степях в 1874 г. Изв. Русск. геогр. общ., 1875, 11.
- Семихатов В. Н. Геологическое строение юго-восточного побережья Аральского моря между Чимбаем и Казалинском. Зап. Мин. общ., 1918, ч. 51, вып. 1.
- Сидоренко М. Н. Петрографическое описание образцов осадков со дна Аральского моря. Изв. Туркест. отд. Русск. геогр. общ., 1911, 8, вып. 1. Научные результаты Аральской экспедиции, вып. 10.
- Скопинцев В. А. О коагуляции терригенных взвешенных частиц речного стока в морской воде. Изв. Акад. Наук СССР, сер. географ. и геофиз., 1946, 10, № 4.
- Скопинцев В. А. О коагуляции гумусовых веществ речного стока в морской воде. Изв. Акад. Наук СССР, сер. географ. и геофиз., 1947, 11, № 1.
- Степанов Н. И. Анализ воды Аральского моря. Изв. Туркест. отд. Русск. геогр. общ., 1907, 4. Научные результаты Аральской экспедиции, вып. 7.
- Степанова К. М. Вещества, сбрасываемые водой рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи в Аральское море. Доклады Акад. Наук СССР, 1948, № 2.
- Страхов Н. М. Доманиковая фация Южного Урала. Тр. Инст. геол. наук Акад. Наук СССР, 1939, вып. 16.
- Страхов Н. М. 1. О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1945, 20, вып. 2.
- Страхов Н. М. 2. Карбонаты в современных лагунных водоемах и их значение для

- проблемы доломитообразования. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1947, 22, вып. 4.
- Страхов Н. М. 3. К познанию закономерности и механизма морской седиментации. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1947, № 2.
- Страхов Н. М. 4. О карбонатном режиме рек. Сов. геол., 1947, сб. 16.
- Страхов Н. М. Распределение железа в осадках озерных и морских водоемов и факторы, его контролирующие. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1948, № 4.
- Страхов Н. М. К познанию закономерностей и механизма морской седиментации. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1950, № 1.
- Тейх Н. Анализ воды Аральского моря. Туркест. ведомости, 1872, № 19 и 28.
- Теодорович Г. И. Основные типы хемогенного CaCO_3 в карбонатных осадочных породах. Доклады Акад. Наук СССР, 1945, 49, № 4.
- Шмидт К. и Доронт В. Гидрографические исследования труда Аму-Дарьинской экспедиции. СПб., 1878.
- Шостакович В. П. Иловые отложения озер и периодические колебания в явлениях природы. Зап. Гос. гидрол. инст., 1927, 13.
- Шостакович В. П. Слоистые иловые отложения и некоторые вопросы геологии. Изв. Всесоюз. геогр. общ., 1941, 73, № 3.
- Шульц В. Л. Водный баланс дельты Аму-Дарьи. Тр. Узб. геогр. общ., 1948, 2(21).
- Яншин А. Л. Тектоника северного Приаралья. Доклады Акад. Наук СССР, 1939, 23, № 8.
- Яншин А. Л. и Вахрамеев В. А. Палеозой в северном Приаралье. Доклады Акад. Наук СССР, 1941, 30, № 9.
- Andree K. Geologie des Meeresbodens, Bd. 2. Leipzig, 1920.
- Sorgens C. Die Verfahren der Gewinnung und Untersuchung der Sedimente. Wiss. Ergebn. d. Deutsche Atlantische Expedition auf dem «Meteor» 1925—1927, Bd. 3, Teil 3, Lief. 1; Die Sedimente des äquatorialen Atlantischen Ozeans. Berlin, 1935.
- Gripenberg S. A study of sediments of the North Baltic and adjoining seas. Fennia, 1934, 60, № 3.
- Higazu R. A. a. Shukri N. M. Mechanical analysis of some bottom deposits of the northern Red sea. Journ. Sediment. Petrology, 1944, 14, № 2.
- Krümmele O. Handbuch der Ozeanographie, Bd. 1. Stuttgart, 1907.
- Murray J. a. Renard A. F. Deep sea deposits. Rep. on the Scient. Res. of the voyage of H. M. S. Challenger. London, 1891.
- Shepard F. The sediments of continental shelves. Bull. Geol. Soc. Amer., 1932, 43, № 3—4.
- Thorpe E. M. Calcareous shallow-water marine deposits of Florida and the Bahamas. Carnegie Inst. Washington, 1935, publ. № 452.
- Trask P. D. Recent marine sediments; a symposium. London, 1939.
- Waksmann S. A. On the distribution of organic matter in the sea bottom and the chemical nature and origin of marine humus. Woods Hole Oceanograph. Inst., 1934, № 12.
-

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Введение	1
1. Задачи работы	1
2. К истории исследования осадков Аральского моря	2
3. Отбор проб и методы их изучения	3
Глава I. Общая характеристика Аральского моря как водоема	5
1. Физико-географические условия	5
2. Рельеф дна водоема	6
3. Гидрологический очерк	7
4. Гидрохимические условия водоема	9
5. Питание водоема	10
Глава II. Донные осадки	16
1. Классификация осадков	16
2. Типы осадков	18
3. О стратификации осадков Аральского моря	33
Глава III. Распределение терригенного бескарбонатного материала на площади дна Аральского моря	43
1. Разнос песчаного, алевритового и пелитового материала бескарбонатной части осадка в водоеме Аральского моря	43
2. Распределение средних диаметров терригенного бескарбонатного материала осадков на площади дна Аральского моря	48
3. Минералогический состав терригенной бескарбонатной части аральских грунтов и его распределение по дну водоема	50
4. О цвете донных осадков Аральского моря как показателе разноса терригенного бескарбонатного материала	56
Глава IV. Карбонатность донных осадков Аральского моря	58
1. Питание Аральского моря карбонатным материалом и карбонатная характеристика аральской воды	58
2. Морфологические и генетические типы карбонатов в осадках Аральского моря	61
3. Распределение карбонатов в осадках Аральского моря	71
Глава V. Железо, марганец, фосфор, органический углерод и аутигенная кремниевая кислота в осадках Аральского моря	74
1. Железо	74
2. Марганец	80
3. Фосфор	81
4. Малые элементы	82
5. Органический углерод	90

- проблемы доломитообразования. Бюлл. Моск. общ. испыт. природы, отд. геол., 1947, 22, вып. 4.
- Страхов Н. М. 3. К познанию закономерности и механизма морской седиментации. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1947, № 2.
- Страхов Н. М. 4. О карбонатном режиме рек. Сов. геол., 1947, сб. 16.
- Страхов Н. М. Распределение железа в осадках озерных и морских водоемов и факторы, его контролирующие. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1948, № 4.
- Страхов Н. М. К познанию закономерностей и механизма морской седиментации. Изв. Акад. Наук СССР, сер. геол., 1950, № 1.
- Тейх Н. Анализ воды Аральского моря. Туркест. ведомости, 1872, № 19 и 28.
- Теодорович Г. И. Основные типы хемогенного CaCO_3 в карбонатных осадочных породах. Доклады Акад. Наук СССР, 1945, 49, № 4.
- Шмидт К. и Доронт В. Гидрографические исследования труда Аму-Дарьинской экспедиции. СПб., 1878.
- Шостакович В. П. Иловые отложения озер и периодические колебания в явлениях природы. Зап. Гос. гидрол. инст., 1927, 13.
- Шостакович В. П. Слоистые иловые отложения и некоторые вопросы геологии. Изв. Всесоюз. геогр. общ., 1941, 73, № 3.
- Шульц В. Л. Водный баланс дельты Аму-Дарьи. Тр. Узб. геогр. общ., 1948, 2(21).
- Яншин А. Л. Тектоника северного Приаралья. Доклады Акад. Наук СССР, 1939, 23, № 8.
- Яншин А. Л. и Вахрамеев В. А. Палеозой в северном Приаралье. Доклады Акад. Наук СССР, 1941, 30, № 9.
- Andree K. Geologie des Meeresbodens, Bd. 2. Leipzig, 1920.
- Sorgens C. Die Verfahren der Gewinnung und Untersuchung der Sedimente. Wiss. Ergebn. d. Deutsche Atlantische Expedition auf dem «Meteor» 1925—1927, Bd. 3, Teil 3, Lief. 1; Die Sedimente des äquatorialen Atlantischen Ozeans. Berlin, 1935.
- Gripenberg S. A study of sediments of the North Baltic and adjoining seas. Fennia, 1934, 60, № 3.
- Higazu R. A. a. Shukri N. M. Mechanical analysis of some bottom deposits of the northern Red sea. Journ. Sediment. Petrology, 1944, 14, № 2.
- Krümmele O. Handbuch der Ozeanographie, Bd. 1. Stuttgart, 1907.
- Murray J. a. Renard A. F. Deep sea deposits. Rep. on the Scient. Res. of the voyage of H. M. S. Challenger. London, 1891.
- Shepard F. The sediments of continental shelves. Bull. Geol. Soc. Amer., 1932, 43, № 3—4.
- Thorp E. M. Calcareous shallow-water marine deposits of Florida and the Bahamas. Carnegie Inst. Washington, 1935, publ. № 452.
- Trask P. D. Recent marine sediments; a symposium. London, 1939.
- Waksmann S. A. On the distribution of organic matter in the sea bottom and the chemical nature and origin of marine humus. Woods Hole Oceanograph. Inst., 1934, № 12.
-

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Введение	1
1. Задачи работы	1
2. К истории исследования осадков Аральского моря	2
3. Отбор проб и методы их изучения	3
Глава I. Общая характеристика Аральского моря как водоема	5
1. Физико-географические условия	5
2. Рельеф дна водоема	6
3. Гидрологический очерк	7
4. Гидрохимические условия водоема	9
5. Питание водоема	10
Глава II. Донные осадки	16
1. Классификация осадков	16
2. Типы осадков	18
3. О стратификации осадков Аральского моря	33
Глава III. Распределение терригенного бескарбонатного материала на площади дна Аральского моря	43
1. Разнос песчаного, алевритового и пелитового материала бескарбонатной части осадка в водоеме Аральского моря	43
2. Распределение средних диаметров терригенного бескарбонатного материала осадков на площади дна Аральского моря	48
3. Минералогический состав терригенной бескарбонатной части аральских грунтов и его распределение по дну водоема	50
4. О цвете донных осадков Аральского моря как показателе разноса терригенного бескарбонатного материала	56
Глава IV. Карбонатность донных осадков Аральского моря	58
1. Питание Аральского моря карбонатным материалом и карбонатная характеристика аральской воды	58
2. Морфологические и генетические типы карбонатов в осадках Аральского моря	61
3. Распределение карбонатов в осадках Аральского моря	71
Глава V. Железо, марганец, фосфор, органический углерод и аутигенная кремниевая кислота в осадках Аральского моря	74
1. Железо	74
2. Марганец	80
3. Фосфор	81
4. Малые элементы	82
5. Органический углерод	90

6. Распределение аутигенной кремнекислоты в донных отложениях Аральского моря	94
<i>Глава VI. Общая схема осадкообразования в Аральском море</i>	<i>97</i>
1. Механизм аральской седиментации	97
2. О некоторых чертах сходства осадкообразования в Аральском море с седиментацией в других водоемах засушливой зоны	100
Литература	102

*Утверждено к печати Институтом
зоологических наук
Академии Наук СССР*

*

Редактор издательства *Г. И. Носов*
Технический редактор *А. А. Киселева*
Корректор *И. А. Корнелиус*

*

РИСО А I СССР № 4—19В. Т-09357. Издат. № 3650
Тип. заказ № 668. Подп. к печ. 15/XII 1952 г.
Формат бум. 70×108¹/₁₆. Бум. л. 3,37 Печ. л. 9,25
Уч.-издат. 9. Тираж 1200.

Цена по прейскуранту 1952 г. 6 р. 30 к.

2-я тип. Издательства Академии Наук СССР
Москва, Шубинский пер., д. 10.

