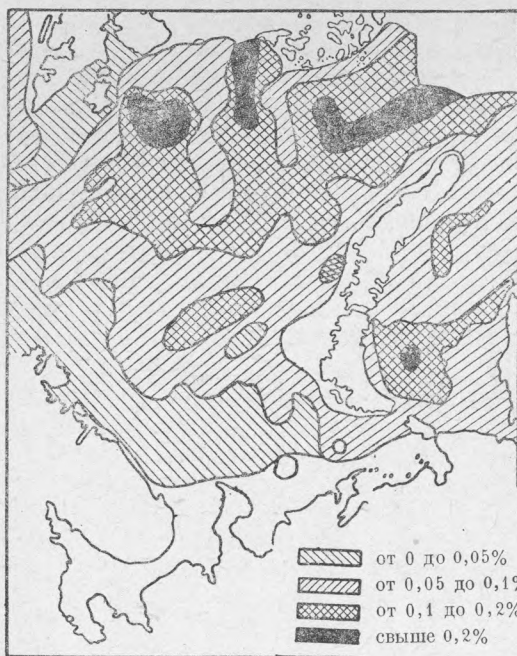


М. В. КЛЕНОВА и М. Л. БУДЯНСКАЯ

ФОСФОР В ОСАДКАХ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ

(Представлено академиком В. И. Вернадским 17 IV 1939)

Режим фосфора в воде достаточно полно освещен океанографическими исследованиями последнего десятилетия. Многочисленные данные мы находим также по распределению фосфора в осадочных горных породах



Фиг. 1. Распределение фосфора в осадках Баренцова и Карского морей.

в связи с вопросом образования фосфоритов. В современных осадках морского дна фосфор, по справедливому замечанию Кайе (1), «находили везде, где его искали». Данные по содержанию фосфора в осадках мы находим в анализах образцов «Челленджера» и других классических океанографических экспедиций. Отдельные цифры содержания фосфора дают А. Д. Архангельский и Е. В. Копченова (2), Т. И. Горшкова (3), Моор (4), Стрем (5) и др. Эти работы, однако, не дают возможности связать ту или иную концентрацию фосфора в осадке с физико-географическими условиями его отложения.

С целью установить эту связь нами было подробно изучено распределение фосфора в верхнем слое осадков северных морей. Из многочисленных сборов, главным образом, быв. Государственного океанографического

института, ныне Института морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) в Баренцовом, Карском и, отчасти, в Гренландском море определения фосфора были сделаны для 214 станций, более или менее равномерно распределенных по указанным морям. Специально разработанный метод быстрого массового определения Р позволил сравнительно с небольшой затратой времени составить карту содержания фосфора в поверхностном

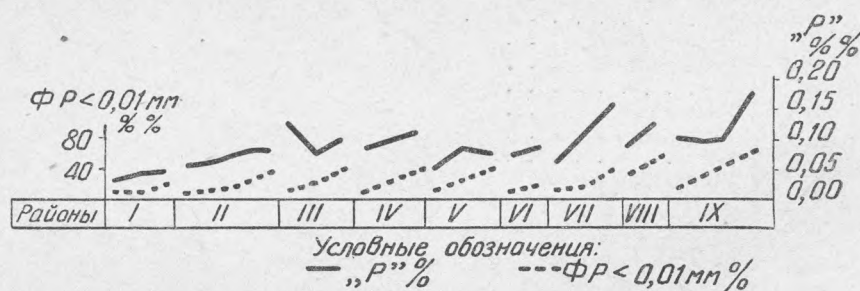
слое осадка*. Количество фосфора оказалось равным от следов до 0,32% (на абсолютно сухую навеску).

По карте видно (фиг. 1), что общее количество фосфора повышается к северу в Баренцовом море и к более глубоким частям Карского моря. В то время как у южных берегов содержание фосфора не превышает 0,05%P, в центральной части Баренцова моря и в краевых участках Карского оно повышается до 0,10%, на севере же доходит до 0,20—0,32%.



Фиг. 2. Районы: I. Южное мелководье. II. Новоземельское мелководье. III. Медвежинская банка. IV. Центральная возвышенность. V. Западный глубокий. VI. Центральная впадина. VII. Возвышенность Персея. VIII. Северное плато. IX. Карское море.

Сравнивая распределение фосфора с физико-географическими условиями седиментации—глубиной, механическим составом осадка, его цветом, температурой и соленостью придонной воды, содержанием в ней фосфора и других элементов, с газовым режимом, распределением биомассы бентоса, с гидродинамическими условиями и пр.—мы убедились, что прямая и непосредственная связь между накоплением фосфора и воздействием одного какого-либо фактора отсутствует. Жизнь каждого водо-



Фиг. 3.

ема, а особенно такого сложного по рельефу дна, как Баренцово море, представляет собой тесное сплетение—единство самых разнообразных, часто противоречивых факторов. Исследуя течение какого-либо процесса в море, мы должны прежде всего найти общий ход этого процесса, общие тенденции живой, движущейся противоречивой динамики и только на основе этих тенденций можно вывести те или иные закономерности. Даже при пользовании обширным цифровым материалом нельзя ограничиться

* Фосфор определялся алкалиметрическим объемным методом путем обработки навески царской водкой, осаждения молибдатом аммония и растворения осадка в 0,1 N щелочи с обратным титрованием 0,1 N серной кислотой. Метод подробно изложен в работе М. Л. Будянской и дает цифры, совпадающие с определением фосфора по Вою.

чисто статистической его обработкой. Каждый участок необходимо рассмотреть конкретно.

Сравнивая содержание фосфора в осадке с глубиной станции (фиг. 2), мы видим, что в участках, бедных фосфором, т. е. в Баренцовом море, на мелководьях—близ Новой Земли, у Шпицбергена и на Центральной возвышенности—количество фосфора в осадке при увеличении глубины падает. Эта зависимость выражена значительно менее четко для Канинского и Печорского районов, а также для глубин Центральной и Западной впадин. Районы с большим содержанием фосфора—возвышенность Персея, Северное плато, Карское море—дают обратную зависимость, т. е. с увеличением глубины содержание фосфора увеличивается.

Так же располагаются кривые соотношения содержания фосфора в осадке в связи с механическим составом последнего (фиг. 3). В районах, богатых фосфором, а также на Центральной возвышенности и в Центральной впадине, измельчение материала ведет за собой увеличение содержания фосфора. В прочих участках количество фосфора иногда повышается с увеличением крупности зерна. Наиболее обогащен фосфором песчанистый ил южного и новоземельского мелководья и западного глубинного района, а также илистый песок Медвежинской банки и Карского моря.

Распределение фосфора в осадках северных морей в связи с механическим составом

Группы по содержанию Р в %	Тип осадка	Р а й о н ы					
		Медвежинско-Шпицбергенский		Возвышенность Персея		Карское море	
		Р, %	А	Р, %	А	Р, %	А
0.10	Илистый песок . . .	0.090	12	0.053	6	0.075	14
	Песчанистый ил . . .	0.067	4	0.083	5	0.058	3
	Ил	0.090	3	0.070	2	0.077	2
0.10—0.20	Илистый песок . . .	0.160	24	—	—	0.160	19
	Песчанистый ил . . .	0.110	5	0.100	5	0.117	6
	Ил	0.110	3	0.170	5	0.115	3
0.20	Глинистый ил . . .	—	—	—	—	0.130	2
	Песчанистый ил . . .	—	—	0.240	11	—	—
	Ил	—	—	0.250	6	—	—
	Глинистый ил . . .	—	—	—	—	0.220	4

$$A = \frac{P \% \times 1000}{\text{фракция} < 0.01 \text{ мм}}$$

Повышение соотношения фосфора и мелкой фракции осадка показывает, что здесь имеется какой-то фактор концентрации фосфора, независимый от гидродинамических условий. Сопоставляя данные по отдельным станциям, мы получаем, что повышенное содержание фосфора в крупнозернистых осадках в Медвежинском районе совпадает с распределением струй Нордкапского течения, а в Карском море эти станции располагаются на мелководье в участках поднятия глубинных вод.

Средние подсчеты по всему морю показывают прямолинейную зависимость между глубиной и содержанием фосфора в осадке, а также между этим последним и механическим составом, т. е. чрезвычайно важные моменты для суждения о генезисе фосфора сглаживаются. Из числа гидрологических факторов наилучшее совпадение распределение фосфора дает с динамикой вод. Можно подметить так же, как и для марганца (см. ниже

статью М. В. Кленовой и А. С. Пахомовой), закономерное повышение содержания фосфора в связи с увеличением градиента солености, т. е. с отсутствием перемешивания воды. Другими словами, при прочих равных условиях фосфор концентрируется в халистатических зонах, т. е. в участках круговых движений воды, а, как известно, именно в этих участках наблюдается минимальное развитие донной и планктонной жизни. Следовательно, в этих участках он мало и потребляется. Отсюда делается понятным обратное соотношение количества фосфора в осадке и биомассы бентоса.

Как нам уже приходилось отмечать ⁽⁶⁾, в зонах пониженной вертикальной циркуляции, где донная фауна и бактериальное население подавлены, железо и марганец находятся в осадке в окисленном состоянии и, очевидно, крепко связывают ион фосфорной кислоты. В зонах хорошей вертикальной циркуляции, например, в области «полярного фронта», богатое развитие органической жизни и интенсивные процессы разложения органического вещества ведут к восстановлению полуторных окислов и разрывают связь между ними и фосфорной кислотой. Фосфор из органических остатков быстро минерализуется, и круговорот его замыкается в воде.

Совершенно понятно, таким образом, увеличение количества фосфора в связи со степенью окисления осадка. Аналогичное явление давно отмечено для почв, где при большом количестве разлагающегося органического вещества в виде навоза фосфор не сохраняется, а быстро переходит в растворимое состояние и удаляется с почвенной водой. Железо же в суперфосфате, напротив, связывает фосфор и переводит его в нерастворимое состояние.

Полуторные окислы, скопляющиеся в коричневых осадках северных морей, являются тем реактивом, который заставляет фосфор выпадать в осадок. Даже в участках с малым содержанием фосфора количество последнего везде повышается в пробах с более развитым окисленным слоем. Однако одного присутствия полуторных окислов недостаточно, чтобы вызвать концентрацию фосфора. Доказательством этого является Карское море, где почти все осадки имеют коричневый цвет, где марганец концентрируется в максимальном количестве, содержание же фосфора повышено в значительно меньшей степени, чем в северных частях Баренцова моря.

В последнее время А. В. Казаковым ⁽⁷⁾ высказано предположение, что концентрация фосфора в осадочных породах представляет собой чисто химический процесс — осаждение избытка фосфатов из богатой ими глубинной воды на шельфах в районах ее поднятия. Как указано выше, станции с повышенным содержанием фосфора в крупнозернистых осадках совпадают со струями Нордкапского течения. В северной части Баренцова моря мы также имеем более богатую фосфором атлантическую воду, но то небольшое обогащение ее фосфором, которое отмечается гидрохимическими работами ⁽⁸⁾, объясняется не тем, что она приходит с больших глубин, а гидродинамическими условиями. Атлантическая вода на севере Баренцова моря в районах развития коричневых осадков, богатых фосфором, находится в виде прослойки — теплого промежуточного слоя, не перемешивающегося с выше- и нижележащими слоями и сохраняющего в себе все опустившиеся сверху органические остатки и продукты их распада.

Однако одно это не обуславливает накопления фосфора, так как такое же положение атлантической воды мы имеем и на западе, в районе Медвежьинской банки и Западной впадины, где, однако, больших концентраций фосфора не обнаружено. Тут выявляется роль полуторных окислов.

На севере, а также в Карском море поступают полярные воды, богатые кремнекислотой и полуторными окислами, вымытыми в процессе подзолистого почвообразования водами больших сибирских рек. Перемешиваясь в застойных зонах с атлантическими водами, они дают так называемую арктическую воду Баренцова моря, с наличием которой связано развитие бурой окисленной пленки. Это сочетание условий заставляет фосфор выпадать в осадок и концентрироваться в нем почти в три раза по сравнению с средним его содержанием в осадочных породах.

Как показывают наши исследования, накопление фосфора в осадках песчано-глинистой фации происходит при низкой температуре и в окислительной среде. Отсюда понятно, что, несмотря на большое содержание фосфора в воде Черного моря и норвежских фиордов, выпадения его в осадок почти не происходит.

Для решения вопроса об образовании фосфоритовых конкреций, а также целых пластов фосфата кальция, известных в ископаемом состоянии, необходимы дополнительные исследования. Предположительно в морях Дальнего Востока можно наметить некоторые участки, где по аналогии с Баренцовым и Карским морем придется ожидать концентрацию фосфора.

Современные исследования по гидрологии моря⁽⁹⁾ накопили уже достаточно данных, говорящих о том, что водные массы, образовавшиеся в каких-либо одних условиях солености, температуры, газового режима и пр., вследствие присущей водной среде внутренней устойчивости⁽¹⁰⁾ долго сохраняют свои свойства и свой состав и в процессе циркуляции переносят их на далекие расстояния. Встреча и перемешивание водных масс различного происхождения и состава ведут к образованию тех или иных химических осадков и превращают морское дно в вечно работающую лабораторию.

Лаборатория геологии моря
Всесоюзного института морского рыбного
хозяйства и океанографии № 119.

Поступило
19 IV 1940

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ L. Сауеих, L'introduction à l'étude petrographique des roches sédimentaires (1916). ² А. Д. Архангельский и Е. В. Копченова, Изв. Акад. Наук СССР, № 3 (1930). ³ Т. И. Горшкова, Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1, 2—3 (1931). ⁴ Н. В. Моор, Journ. Mar. Biol. Assoc. N. ser., XVI, 2 (1930); XVII, 2 (1931). ⁵ R. M. Strøm, Skrifter d. Norske vid. Akad. Oslo. I Mat.-Nat. Klasse, № 7 (1936). ⁶ М. В. Кленова, Сборн. в честь 50-летия акад. В. И. Вернадского, изд. АН СССР (1936). ⁷ А. В. Казakov, Сов. геология, № 6 (1938) и др. работы. ⁸ С. В. Бруевич, Докл. 1 сессии ГОИН 'а, № 1 (1931). ⁹ Н. Н. Зубов, Морские воды и льды (1938). ¹⁰ М. В. Кленова, «Сорена», № 5 (1934).