

Ястребова Л. А.

ХЛОРОФИЛЛ В МОРСКИХ ОСАДКАХ¹

Химические и физические свойства хлорофилла

По химическому составу хлорофилл представляет собой эфир трикарбоновой кислоты $[C_{31}H_{29}N_4Mg] [CO_2CH_3] (CO_2H) [CO_2C_{20}H_{39}]^2$, состоящий из хромогенного ядра фитохромаина и трех карбоксилатов, из которых первый связан с метиловым спиртом, второй остается свободным и третий соединен с высшим непредельным спиртом $C_{20}H_{39}OH$, который называется фитолом и по весу составляет $\frac{1}{3}$ часть хлорофилла. Спиртовой раствор хлорофилла имеет в проходящем свете яркозеленый цвет, в отраженном — кроваво-красный, — окраска зависит от присутствия магния. При действии кислот магний от хлорофилла отщепляется, и получающийся продукт принимает бурую окраску и называется хлорофилланом или иначе феофитином; при прибавлении солей меди или железа, металл становится на место магния и хлорофиллан вновь приобретает зеленую окраску. При обработке хлорофилла щелочами получаются солеобразные соединения, которые удерживают магний в прежней комплексной связи. Кислород действует на хлорофилл разрушающим образом, причем на свету этот процесс идет быстрее.

Вытяжки из листьев зеленых растений содержат, кроме хлорофилла, желтые пигменты, каротин — углеводород $C_{40}H_{56}$ и продукт его окисления — ксантофилл $C_{40}H_{56}O_2$.

Спектр хлорофилла имеет семь полос поглощения. Три из них находятся за линией f в более преломляемой части спектра, остальные четыре — в менее преломляемой. Если раствор хлорофилла слаб³, то заметна лишь одна полоса поглощения между линиями B и C в красных лучах около волны длиной 666 μ . При большей концентрации начинается затемняться фиолетовая и синяя часть спектра и появляются темные полосы в оранжевых и желтых лучах, которые скоро сливаются в одну широкую полосу. При очень высокой концентрации задерживаются частично даже наиболее легко пропускаемые зеленые лучи и проходит только часть крайних красных лучей.

¹ Работа по определению хлорофилла в морских осадках была поставлена в секторе геологии моря Б. Государственного океанографического института по предложению и под руководством проф. М. В. Кленовой.

В 1931 г. были произведены определения хлорофилла в верхнем слое осадков Мотовского залива. Результаты этой работы изложены в статье М. В. Кленовой и Л. А. Ястребовой «Хлорофилл в осадках, как показатель газового режима бассейна» (этот выпуск).

Данная статья посвящена результатам работ 1933 г., когда работа по определению хлорофилла в морских осадках была расширена и анализировались пробы грунта не только из верхнего слоя осадка, но также и собранные послойно в глубину.

² Иост А. Физиология растений. М., 1914.

³ Иванов Л. А. Физиология растений. М., 1931.

Хлорофиллан дает те же линии поглощения, что и хлорофилл, но отличается от последнего резким увеличением четвертой полосы поглощения в зеленой части спектра и способностью легко растворяться в чистом бензине и петролейном эфире.

Спектр каротина и ксантофилла имеет две линии поглощения в синей части спектра с конечным сплошным поглощением.

I

Литература, посвященная вопросу накопления хлорофилла в осадках, очень невелика. Первая работа по определению хлорофилла в сапропеле принадлежит проф. В. Н. Любименко¹. Автором приводится список литературы, начиная с 40-х годов прошлого столетия, в которой имеются лишь краткие указания на присутствие хлорофилла в отложениях озерного ила.

Для выяснения причины постоянного наличия в сапропеле хлорофилла и отсутствия последнего, как правило, в торфе и перегнойной почве Любименко были поставлены специальные опыты. В запаянных пробирках в воде в течение 4 лет хранились водоросли и листья пшеницы, при этом одна партия пробирок все время находилась в темноте, другая на свету. Пшеница на свету очень быстро начала обесцвечиваться, в темноте же она потеряла зеленую окраску к концу третьего года; обесцвечивание водорослей на свету началось только к третьему году, в темноте водоросли за все это время совершенно не изменились и спиртовая вытяжка из них дала спектр поглощения хлорофилла. Из этого опыта автор делает заключение, что хлорофилл в водорослях лучше защищен от посмертного окисления энзимами самих водорослей, чем в растениях наземных, и поэтому имеет больше шансов сохраниться до перехода в бескислородную среду; этому способствует, по мнению Любименко, также ослабление света на дне водоемов и малое содержание кислорода в придонных слоях воды.

Любименко были произведены определения отдельных пигментов в сапропеле. Результаты анализов показали, что в пробах, взятых с болота из-под торфа, почти весь хлорофилл перешел в хлорофиллан. Автор это объясняет действием просачивающихся гуминовых кислот. В пробах из озер пигмент состоял из смеси хлорофилла и хлорофиллана с примесью каротина и ксантофилла. Какой-либо ясной зависимости между характером пигмента и глубиной слоя в сапропеле обнаружено не было; в пробах, взятых с 4 м глубины, были найдены те же пигменты, что доказывает хорошую сохранность последних в сапропеле. При этом автор указывает, что хлорофиллан, как продукт, образующийся из хлорофилла, в кислой среде может служить хорошим индикатором на присутствие кислот и их относительное количество.

В 1930 г. вышла работа Д. М. Раузер-Черноусовой² о количественном определении хлорофилла в донных осадках Черного моря. Автора интересовало количество хлорофилла в осадке для учета органического вещества растительного происхождения. При этом автор отмечает, что благоприятными условиями для накопления хлорофилла являются: богатая органическая жизнь, особенно водорослей, быстрая седиментация, анаэробность и процессы гниения в отлагающихся донных осадках.

¹ Любименко В. Н. О хлорофилле в отложениях озерного ила. «Журнал Русск. ботан. общ.», т. 6, Л., 1921.

² Раузер-Черноусова Д. М. О количественном определении хлорофилла в современных и ископаемых морских осадках. «Бюлл. Моск. общ. испытателей природы», отд. геологии, т. VIII, вып. 3—4, М., 1930.

Произведенные анализы разбиваются на 3 группы: 1) верхнеокисленного слоя осадков Севастопольской бухты; 2) колонок черноморских грунтов по различным горизонтам и 3) нижнесарматских глин Севастопольского района.

Определения хлорофилла в осадках Севастопольской бухты дали возможность наметить районы с различным содержанием хлорофилла, количество которого здесь колеблется от 1.11 до 11.34 мг на 100 г воздушно-сухого осадка.

В донных осадках Черного моря анализы сделаны по трем горизонтам: современных осадков, подстилающих их древнечерноморских и верхнеевксинских. Отмечается связь между количеством хлорофилла и глубиной: в глубоководных районах содержание хлорофилла увеличивается, что связано с меньшим приносом сюда терригенных частиц и менее энергичным разрушением органического вещества, чем в прибрежных осадках. При сравнении количеств хлорофилла в разных горизонтах было обнаружено, что больше всего хлорофилла содержится в древнечерноморских осадках, средние величины дают современные осадки и минимальные — верхнеевксинские. Такое распределение хлорофилла автор объясняет изменением гидрологического и биологического режима бассейна, вызванным проникновением средиземноморских вод и изменением общих климатических условий, способствующих развитию более богатой органической жизни.

При анализе нижнесарматских отложений был также обнаружен хлорофилл, правда, в небольшом количестве. Это дает представление о значительной устойчивости последнего.

Хлорофилл был определен также в спиртобензольных экстрактах горючего сланца верхнеюрского возраста¹.

В 1931 г. в грунтах Мотовского залива (Мурманское побережье)² была установлена определенная зависимость между накоплением хлорофилла и газовым режимом. На станциях, расположенных в центральной части залива, количество хлорофилла увеличивается параллельно с повышением процента насыщения кислородом и кривой рН в придонном слое. Это было объяснено тем, что в процессе жизнедеятельности фитопланктона, являющегося источником накопления хлорофилла, поглощается углекислота, что ведет к повышению рН и выделяется кислород. В кутовых частях губ наблюдается обратная зависимость — большое количество хлорофилла было обнаружено на станциях с малым содержанием кислорода в придонном слое и низким значением рН. Это обстоятельство связывается с сероводородным заражением осадка и лучшей сохранностью хлорофилла в анаэробной среде.

При этом нужно иметь в виду, что химические данные относились к слою воды, расположенному на 3—5 м выше дна, и поэтому, возможно, что в первой группе станций, особенно в местах с высоким содержанием хлорофилла, который легко разлагается в присутствии кислорода, газовый режим действительно придонного слоя является несколько иным.

При наших работах пробы грунта на хлорофилл брались из дночерпателя Петерсена или трубки Экмана в стеклянные банки. Последние наполнялись доверху, терметически закрывались и завертывались в бумагу, чтобы предохранить хлорофилл от разложения под действием кислорода воздуха и света, этикетка помещалась снаружи.

¹ Орлов Н. Ископаемый хлорофилл. «Природа», № 1, Л., 1933.

² Кленова М. В. и Ястребова Л. А. *Loc. cit.*

Определения хлорофилла производились по методике, указанной Раузер-Черноусовой¹ и примененной нами в 1931 г. при работе с грунтами Мотовского залива. Для анализа брались две навески по 10 г, одна для определения влажности сушилась при комнатной температуре в течение 3—4 дней до постоянного веса, другая — количественно переносилась в ступку и растиралась с небольшим количеством абсолютного спирта в течение 15—20 мин. Затем осадок переносился в стакан, отстаивался и фильтровался с декантацией; для полного извлечения хлорофилла осадок промывался 2—3 раза спиртом. Спектроколориметрическое определение производилось по методу Монтеверде-Любименко², который заключается в сравнении полос поглощения в красных лучах стандартного и испытуемого растворов. Путем изменения толщины слоя испытуемой вытяжки и концентрации стандартного раствора достигалось полное совпадение ширины и интенсивности линий поглощения в обоих спектрах. Для приготовления стандартного раствора Любименко рекомендует брать навеску кристаллического хлорофилла 0.003 г, растворить ее в 100 см³ спирта и хранить в хорошо закупоренной колбе в темноте, причем, по мере расходования раствора, добавлять ртути для вытеснения воздуха.

Для вычисления количества хлорофилла концентрация стандартного раствора делилась на навеску с вычитенной влажностью, на толщину слоя вытяжки и умножалась на ее объем. Пересчет производился на 100 г воздушно-сухого осадка. Весь анализ производился в течение одного дня, причем вытяжка предохранялась от действия света и кислорода воздуха.

Спиртовые вытяжки грунтов обычно имеют желто-бурый цвет с более или менее ясным зеленым оттенком. Такая окраска может зависеть от присутствия хлорофиллана, образовавшегося из хлорофилла, а также от желтых пигментов каротина и ксантофилла, содержащихся в зеленых водорослях. Имеющийся в бурых водорослях бурый фукоксантин и в багрянках фикобритрин и фикоциан не могут накапливаться в грунте, так как легко выщелачиваются водой из растительных остатков³. Кроме растительных пигментов, окраску спиртовой вытяжки могут обуславливать всевозможные органические вещества, переходящие в нее.

Все произведенные анализы разбиваются на несколько групп: 1) повторные определения в грунтах Мотовского залива; 2) определения хлорофилла в грунтах Северного Каспия; 3) в северной части Баренцова и Карского морей и 4) в одной из губ Кольского залива, по разным горизонтам.

II

Для выяснения условий сохранности хлорофилла в осадках при хранении проб грунта в лаборатории были произведены повторные определения его в грунтах Мотовского залива, собранных и проанализированных в 1931 г.⁴

В течение 2 лет пробы хранились в банках с металлическими навинчивающимися крышками в темноте при низкой температуре. В 1933 г. были проанализированы 7 проб влажного материала, а также 7 проб сухого материала с тех же станций. Для выяснения зависи-

¹ Раузер-Черноусова Д. М. *Loc. cit.*

² Вальтер О. А. и Пиневич М. А. Краткий курс практической физиологии растений. М., 1931.

³ Курсанов Л. И. Бурые и красные водоросли. Изд. Моск. Гос. ун-та, М., 1927.

⁴ Кленова М. В. и Ястребова Л. А. *Loc. cit.*

мости содержания хлорофилла от количества мелкой фракции для анализа выбирались пробы с различным характером грунта.

Таблица 1

Tabelle 1

№ станции № der Stationen	Хлорофилл в мг на 100 г воздушно-сухого осадка Chlorophyllgehalt mg je 100 g des lufttrockener Sedimentes				Влажность в % Feuchtigkeit			Фракция < 0.01 мм в % Fraktion < 0.01 mm, %	Характер грунта Bodenart
	Влажный материал Feucht			Сухой материал Getrockene	1931	1933	1933 1931		
	1931	1933	1933 1931						
1865	0.27	Нет	0	Нет	14.6	4.9	0.32	1.5	Песок с битой ракушкой и гравием
1822	2.17	1.05	0.48	„	34.2	24.4	0.70	2.7	Песок
1815	1.90	1.01	0.53	„	31.2	19.2	0.62	7.0	Илистый песок
1859	1.90	1.31	0.68	0.6	39.8	30.9	0.78	14.2	Песчанистый ил
1860	2.30	1.67	0.72	0.7	39.8	33.3	0.84	18.7	„ „
1807	1.60	1.46	0.91	Нет	46.2	32.5	0.70	21.5	„ „
1852	2.30	2.31	1.0	0.7	54.2	47.3	0.87	38.6	Ил

В табл. 1 станции расположены по возрастанию процента фракции < 0.01 мм. Как видно из таблицы, в песчаных грунтах, при хранении хлорофилл разлагается порою почти нацело. В илистых грунтах разложение происходит медленнее. На станции 1852, где грунт представлен илом с количеством фракции < 0.01 мм — 38.6%, количество хлорофилла за два года не изменилось. В таблице приведены отношения количества хлорофилла, полученные при повторном и первичном определениях. Эти отношения с увеличением количества мелкой фракции все больше приближаются к единице и смогут послужить для получения поправочных коэффициентов, которые необходимо вводить при анализах осадков, хранящихся несколько лет в лаборатории.

Влажность осадков за два года также изменилась, причем нет достаточно ясной зависимости между потерей влаги и характером грунта. Очевидно, банки были закрыты не вполне герметически, что должно было отразиться также на количестве хлорофилла.

При анализе сухого материала было обнаружено незначительное содержание хлорофилла только в 3 пробах, в остальных 4 он отсутствовал. Ясной зависимости между количеством сохранившегося хлорофилла и содержанием в грунте фракции < 0.01 мм нет. Хлорофилл был найден на станциях, где первоначальное его содержание было наибольшим. Очевидно, при высушивании хлорофилл в сильной степени разрушается, и поэтому высушенные пробы для анализа непригодны.

Наблюдения над скоростью разложения хлорофилла в осадке в лабораторной обстановке дают возможность судить и об условиях, благоприятствующих его сохранности на дне водоема. По аналогии можно предположить, что в песчаных осадках, вследствие их пористости,

хлорофилл скорее будет разрушаться под влиянием кислорода придонных слоев воды, чем в грунтах илистых. Примесь ракушки, увеличивая рыхлость грунта, должна способствовать этому.

III

В северной части Каспийского моря пробы грунта для определения хлорофилла были собраны П. И. Бабиковым в рейсе э/с. «Красный Каспий» осенью 1932 г.

Эта часть Каспия является наиболее мелководной, почти нигде глубина ее не превышает 10 м. Грунт¹ большей частью представлен песком с большим количеством мертвой ракушки. «Уральская Бороздина» — неглубокая впадина с глубинами 10—11 м, расположенная в середине бассейна против впадения Урала, — заполнена илистым песком и песчанистым илом, переходящим в северной ее части в ил. Против впадения р. Волги, Урала и Терека также отлагаются более илистые грунты, что, очевидно, связано с хорошо известным коагулирующим действием морской воды на коллоиды речного детрита, благодаря чему мелкие частицы, приносимые речной водой, осаждаются в море близ устьев рек.

В центральной части Северного Каспия грунт представлен чистой ракушкой, переходящей к северо-востоку в осадок, содержащий CaCO_3 от 50 до 70%.

Пробы на хлорофилл брались отдельно из верхнего и нижнего слоя осадка из дночерпателя Петерсена площадью 0.25 м. Верхний слой соответствовал 1—2 см грунта, нижний — приблизительно 8—10 см, что при сборе, к сожалению, точно не отмечалось.

В пробах осадка, на большинстве станций из верхнего слоя, взятых для определения хлорофилла, был произведен мною механический анализ.

Гидрохимические работы производились В. Н. Борсук и З. А. Филатовой. На некоторых станциях при благоприятной погоде пробы воды брались специально сконструированным батометром, который ставился на дно и брал пробу из слоя, расположенного непосредственно над грунтом. При плохой погоде работали обычным батометром Нансена, который приносил пробу из слоя на 1—2 м выше дна.

Результаты анализов на хлорофилл, количество мелкой фракции в грунте, содержание кислорода и концентрация водородных ионов в придонном слое приведены в табл. 2.

Хлорофилл в верхнем слое содержится в количестве до 4.71 мг на 100 г воздушно-сухого осадка без фракции > 1.0 мм, которая вычиталась из навески. На одной станции хлорофилла вовсе не было обнаружено.

Нужно отметить, что анализы производились через год после взятия проб, поэтому содержание хлорофилла является, может быть, несколько преуменьшенным, так как при применяемом нами методе хранения некоторое количество хлорофилла разлагается. Разложение это, как уже было отмечено, в песчаных грунтах происходит быстрее, чем в илистых.

Количество хлорофилла в осадках Черного моря (Севастопольская бухта), по работе Раузер² колеблется от 1.11 мг до 11.34 мг на 100 г воздушно-сухого осадка. Значительно более низкое содержание его в осадках Северного Каспия может зависеть, с одной стороны, от

¹ Кленова М. В. и Ястребова Л. А. Осадки северной части Каспийского моря (рукопись).

² Раузер-Черноусова Д. М. *Loc. cit.*

меньшего приноса его в грунт и, с другой стороны, от условий сохранности на дне моря уже отложившегося хлорофилла.

Богатое развитие в Каспийском море фитопланктона неоднократно отмечалось в литературе¹. О количестве последнего в Северном Каспии можно судить по достаточно убедительному примеру, приведенному О. Гриммом²: «В июле 1876 г. пароход «Персиянин» вошел

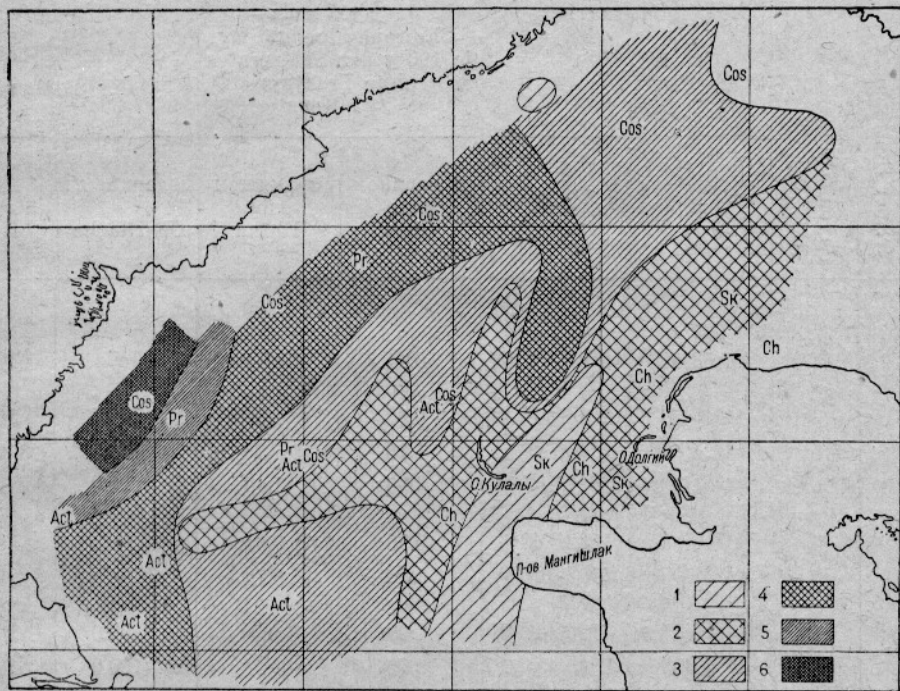


Рис. 1. Схема распределения фитопланктона в северной части Каспийского моря (составлена П. И. Усачевым и Л. И. Смирновой). Содержание биомассы на 1 м³ воды: 1 — < 1 мг; 2 — от 1 до 10; 3 — от 10 до 100; 4 — от 100 до 1000; 5 — от 1000 до 2000; 6 — > 2000.

Abb. 1. Verbreitung des Phytoplanktons im Nordteil des Kaspischen Meeres (zusammengestellt von P. I. Ussatchev und L. I. Smirnova). Gehalt an Biomasse je m³ Wasser. 1 — < 1 mg; 2 — von 1 bis 10; 3 — von 10 bis 100; 4 — von 100 bis 1000; 5 — von 1000 bis 2000; 6 — > 2000.

Обозначения форм. Bezeichnung der Formen: Sk — *Skeletonema*; Ch — *Chaetoceros*; Act — *Actinocyclus*; Cos — *Coscinodus*; *Protococcales*.

в сплошную серовато-зеленую массу водорослей, растянувшуюся ковром на десятки квадратных миль и имеющую в толщину не менее 5 фут.).

По данным П. И. Усачева³, наибольшее количество фитопланктона наблюдается против впадения рек (рис. 1), что объясняется

¹ Книпович Н. М. Каспийское море и его промыслы. Гос. изд-во, Берлин, 1923.

Чугунов Н. Л. К изучению планктона северной части Каспийского моря. «Работы Волжской биологической станции», т. VI, № 3, 1921.

Эльдарава-Сергеева М. X. Фитопланктон дельты р. Волги. «Тр. Астраханской икhtiолог. лаборатории», т. II, вып. 7, 1913.

² Гримм О. Каспийское море и его фауна. «Тр. Арало-каспийской экспедиции», 2, СПб, 1876.

³ Усачевым П. И. была любезно предоставлена карта распределения фитопланктона [см. также Усачев П. И. и Смирнова Л. И. Фитопланктон северной части Каспийского моря (рукопись)].

Таблица
Tabel
Хлорофилл в
Chlorophyll in den

№ станций Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Координаты Position		Хлорофилл в мг на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g der Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm		Кислород (% насы- щения) Sauerstoffgehalt (% der Sättigung)	
		φ	λ °	В верхнем слое Oben	В нижнем слое Unten	Поверхность Oberfläche	Дно Boden
3	8	44°53'45"	1°42'45" W	0.41	Следы	107	105.8
6	4	44°45'30"	2°24'30" W	0.52	"	105.5	103.0
8	5	44°21'30"	2°40' W	1.18	0.38	96.0	96.2 ¹
9	6	44°21'	2°27'15" W	3.96	1.46	99.0	96.5 ¹
10	5	44°10'	2°32' W	0.56	0.64	—	88.5 ¹
13	8	44°3'	1°57'30" W	1.06	0.72	—	90.0
18	5	45°17'3"	1°26'45" W	1.00	Следы	90.0	100.0
23	5	45°3'30"	0°39'45" O	0.72	"	100.0	104.6 ¹
27	7	45°37'30"	1°45' O	2.07	Нет	99.3	98.0
29	11	45°53'	1°23'45" O	1.56	Следы	103.9	98.0
30	10	45°58'	1°16'30" O	Нет	Нет	105.0	103.9
33	7	46°27'	0°41' O	2.00	0.69	104.0	103.5
37	8	46°30'45"	0°58'30" O	0.56	—	103.5	106.0 ¹
38	9	46°11'20"	1°35'45" O	1.00	Нет	102.8	106.0 ¹
47	4	45°29'	1°54'30" O	1.41	Следы	107.6	105.0 ¹
48	9	45°19'30"	0°57' O	1.20	Нет	104.0	103.7
49	9	45°29'40"	0°4'30" O	0.65	Следы	106.0	103.0
51	5	45°46'30"	0°15' O	4.71	1.45	108.8	104.5
54	9	44°44'	0°38'45" O	1.44	Следы	102.0	100.9 ¹
56	19	44°38'	0°9'45" W	0.81	"	108.4	103.0
62	3	45°9'	2°9' W	0.90	"	111.0	101.9

¹ Пробы воды взяты непосредственно над грунтом (остальные на 1—2 м выше)
² Для механического анализа взята средняя проба осадка из слоя в 10 см (на
³ От меридиана Баку.

рН		Фракция < 0.01 мм в ‰ Fraktion < 0.01 mm, ‰	Характер грунта Bodenart
Поверхность Oberfläche	Дно Boden		
8.60	8.63	5.0	Песок зеленовато-серый с битой ракушкой
8.65	8.73	1.1	Песок желтый с ракушкой
8.55	8.15 ¹	10.0	Илистый песок зеленовато-серый
8.83	8.75 ¹	10.6 ²	Песчанистый ил серый с небольшим количеством ракушки
8.63	8.02 ¹	8.27	Илистый песок зеленовато-серый
—	8.70	6.2	Илистый песок зеленовато-серый, мало ракушки
8.70	8.70	22.4	Песчанистый ил с ракушкой
8.56	8.48 ¹	4.8	Песок зеленовато-серый с ракушкой
—	—	44.2	Ил с большим количеством ракушки
8.55	8.55	15.6	Песчанистый ил с большим количеством мертвой ракушки
8.55	8.55	20.2	Песчанистый ил голубовато-серый с большим количеством ракушки
8.35	8.35	43.4	Ил серый
8.57	8.52 ¹	16.3 ²	Песчанистый ил зеленовато-серый с ракушкой
8.55	8.55 ¹	43.4	Ил светлосерый с ракушкой
8.55	8.55	21.8	Песчанистый ил серый с ракушкой
8.45	8.45	23.2	Песчанистый ил светлосерый с ракушкой
8.48	8.45	9.1	Илистый песок зеленовато-серый с ракушкой
—	8.50	—	Ил зеленовато-серый с ракушкой
8.55	8.48 ¹	3.7	Илистый песок зеленовато-серый с ракушкой
8.60	8.69	1.6	Песок с ракушкой
8.55	8.52	2.6	Песок зеленовато-серый

дна).
 остальных станциях анализировались верхние 1—2 см).

вспышкой в развитии последнего на стыке пресных и соленых вод.

Кроме фитопланктона, источником хлорофилла может служить донная растительность, богато здесь развитая и часто у берегов образующая целые заросли (*Zostera marina* и др.).

Раузер отмечает¹, что источником хлорофилла может являться также прибрежная растительность. Любопытно было доказано опытным путем (см. выше), что посмертное окисление хлорофилла в наземных растениях протекает несравненно быстрее, чем в водорослях, поэтому, весьма вероятно, что за то время, пока частицы прибрежной растительности попадут в осадок, весь хлорофилл в них будет уже разрушен.

Таким образом бедность хлорофиллом осадков Северного Каспия не может зависеть от малого приноса его в грунт.

Условия же сохранности хлорофилла являются здесь мало благоприятными. Для Северного Каспия характерны небольшая глубина, песчанистый грунт с значительной примесью ракушки и высокий процент насыщения придонных слоев кислородом. Все это должно способствовать быстрому разрушению хлорофилла, которое на мелководье еще усиливается под действием солнечного света, проникающего до дна. В Черном море большая глубина, илистые осадки, сероводородное заражение придонных слоев создают, наоборот, благоприятные условия для сохранности хлорофилла.

По содержанию хлорофилла в осадках Северный Каспий можно разбить на несколько районов (рис. 2). Против дельты Волги и Терека осадки наиболее богаты хлорофиллом, количество которого колеблется от 1 до 4.7 мг на 100 г воздушно-сухой пробы. Это совпадает с распределением фитопланктона по данным П. И. Усачева (рис. 1). При этом против Волги участок дна с богатым содержанием хлорофилла сдвинут к востоку.

По схеме течений А. Михалевского², волжские воды, которые составляют 80% всей речной воды, выпадающей в Каспий, после впадения разделяются на две ветки, одна направляется на юг и юго-запад, другая — на восток.

Такое распределение волжской воды должно отразиться на накоплении хлорофилла, так как последнее связано, как указывалось, с массовым развитием фитопланктона на стыке пресных и соленых вод. Поэтому, возможно, что пятно грунтов с высоким содержанием хлорофилла смещено к востоку, именно в силу отклонения в эту сторону части волжской воды. В западной части моря, куда направляется другая ветвь, осадки содержат небольшое количество хлорофилла, что может быть связано с господствующими в этой области сильными течениями, уносящими растительный детрит.

Сравнительно большое количество хлорофилла (1—2 мг) содержится в осадках, протягивающихся широкой полосой вдоль п-овов Бузачи и Мангышлак. Количество фитопланктона в этом районе невелико, но дно здесь покрыто густыми зарослями *Zostera*, и возможно, что этот участок дна обогащается хлорофиллом за счет донной растительности.

В осадках средней части Северного Каспия количество хлорофилла меньше 1 мг. Это может быть обусловлено двумя факторами: с одной стороны, наблюдающимся здесь уменьшением количества фитопланктона и, с другой, — характером грунта. Последний в этой части моря представлен песком и ракушечником. Песчаные осадки

¹ Раузер-Черноусова Д. М. *Loc. cit.*

² Михалевский А. Схема течений Каспийского моря. «Зап. по гидрографии», т. LXVI, Л., 1931.

содержат еще некоторое количество хлорофилла, в грунтах же, состоящих из ракушки, которые покрывают дно в центре этой части моря, хлорофилл отсутствует.

Из-за незначительных глубин в Северном Каспии, даже при небольшом волнении, происходит полное перемешивание воды и в большинстве случаев газовый режим придонного слоя мало отличается от газового режима вышележащих слоев¹.

Выделив станции, расположенные против устья Терека и против дельты Волги, и разметив по мере увеличения расстояния их от бе-

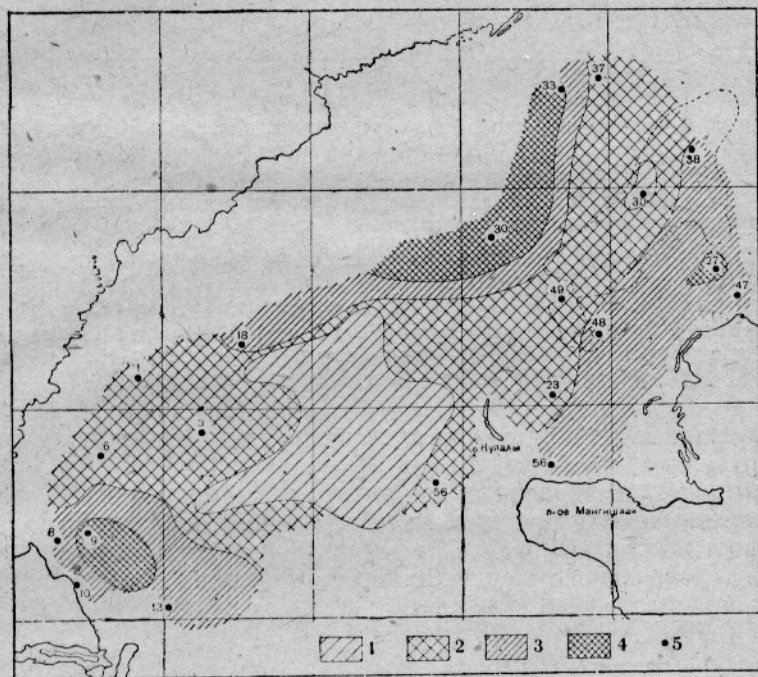


Рис. 2. Распределение хлорофилла в осадках северной части Каспийского моря (хлорофилл в мг на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм). Обозначения: 1 — хлорофилла нет; 2 — < 1 мг; 3 — от 1 до 2 мг; 4 — > 2 мг; 5 — станции.

Abb. 2. Chlorophyllverbreitung im Nordteil des Kaspischen Meeres: (Gehalt an Chlorophyll in mg je 100 g Sediment ohne Fraktion > 1.0 mm). Bezeichnungen: 1 — totales Fehlen von Chlorophyll; 2 — < 1 mg; 3 — von 1 bis 2 mg; 4 — > 2 mg; 5 — Stationen.

рега (рис. 3), мы видим, что в преддельтовых областях кривые хлорофилла и кислорода идут параллельно друг другу, на станциях же, удаленных от места впадения рек, кривые эти расходятся. При этом по мере увеличения расстояния от берега расхождение становится все более резким и кривые делаются как бы зеркальным отражением одна другой.

Накопление хлорофилла в осадках обусловлено, как указано выше, двумя факторами: приносом растительного дегрита и условиями сохранности хлорофилла в грунте. На станциях, расположенных против устьев рек, высокое содержание хлорофилла обусловлено массовым развитием здесь фитопланктона. В процессе жизнедеятельности последнего выделяется кислород. В этих районах, расположенных не-

¹ Горский Н. Н. Гидрологический режим Северного Каспия (печатается).

далеко от берега, благодаря быстрой седиментации, обусловленной приносом большого количества терригенных частиц реками, хлорофилл не успевает в сильной степени разрушиться под влиянием кислорода. А так как количество того и другого зависит от содержания в воде

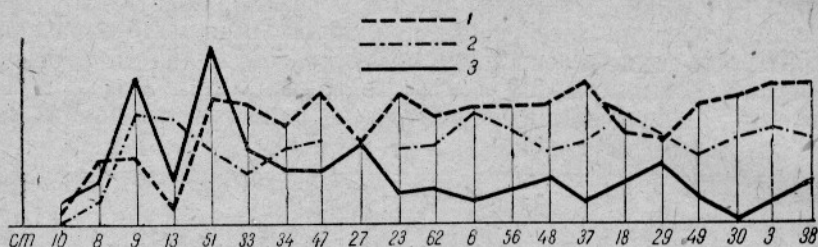


Рис. 3. Соотношение хлорофилла и газового режима в северной части Каспийского моря.

Обозначения: 1 — кислород в придонном слое; 2 — pH; 3 — хлорофилл.

Станции 10, 8, 9 и 13 расположены против устья р. Терека; 51 и 33 против дельты р. Волги; остальные — по мере удаления от берега.

Abb. 3. Verhältnis des Chlorophylls und Gasregime der Bodenschicht im Nordteil des Kaspischen Meeres.

Bezeichnungen: 1 — Sauerstoff der Bodenschicht; 2 — pH; 3 — Chlorophyll.

Stationen 10, 8, 9 und 13 befinden sich gegenüber der Mündung des Tereks; Stationen 51 und 33 — gegenüber der Wolgadelta; die übrigen — der Reihe ihrer Entfernung vom Ufer nach.

фитопланктона, то, понятно, что кривые их здесь идут параллельно друг другу.

На станциях, удаленных от берега, где фитопланктона меньше и седиментация происходит медленнее, на первый план выступает фактор сохранности хлорофилла. Хлорофилл, находясь продолжительное время на поверхности грунта, успевает в большей своей части разру-

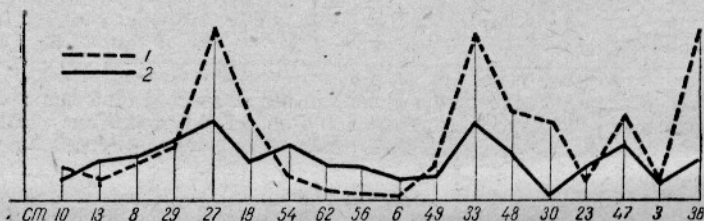


Рис. 4. Соотношение количеств хлорофилла и мелкой фракции в осадках Северного Каспия.

Обозначения: 1 — фракция < 0.01 мм; 2 — хлорофилл. Цифры — номера станций.

Abb. 4. Verhältnis der Chlorophyllmengen und der feinen Fraktion in den Sedimenten im Nordteil des Kaspischen Meeres.

Bezeichnungen: 1 — Fraktion < 0.01 mm; 2 — Chlorophyll. Zahlen — Stationen.

шиться под действием кислорода. Этот процесс, очевидно, происходит энергичнее там, где содержание кислорода выше.

Подобная зависимость уже ранее была констатирована в Мотовском заливе¹.

При сравнении содержания хлорофилла и количества илстых частиц (фракции < 0.01 мм) в осадках ясно выступает прямая связь между этими признаками (рис. 4). Станции расположены по возра-

¹ Кленова М. В. и Ястребова Л. А. *Loc. cit.*

станции содержания кислорода в придонном слое для того, чтобы рядом стоящие станции меньше отличались по газовому режиму, и, таким образом, влияние последнего, по возможности, было устранено. Обе кривые идут в общем параллельно друг другу, так как условия оседания на дно илистой фракции и мелких частиц растительного детрита должны быть одни и те же. Кроме того, в затишных зонах, где происходит отложение мелких частиц, часто наблюдается обеднение кислородом придонных слоев и сероводородное заражение, что благоприятствует сохранности хлорофилла и, таким образом, способствует накоплению его в осадке.

Дополнительно были проанализированы 5 проб грунта, собранных в том же году вдоль западного побережья Среднего Каспия (рис. 5). Результаты анализов сведены в табл. 3.

Количество хлорофилла колеблется в тех же пределах, как и в Северном Каспии.

Кривая хлорофилла (рис. 6) повторяет ход кривой фракции < 0.01 мм и расходится с кривой кислорода.

По схемам течений Книповича¹ и Михалевского² вдоль западного берега Среднего Каспия наблюдается течение с севера на юг, большая масса воды которого находится в области больших глубин и в холодное время года приближается к окраинам прибрежных более мелководных пространств.

Очевидно, здесь при наличии течения нельзя ожидать быстрого отложения илистых частиц, следовательно, большого приноса в грунт растительного детрита, и поэтому накопление хлорофилла зависит в этом районе так же, как в центральной части Северного Каспия, от условий сохранности его в грунте. Поэтому чем больше кислорода содержится в придонном слое, тем скорее хлорофилл разрушается, большое же количество мелкой фракции, уменьшая пористость грунта, наоборот, способствует сохранности хлорофилла.

В работе Раузер отмечается, что количественный учет хлорофилла дает возможность судить об относительном богатстве осадков органическим веществом растительного происхождения.

Чтобы подойти к этому вопросу, количество хлорофилла было пересчитано на 100 г органического вещества. Полученные цифры приведены в табл. 4.

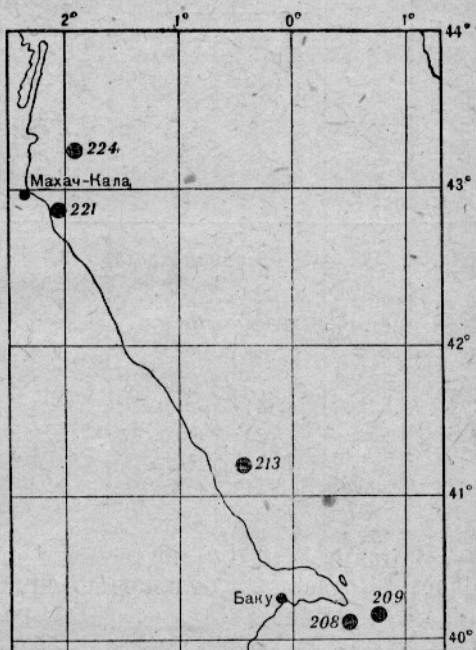


Рис. 5. Карта западного берега Среднего Каспия. Кругами обозначены станции, на которых брались пробы для анализа.

Abb. 5. Westküste des mittleren Kaspischen Meeres. Die Zirkel bezeichnen die Stationen, an welchen die Proben zur Analyse genommen wurden.

¹ Книпович Н. М. Каспийское море и его промыслы. Гос. изд-во, Берлин, 1923. *Loc. cit.*

² Михалевский А. *Loc. cit.*

Таблица 3
Tabelle 3

№ станции Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Координаты Position		Хлорофилл в мг на 100 % воздушно-сухого осадка Chlorophyllgehalt mg je 100 % des lufttrockenen Sedimentes	Кислород в см ³ на 1 л в придонном слое Sauerstoffgehalt cm ³ je 1 l im Bodenschicht	Фракция < 0.01 мм в % Fraktion < 0.01 mm, %	Характер грунта Bodenart
		φ	λ 1				
208	23	У Шаховой косы		3.9	5.97	52.4	Глинистый ил серый с крупным песком и ракушкой
209	16	40°16'	0°45' O	0.53	6.09	37.5	Ил серый жидкий с крупным песком и ракушкой
213	32	41°17'	0°23' W	2.48	4.11	47.6	Ил темносерый, верх розовато-серый
221	15	42°54'	47°45'	Нет	6.71	—	Ракушка с крупным песком
224	24	43°14'	47°54'	1.22	6.80	—	Илистый песок серый с ракушкой

На карте (рис. 7) видно, что органическое вещество прибрежных областей содержит большое количество хлорофилла, которое по направлению к середине моря уменьшается. Для сравнения приведена карта

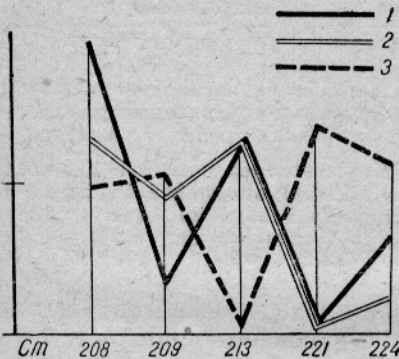


Рис. 6. Соотношение хлорофилла, газового режима и мелкой фракции в осадках Среднего Каспия.

Обозначения: 1 — хлорофилл; 2 — фракция < 0.01 мм; 3 — кислород в придонном слое. Цифры — номера станций.

Abb. 6. Verhältnis des Chlorophylls, des Gasregimes und der feinen Fraktion in Sedimenten des mittleren Kaspischen Meeres.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyll; 2 — Fraktion < 0.01 mm; 3 — Sauerstoff der Bodenschicht. Zahlen — Stationsnummern.

для сравнения (рис. 8). На последней видно, что осадки в середине моря богаты органическим веществом, количество которого по направлению к берегу уменьшается (не заштрихованное пятно на обеих картах показывает область ракушечных тунтов).

На основании этого можно предположить, что в прибрежных областях большая часть органического вещества растительного происхождения, в середине же моря, очевидно, преобладает органическое вещество животного происхождения. Такой же вывод напрашивается при сопоставлении кривых хлорофилла и органического вещества (рис. 9). Станции расположены по мере увеличения расстояния от берега. На станциях, прибрежных в левой части графика, кривые хлорофилла и органического вещества идут параллельно друг друга. На станциях, удаленных от берега, закономерный ход кривых нарушается и в большинстве случаев при высоком содержании органического вещества наблюдается уменьшение количества хлорофилла.

1 От Баку.

Таблица 4
Tabelle 4

№ станций Nr. der Stationen	Хлорофилл в мг на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g des Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm	Органическое вещество ¹ в осадке в % Organische Substanz des Sedimentes, %	Хлорофилл в мг на 100 г органического вещества Chlorophyllgehalt mg je 100 g der organischen Substanz
3	0.41	0.43	95.3
6	0.52	Следы	Очень много
8	1.18	1.18	100.0
10	0.56	1.15	48.7
13	1.06	0.75	141.3
18	1.00	1.27	78.7
23	0.72	0.73	98.6
27	2.07	1.52	136.1
29	1.56	2.18	71.5
30	Нет	3.48	Нет
33	2.00	1.85	108.1
37	0.56	2.38	23.5
38	1.00	3.45	29.0
47	1.41	2.07	68.1
48	1.20	1.00	120.0
49	0.65	1.18	55.3
51	4.71	2.28	206.6
54	1.44	2.10	68.6
56	0.81	1.87	43.3
62	0.90	1.03	87.3

В нижнем слое осадка количество хлорофилла на всех станциях, кроме ст. 10, значительно уменьшается и на четырех станциях, при нашем методе определения, хлорофилл вовсе не был обнаружен.

Наиболее резкое уменьшение количества хлорофилла с глубиной было обнаружено в песчаных осадках и в грунтах с большой примесью ракушки [см. табл. 2 (стр. 226), ст. 3, 6, 18, 23, 27, 29, 48, 49, 54, 56, 62].

Возможно, что, как и в лабораторной обстановке, в рыхлых осадках, состоящих из песка и ракушки, хлорофилл нижних слоев плохо защищен от окисления и поэтому быстрее разлагается, чем в грунтах илистых. При этом, очевидно, что там, где кислорода больше, разрушение должно происходить энергичнее, чем, вероятно, объясняется отсутствие хлорофилла в нижнем слое на ст. 38 и 47. Грунт там илистый, но количество кислорода в придонном слое больше, чем на других станциях (106 и 105%).

На остальных станциях с илистым грунтом (ст. 8, 9, 13, 33, 51) количество хлорофилла в нижнем слое убывает в среднем на 50%. Только на ст. 10 содержание хлорофилла с глубиной не уменьшается. Эта станция расположена недалеко от берега, в области быстрого отложения осадка, благодаря приносу большого количества терриген-

¹ Количество углерода, определенное по методу Кюппа (см. Горикова Т. И., Инструкция ГОИН. Инструкция сектора геологии моря по химическому анализу осадков. № 11, М., 1934), пересчитывалось по примеру акад. А. Д. Архангельского (Архангельский А. Д. Об осадках Черного моря и их значение в познании осадочных горных пород. «Бюлл. Моск. общ. испытателей природы», отд. геологии, т. V, вып. 3—4, М., 1927) на органическое вещество, причем содержание углерода принималось равным 60%.

ных частиц Тереком. Дно здесь покрыто илистым песком, причем с глубиной количество илистых частиц, как показал механический анализ, увеличивается и грунт становится песчаным илом (количество фракции < 0.01 мм, в верхнем слое 8.27%, в нижнем 16.22%), кислорода в придонном слое меньше, чем на других станциях.

На карте (рис. 10) проведены изолинии соотношений количества хлорофилла в нижнем и верхнем слоях. Эти соотношения по направлению к устьям рек все больше приближаются к единице. На станциях, расположенных в середине моря и вдоль п-овов Бузачи и Мангышлак, в нижнем слое содержатся лишь следы хлорофилла, или его вовсе не

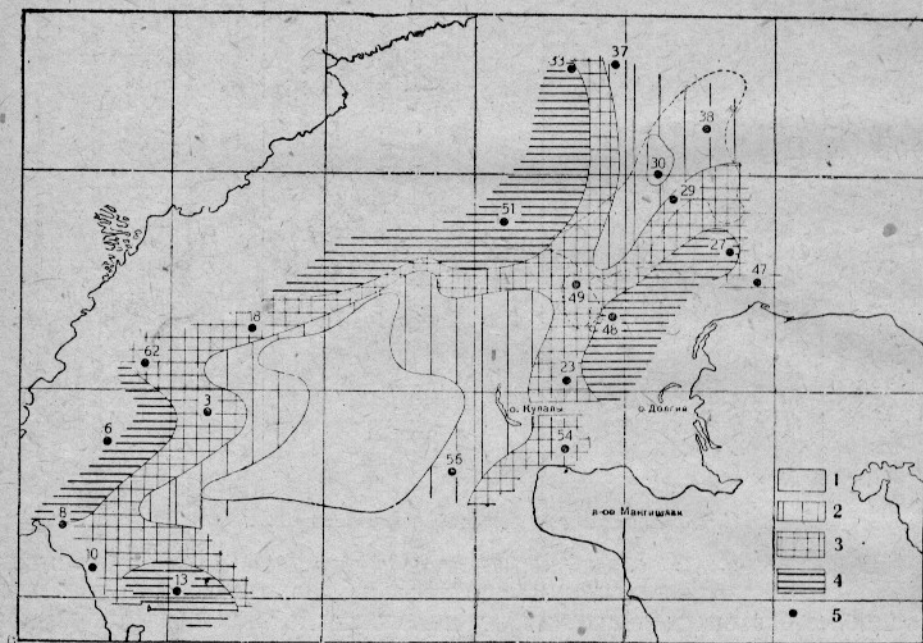


Рис. 7. Распределение хлорофилла в органическом веществе осадков северной части Каспийского моря (хлорофилл в мг на 100 г органического вещества).

Обозначения: 1 — хлорофилла нет; 2 — < 50 мг; 3 — от 50 до 100 мг; 4 — > 100 мг; 5 — станции.

Abb. 7. Verbreitung des Chlorophylls in der organischen Substanz der Sedimente im nördlichen Teil des Kaspischen Meeres. (Chlorophyllgehalt mg je 100 g organischen Substanz).

Bezeichnungen: 1 — Fehlen von Chlorophyll; 2 — < 50 mg; 3 — von 50 bis 100 mg; 4 — > 100 mg; 5 — Stationen.

обнаруживается. Следовательно, лучше всего сохранился хлорофилл в нижнем слое на станциях, расположенных против устьев рек.

Так как здесь скорость накопления осадков наибольшая, то отложение слоя грунта в 10 см соответствует меньшему промежутку времени, чем отложение такой же мощности слоя в центре моря. Поэтому хлорофилл, который содержится здесь в 10-м см, не успел разрушиться в такой степени, как хлорофилл, содержащийся в том же слое в середине моря. Кроме того, быстрая седиментация способствует сохранности хлорофилла, так как отлагающиеся в большом количестве частицы осадка предохраняют пигмент от разрушения кислородом.

Резюмируя все вышеизложенное, можно сказать, что:

1) в Северном Каспии количество хлорофилла значительно меньше, чем в Черном море. Это не зависит от недостатка в фитопланктоне и от малого приноса растительного детрита в грунт. Малое содержание хлорофилла здесь определяется неблагоприятными условиями сохран-

ности его в осадке: высоким содержанием кислорода в придонном слое, мелководностью и грубым механическим составом грунта.

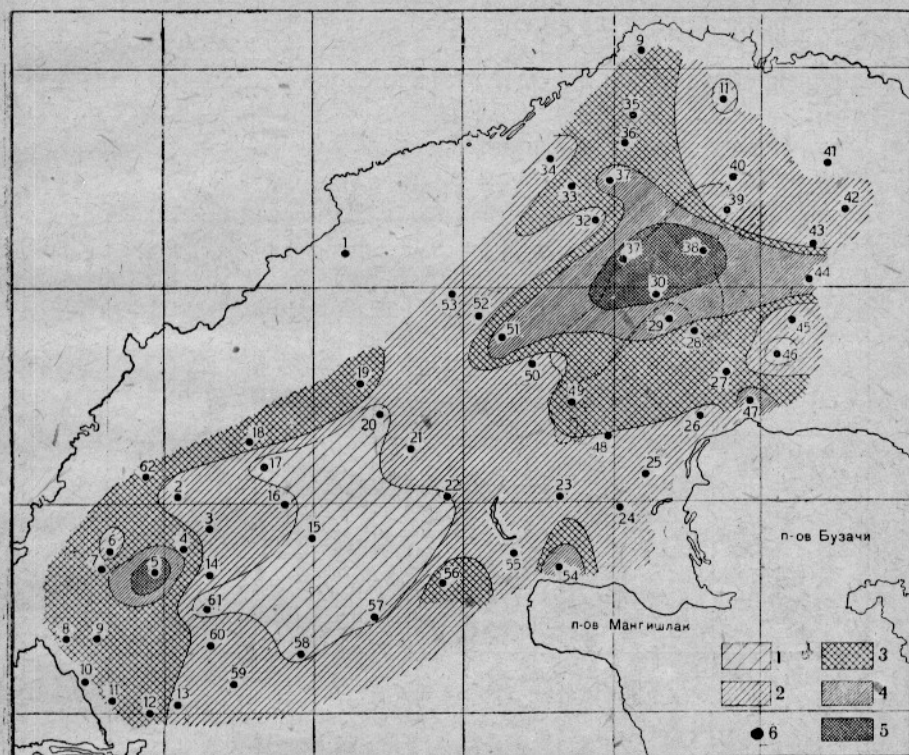


Рис. 8. Распределение органического вещества (в процентах) в осадках северной части Каспийского моря.

Обозначения: 1—органического вещества нет; 2— $< 1\%$; 3—от 1 до 2% ; 4—от 2 до 3% ; 5— $> 3\%$; 6—станции.

Abb. 8. Verbreitung des organischen Substanz (in %) in den Sedimenten des nördlichen Kaspischen Meeres.

Bezeichnungen: 1—Fehlen von organischen Stoff; 2— $< 1\%$; 3—von 1 bis 2% ; 4—von 2 bis 3% ; 5— $> 3\%$; 6—Stationen.

2) Зоны богатого развития фитопланктона на стыке пресных и соленых вод определяют повышенное содержание хлорофилла в грунте. Причем в этих участках кривая кислорода (выделяемого в процессе

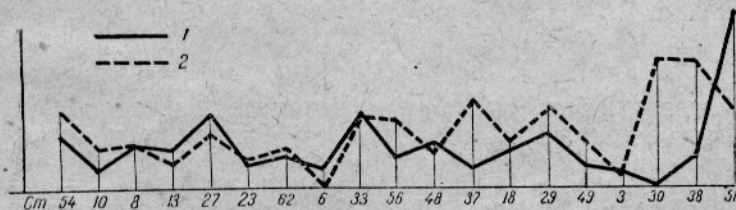


Рис. 9. Соотношение хлорофилла и органического вещества в осадках Северного Каспия.

Обозначения: 1—хлорофилл; 2—органическое вещество. Цифры—номера станций.

Abb. 9. Verhältnis des Chlorophylls und organischen Substanz in Sedimenten des nördlichen Kaspischen Meeres.

Bezeichnungen: 1—Chlorophyll; 2—organischer Stoff. Zahlen—Stationsnummern.

фотосинтеза) и кривая хлорофилла идут параллельно друг другу, так как большее или меньшее количество того и другого определяется массой фитопланктона, а благодаря быстрой седиментации хлорофилла не успевает разложиться под действием кислорода.

3) В районах, удаленных от берега, наблюдается меньшее количество хлорофилла, причем здесь кривые кислорода и хлорофилла идут обратно друг другу, так как количество кислорода определяет скорость разложения хлорофилла.

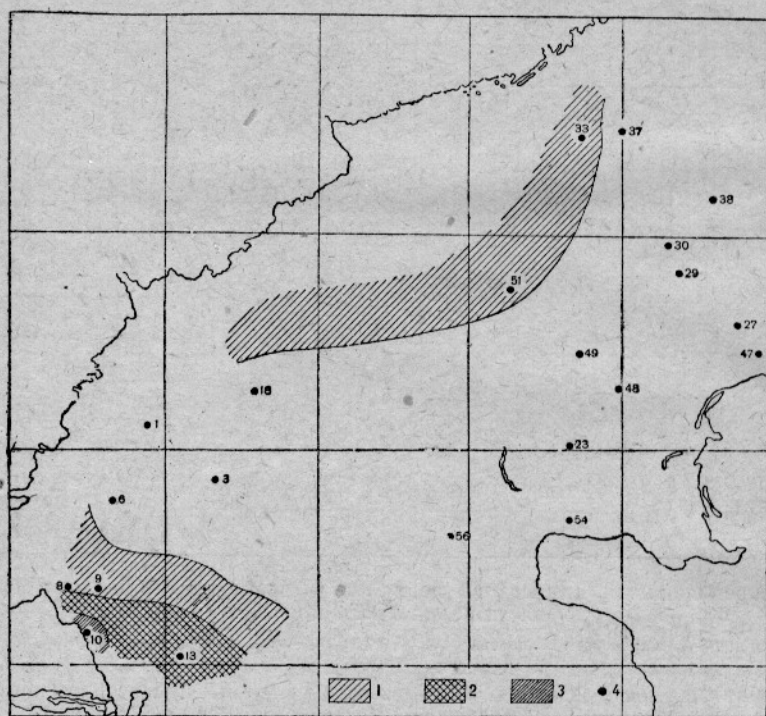


Рис. 10. Соотношение количеств хлорофилла в нижнем и верхнем слоях осадков северной части Каспийского моря.

Обозначения: (отношения количества хлорофилла нижнего слоя к верхнему): 1 — < 0,5; 2 — от 0,5 до 1,0; 3 — > 1; 4 — станции.

Abb. 10. Verhältnis der Chlorophyllmengen in den unteren und oberen Schichten des nördlichen Teil des Kaspischen Meeres.

Bezeichnungen: 1 — < 0,5; 2 — von 0,5 bis 1,0; 3 — > 1; 4 — Stationen.

4) Количество хлорофилла, пересчитанное на органическое вещество, повышается у берегов и на стыке пресных и соленых вод. Следовательно, в прибрежных участках в сложении осадков принимает большое участие органическое вещество растительного происхождения.

5) Отношение количеств хлорофилла в нижнем и верхнем слоях определяется газовым режимом придонного слоя, проницаемостью грунта (механическим составом) и скоростью отложения.

Для грунтов сходного механического состава содержание хлорофилла на глубине при прочих равных условиях может давать некоторые указания на скорость отложения.

Летом 1933 г. определения хлорофилла были произведены в грунтах одной из губ и литорали северной части Кольского залива, в осадках северной части Баренцова моря и в пробах, взятых на четырех станциях Карского моря.

Осадки открытой части Баренцова и Карского морей относятся к типу гляциально-морских отложений¹. По цвету различаются зеленовато-серые, серые, желтовато-серые и коричневые грунты.

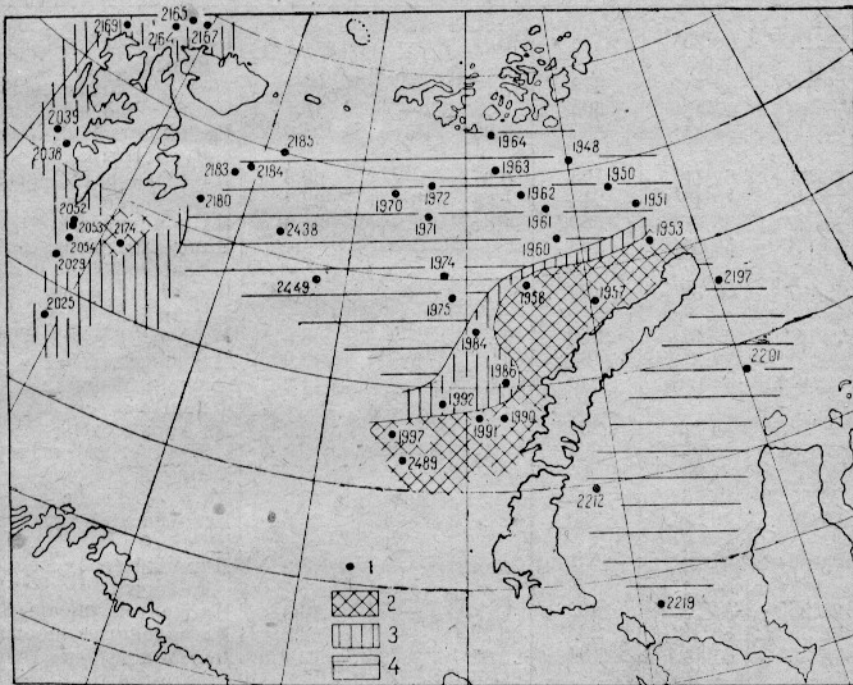


Рис. 11. Распределение хлорофилла в осадках северной части Баренцова и Карского морей.

Обозначения: 1 — хлорофилла нет; 2 — следы; 3 — от 0.04 до 0.75 мг на 100 г осадка; 4 — станции.

Abb. 11. Chlorophyllverbreitung in den Sedimenten des nördlichen Teiles der Barents- und Karskymeeren.

Bezeichnungen: 1 — Fehlen von Chlorophyll; 2 — Spuren; 3 — von 0.04 bis 0.75 mg je 100 g Sediment; 4 — Stationen.

Пробы грунта для определения хлорофилла в северной части Баренцова моря собирались в 4 рейсах (36, 37, 40 и 46) э/с. «Персей», всего на 45 станциях.

Количество хлорофилла в верхнем слое не превышает 0.75 мг на 100 г воздушно-сухого осадка и на большинстве станций хлорофилл отсутствует вовсе. В нижнем слое, который соответствует глубине 8—10 см, хлорофилл нигде не был обнаружен.

На рис. 11 показано распределение хлорофилла в верхнем слое

¹ Самойлов Я. В. и Горшкова Т. И. Осадки Баренцова и Карского морей. «Тр. Морск. научн. ин-та», т. I, вып. 14, М., 1924.

Самойлов Я. В. и Кленова М. В. К литологии Баренцова моря. «Тр. Морск. научн. ин-та», т. II, вып. 3, М., 1927.

Кленова М. В. О геологических работах Морск. научн. ин-та. «Тр. III Всесоюзного съезда геологов», Ташкент, 1930.

Таблица 5
Tabelle 5
Хлорофилл в Баренцовом море
Chlorophyll in den Barentz Meere

№ станции Nr. der Stationen	Координаты Position		Глубина в Тiefe, м	Хлорофилл в мг Chlorophyllge- halt, mg		Количество фракции $\sqrt{\frac{0,01}{\text{мм}}}$ в $\frac{0,01}{\text{мм}}$ Фракtion $\sqrt{\frac{0,01}{\text{мм}}}$	Характер осадка Bodenart
	φ	λ		В верхнем слое Oben	В нижнем слое Unten		
1948	79°10.5'	60°25'	195	Нет	—	27.2	Песчанистый ил коричневый
1950	78°16'	63°51'	379	"	—	27.4	То же
1951	77°51'	65°48'	305	"	—	10.1	То же
1955	77°14.5'	64°44'	197	0.23	Нет	24.0	Песчанистый ил зеленовато-серый
1957	76°35'	61°12'	103	0.27	—	39.3	Ил зеленовато-серый
1958	77°02'	60°12'	244	0.63	Нет	39.5	То же
1960	77°58'	58°00'	389	Нет	"	35.6	Ил коричневый
1961	78°25'	56°51'	163	"	—	—	Илистый песок коричневый
1962	78°45'	55°32'	209	"	—	13.3	Песчанистый ил коричневый
1963	79°09'	53°56'	260	"	—	23.3	То же
1964	79°40.8'	52°31.5'	455	"	Нет	42.9	Ил коричневый
1970	78°47.5'	44°09'	240	"	"	14.2	Песчанистый ил коричневый
1971	78°18.7'	45°23'	260	"	—	30.2	Ил коричневый
1972	77°50'	46°37'	262	"	—	18.8	Песчанистый ил коричневый
1974	76°55.2'	49°06.2'	231	"	Нет	20.0	То же
1975	76°43.3'	49°38'	320	"	—	20.3	Песчанистый ил коричневый
1984	76°09.7'	51°42'	291	Следы	—	8.8	Илистый песок желтовато-серый
1986	75°26'	54°23.2'	222	"	—	43.3	Ил желтовато-серый
1990	74°35.2'	53°18'	225	0.29	—	32.8	Ил зеленовато-серый
1991	74°33'	51°02'	134	0.32	—	12.4	Песчанистый ил зеленовато-серый
1992	74°28.2'	48°26'	195	Следы	—	5.5	Илистый песок желтовато-серый
1997	74°21.2'	45°04'	319	0.39	—	28.1	Песчанистый ил зеленовато-серый
2025	74°30'	18°28'	100	Следы	—	—	Песок светложеленовато-серый
2029	75°27'	16°49'	190	"	—	—	Песчанистый ил зеленовато-серый
2038	77°36.5'	13°22'	145	"	—	—	То же
2039	77°28'	12°37'	202	"	—	—	Песчанистый ил желтовато-серый
2052	76°12'	16°42'	152—282	"	—	—	Песчанистый ил зеленовато-серый
2053	76°14'	16°52'	254	"	—	—	Илистый песок желтовато-серый
2054	76°00'	17°05'	—	"	—	—	Песчанистый ил желтовато-серый
2164	80°21.7'	16°19'	380	Нет	—	—	То же
2165	80°40'	17°33'	164	Следы	—	—	Песчанистый ил зеленовато-серый
2167	80°45'	19°21'	102	"	—	—	Песчанистый ил желтовато-серый
2169	80°14.7'	11°05.5'	208	"	—	—	То же
2174	76°18.5'	21°21'	223	0.04	—	—	Ил зеленовато-серый
2180	77°37'	25°31'	185	Нет	—	—	Ил коричневый
2183	78°18.5'	28°22'	288	"	—	—	То же
2184	78°36'	29°39'	248	"	—	—	То же
2185	79°00'	31°45'	263	"	—	—	Песчанистый ил коричневый
2197	76°10.2'	70°18'	197	"	—	—	Ил коричневый
2201	74°46'	70°44'	30	"	—	—	То же

осадков. Вдоль западного берега северной части Новой Земли осадки содержат хлорофилл от 0.23 до 0.75 мг на 100 г воздушно-сухого осадка. Эта область, окантованная с запада полосой грунтов, содержащих лишь следы хлорофилла, несколько севернее Маточкина Шара поворачивает под прямым углом и вдоль 75° с. ш. направляется на запад. Вблизи южной оконечности Шпицбергена осадки также содержат хлорофилл, но в очень незначительном количестве, всего 0.04 мг; вдоль западного и северного берегов Шпицбергена хлорофилл содержится в виде следов. Осадки же всего остального огромного пространства северной части Баренцова моря от Шпицбергена до Новой Земли, а также осадки Карского моря, лишены хлорофилла.

Известно богатое развитие в этих морях фитопланктона¹, и поэтому почти повсеместное отсутствие хлорофилла в осадках, повидимому, обуславливается неблагоприятными условиями его сохранности.

При сравнении количеств хлорофилла в осадках различной окраски (табл. 5) можно видеть, что все коричневые грунты лишены хлорофилла, желтовато-серые содержат следы пигмента и только в зеленовато-серых хлорофилл содержится в ощутимом количестве. При этом интересно отметить, что спиртовые вытяжки коричневых грунтов совершенно бесцветны, желтовато-серых — окрашены в слабозеленый цвет и зеленовато-серые осадки дают вытяжки темножелтого цвета. На рис. 11 буквами отмечены цвета осадков. В северо-восточной части моря граница грунтов, лишенных хлорофилла, является в то же время границей распространения коричневых осадков, полоса осадков со следами хлорофилла полностью совпадает с зоной желтовато-серых грунтов. Коричневые осадки, покрывающие почти всю площадь Карского моря, также лишены хлорофилла².

Можно предположить, что содержание хлорофилла связано с окислительным характером среды, которое меняется в различно окрашенных грунтах.

Хлорофилл содержится в наименее окисленных зеленовато-серых осадках, в желтовато-серых грунтах, находящихся в следующей стадии окисления, он сохраняется только в виде следов и, наконец, в коричневых наиболее окисленных осадках хлорофилл, как плохо устойчивое соединение в присутствии кислорода, разрушается.

Следовательно, количество хлорофилла в грунте дает некоторый условный числовой коэффициент, позволяющий при прочих равных условиях судить о степени аэрации придонного слоя в данном месте.

Соотношение окиси и закиси железа³ так же, как окислительно-восстановительный потенциал и величина рН в грунте⁴, дают возможность судить о характере среды придонного слоя и верхних слоев грунта. Но все эти величины могут колебаться в зависимости от биохимических факторов — от присутствия органического вещества, создающего в осадке восстановительную среду, и от сезонного изменения вертикальной циркуляции. Содержание хлорофилла в осадках более

¹ Клипович Н. Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана. «Записки Русск. геогр. общ.», т. XLII, СПб, 1906.

Геккель А. Г. Материалы к фитопланктону Карского моря. «Изв. биол. н.-иссл. ин-та при Пермском гос. ун-те», т. 3, прил. 2-е.

² В статье М. В. Кленовой «О геологических работах Морского научного института» («Тр. III Всесоюзного съезда геологов», Ташкент, 1930) приведена карта распределения грунтов по цвету в Баренцовом и Карском морях. Эта карта составлена на основании сравнительно небольшого количества данных, полученных до 1930 г. Данные последующих рейсов указывают, что граница распространения различных грунтов должна быть несколько изменена.

³ Кленова М. В. Осадки Мотовского залива. Этот вып.

⁴ Трофимов А. В. Об окислительно-восстановительных условиях и реакции рН морского дна (рукопись).

постоянно и потому при сопоставлении всех этих величин вместе с хлорофиллом можно будет делать более точные выводы о химическом режиме придонного слоя.

V

В грубых частях губ Кольского залива отлагаются обычные для южной части Баренцова моря зеленовато-серые осадки (илистые пески, песчанистые илы и илы). Вблизи берегов, где происходит размывание донных отложений, эти осадки смешиваются с большим количеством грубого наносного материала. В нижних горизонтах некоторых колонок встречается подстилающая древняя голубовато-серая глина.

Пробы грунта на хлорофилл брались послойно в глубину из трубки Экмана. Полученные колонки разрезались на куски по 3—4 см и укладывались в короткие и широкие пробирки. Всего было взято 15 колонок. В случае однородности грунта анализировались не все отрезки колонок, а обычно верхние два отрезка: 15—17 см, 25—27 см, и так дальше, через каждые 10 см, и самый низ колонки.

Для механического анализа были употреблены навески грунта, взятые на влажность при определении хлорофилла. При вычислении количества хлорофилла из навески вычиталась фракция > 1.0 мм. Определения хлорофилла производились в первые 10 дней после взятия проб. Результаты анализов верхнего слоя осадка приведены в табл. 6.

Таблица 6
Tabelle 6

№ станции Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Хлорофилл в м на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g des Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm	Количество фракции < 0.01 мм Fraktion < 0.01 mm	Характер грунта Bodenart
99	50.3	3.0	14.2	Песчанистый ил зеленовато-серый с ракушкой
100	46.2	1.0	8.9	Илистый песок зеленовато-серый с ракушкой
101	28.0	1.95	11.85	Песчанистый ил с ракушкой
102	15.5	5.7	13.8	Песчанистый ил темный с запахом сероводорода
103	52.9	1.1	5.7	Илистый песок желтовато-серый
105	46.6	1.0	14.1	Песчанистый ил зеленовато-серый
106	88.4	2.0	20.9	Песчанистый ил зеленовато-серый с черными примазками и щебнем
107	82.0	1.6	8.9	Илистый песок зеленовато-серый с битой ракушкой
108	69.1	0.7	8.0	Илистый песок зеленовато-серый
109	41.7	0.6	4.8	Песок с ракушкой
110	3.4	1.1	13.0	Песчанистый ил зеленовато-серый с литотамнием
111	9.4	2.2	36.1	Ил зеленовато-серый с литотамнием
116	17.4	1.0	8.0	Илистый песок зеленовато-серый с ракушкой
117	34.0	0.3	4.7	Песок зеленовато-серый с тонкобитой ракушкой
119	44.0	3.95	11.3	Песчанистый ил зеленовато-серый

Количество хлорофилла колеблется от 0.3 до 5.7 мг на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм. Цифры того же порядка были получены для осадков Мотовского залива¹.

Количество хлорофилла увеличивается в наиболее глубоководных районах — в средней котловине и по направлению к выходу, а также в кутовых частях губы. Количество взвешенного растительного детрита по всей площади губы при ее сравнительно небольших размерах можно считать одинаковым. И накопление хлорофилла, вероятно, зависит от 2 факторов: с одной стороны, от течений и, с другой стороны, от условий сохранности хлорофилла в грунте.

При сравнении количеств хлорофилла и фракции < 0.01 мм выступает прямая связь между двумя этими величинами, так же как и в осадках Северного Каспия, что хорошо видно на рис. 12.

Для сопоставления содержания хлорофилла с количеством кислорода в придонном слое, количество первого было пересчитано на 100 г фракции < 0.01 мм, чтобы, по возможности, исключить влияние механического состава (табл. 7).

Таблица 7

Tabelle 7

№ станций Nr. der Stationen	Хлорофилл в мг на 100 г фракции < 0.01 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g der Fraktion < 0.01 mm	Кислород в см ³ на 1 л Sauerstoffgehalt cm ³ je 1 L		pH	
		Трубка Экмана Eckman-Röhre	Батометр Bathometer	Трубка Экмана Eckman-Röhre	Батометр Bathometer
99	21	4.18	4.56	8.04	8.04
100	11	4.87	5.47	8.15	8.17
101	14	5.29	6.32	—	8.3
102	40	Нет (H ₂ S)	3.35	7.48	8.09
103	19	3.88	4.05	8.03	8.04
105	6	5.22	5.00	8.14	8.14

Таблица 8

Tabelle 8

№ станций Nr. der Stationen	Горизонт в см Tiefe der Lage, cm	Хлорофилл в мг на 100 г воздушно-сухого осадка Chlorophyllgehalt mg je 100 g des lufttrockenen Sedimentes	Характер грунта Bodenart
1	10	11.03	Черный песок с обломками раковин
1	40	Нет	Голубовато-серая глина
2	1	2.66	Черновато-серый илистый песок с фауной
2	10	Нет	Голубовато-серый илистый песок с примесью глины
4	40	.	Голубовато-серая глина
5	1	1.71	Темносерый песок
5	10	Нет	Голубовато-серый песок

¹ Кленова М. В. и Ястребова Л. А. Лос. cit.

Пробы воды брались из трубки Экмана и придонного батометра Нансена.

На рис. 13 изображены кривые хлорофилла кислорода и рН. Станции расположены по возрастанию количества хлорофилла. На

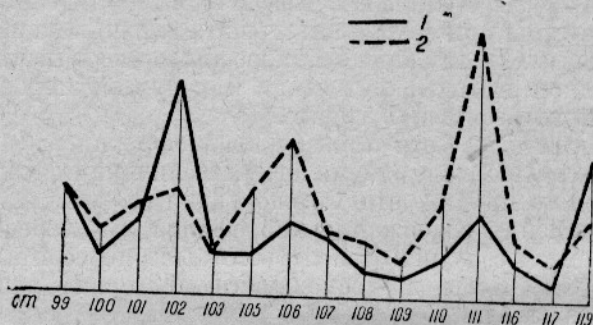


Рис. 12. Соотношение количества хлорофилла и фракции < 0.01 мм в осадках.

Обозначения: 1 — хлорофилл; 2 — мелкая фракция. Цифры — номера станций.

Abb. 12. Verhältnis der Chlorophyllgehalt und Fraktion < 0.01 mm in den Sedimenten.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyll; 2 — feine Fraktion. Zahlen — Stationen.

этом графике ясно выступает обратная зависимость между содержанием кислорода и хлорофилла. При уменьшении кислорода количество хлорофилла постепенно увеличивается. Кривая рН идет параллельно с кривой кислорода. Таким

образом здесь выявляется та же закономерность, что и в средней части Северного Каспия и в кутовых частях Мотовского залива¹. Поэтому можно думать, что такая закономерность является постоянной и накопление хлорофилла при прочих равных условиях может являться показателем газового режима придонного слоя, и только в местах массового развития фитопланктона и быстрой седиментации, как было обнаружено против впадения рр. Волги и Терека, эта закономерность нарушается.

При сопоставлении количества хлорофилла и органического вещества (рис.

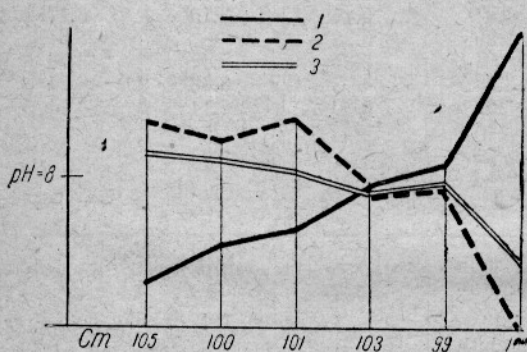


Рис. 13. Соотношение хлорофилла и газового режима в осадках.

Обозначения: 1 — хлорофилл; 2 — кислород; 3 — рН. Цифры — номера станций.

Abb. 13. Verhältnis der Chlorophyll und Gasregime in den Sedimenten.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyll; 2 — Sauerstoff; 3 — pH. Zahlen — Stationen.

14) видно, что параллельно возрастанию количества хлорофилла увеличивается содержание органического вещества в осадке, как и на прибрежных станциях Северного Каспия, где органическое вещество,

¹ Кленова М. В. и Ястребова Л. А. *Loc. cit.*

повидимому, растительного происхождения (см. выше). Такое же предположение можно сделать и в отношении приведенных станций.

Дополнительно были проанализированы пробы грунта, собранные на литорали Полярной гавани (рис. 15). Литораль эта имеет 225 м длины и около 125 м ширины. Пробы грунта брались с поверхности, с 10 и с 40 см. Основой грунта литорали является голубовато-серая глина, обогащенная сверху песчаным материалом.

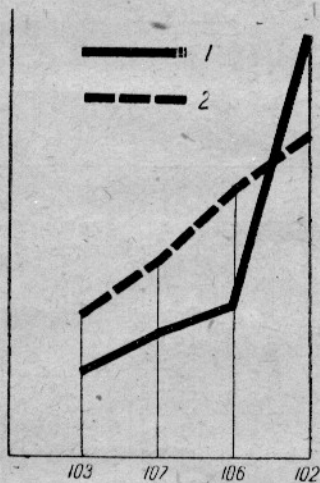


Рис. 14. Соотношение хлорофилла и органического вещества.

Обозначения: 1 — хлорофилл; 2 — органическое вещество. Цифры — номера станций.

Abb. 14. Verhältnis des Chlorophylls und organischen Substanz.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyll; 2 — organischer Stoff. Zahlen — Stationen.

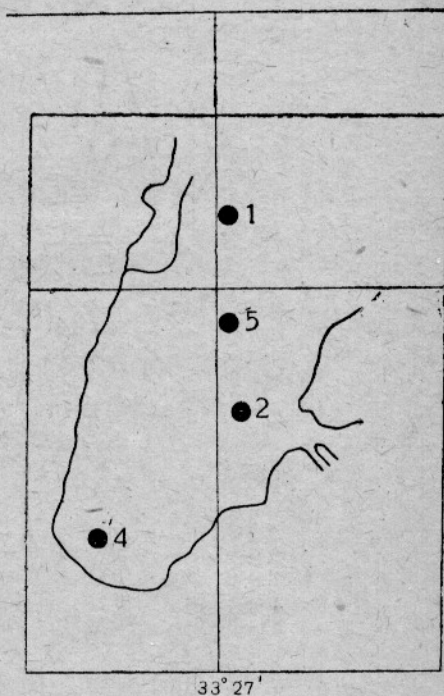


Рис. 15. Литораль Полярной гавани. Кругами обозначены станции, на которых брались пробы.

Abb. 15. Littoral des Polarnaja Hafens. Die Zirkel bezeichnen die Stationen an denen die Proben genommen wurden.

Источником хлорофилла, кроме приносимого приливом фитопланктона, могут быть донные водоросли, богато здесь развитые¹.

Очень большое количество хлорофилла было найдено на 10-м см на ст. 1, расположенной в начале литорали — 11.03 мг. Грунт здесь покрыт щетками мидий, изолирующими нижележащий слой от действия кислорода и света и создающих этим в грунте резко восстановительную среду. Осадок окрашен в черный цвет и издает сильный запах сероводорода. На 40-м см хлорофилла не было обнаружено, осадок представлен голубовато-серой глиной.

По середине литорали на ст. 5 и 2 количество хлорофилла в поверхностном слое равняется 1.71 и 2.66 мг, грунт темносерый илистый песок со слабым запахом сероводорода. На 10 см, где уже появляется голубовато-серая глина, хлорофилл отсутствует.

Со ст. 4 в куту литорали была проанализирована голубовато-серая глина с 40 см, хлорофилл в ней также не был обнаружен.

¹ Гурьянова Е., Закс И. и Ушаков П. Литораль Кольского залива «Тр. Ленингр. общ. естествоиспытателей», т. LVIII, вып. 2, отд. зоологии, Л., 1928.

Таблица 9

Tabelle 9

Хлорофилл в осадках Кольского фиорда
Chlorophyll in den Sedimenten der Kola-Fiords

№ станций Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Горизонт в см Probe, cm	Хлорофилл в мг на 100 осадка без фракции > 1.0 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g des Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm	Количество фракции < 0.01 мм в % Fraktion < 0.01 mm, %	Характер грунта Bodenart
99	50.3	1-3	3.0	14.2	Песчанистый ил зеленовато-серый с небольшим количеством ракушки
		4-6	1.5	15.1	То же
		7-9	1.2	15.7	То же
		10-12	1.1	15.9	То же
		13-15	1.1	15.7	То же
		16-18	0.6	13.8	То же
		19-21	0.5	13.9	То же
		22-24	0.5	13.3	То же
		25-27	0.3	13.9	То же
		28-30	0.3	5.1	Илистый песок зеленовато-серый с небольшим количеством ракушки
99	50.3	31-33	Следы	12.3	Песчанистый ил зеленовато-серый с небольшим количеством ракушки
		34-37	"	11.9	То же
100	46.2	1-3	1.0	8.9	Илистый песок зеленовато-серый.
		5-7	0.9	11.0	Песчанистый ил зеленовато-серый с небольшим количеством ракушки
		9-11	0.5	10.4	Песчанистый ил зеленовато-серый с небольшим количеством ракушки.
		13-15	0.4	10.0	То же
		17-20	Следы	30.8	Ил зеленовато-серый
101	28.0	1-3	1.95	11.8	Песчанистый ил зеленовато-серый с небольшим количеством ракушки
		5-7	1.4	13.7	То же
		9-11	0.4	10.2	То же
		13-15	0.3	8.2	Илистый песок зеленовато-серый.
102	15.5	1-3	5.7	13.8	Песчанистый ил темнозеленовато-серый
		5-7	2.4	10.4	То же
		15-17	0.7	7.8	Илистый песок темнозеленовато-серый
		25-27	0.4	7.8	То же
		35-37	0.2	10.5	Песчанистый ил темнозеленовато-серый

№ станции Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Горизонт в см Probe, cm	Хлорофилл в мг на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g des Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm	Количество фракции < 0.01 мм в % Fraktion < 0.01 mm, %	Характер грунта Bodenart
103	52.9	1—3	1.1	5.7	Илистый песок зеленовато-серый с отдельными ракушками То же Песчанистый ил зеленовато-серый То же То же То же
		4—8	0.9	5.4	
		15—18	0.75	23.2	
		25—28	0.3	20.6	
		35—39	Следы	21.5	
		50—54	"	20.9	
104		59—64	"	19.8	То же
105	46.6	1—3	1.0	14.1	Песчанистый ил зеленовато-серый с битой ракушкой То же То же То же Песчанистый ил голубовато-серый с битой ракушкой
		5—7	0.7	12.4	
		15—17	0.45	23.8	
		25—27	0.2	15.0	
		32—35	Нет	28.2	
106	88.4	1—3	2.0	20.9	Песчанистый ил зеленовато-серый То же То же То же То же То же То же То же То же То же То же То же То же
		4—6	1.0	21.8	
		7—9	0.7	23.8	
		10—12	0.6	24.2	
		13—15	0.4	17.9	
		16—18	0.2	23.1	
		19—21	Следы	14.9	
		22—24	"	15.6	
		25—27	"	14.5	
		28—30	"	23.6	
		31—33	"	21.5	
		34—36	"	19.0	
		37—38	"	13.3	
107	82.0	1—3	1.6	8.9	Илистый песок зеленовато-серый То же То же Песчанистый ил зеленовато-серый с ракушкой Глина голубовато-серая То же То же
		4—6	0.4	8.8	
		12—14	0.2	8.5	
		15—17	0.2	19.2	
		18—20	Нет	67.1	
		30—33	Нет	38.0	
49—51	"	39.0			
108	69.1	1—3	0.7	8.0	Илистый песок зеленовато-серый с битой ракушкой

№ станций Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Горизонт в см Probe, cm	Хлорофилл в мг на 100 г осадка без фракции > 1.0 мм Chlorophyllgehalt mg je 100 g des Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm	Количество фракции < 0.01 мм в % Fraktion < 0.01 mm, %	Характер грунта Bodenart
109	41.7	4-6	0.6	8.5	Илистый песок зеленовато-серый с битой ракушкой То же Глина голубовато-серая То же
		10-12	0.5	6.6	
		13-15	Нет	50.0	
		27-30	"	36.2	
		1-3	0.6	4.8	
110	3.4	4-6	0.4	6.4	Песок зеленовато-серый с ра- кушкой Илистый песок зеленовато-се- рый с ракушкой Песчанистый ил зеленовато-се- рый с ракушкой Голубовато-серая глина То же То же
		18-20	0.2	11.8	
		21-23	Нет	43.7	
		30-33	"	47.9	
		48-50	"	52.6	
		1-4	1.1	13.0	
111	9.4	5-8	0.55	11.45	Песчанистый ил зеленовато-се- рый с ракушкой и литотамнием То же То же То же То же
		9-11	0.4	17.1	
		12-14	Следы	17.1	
		15-18	"	11.1	
		1-4	2.2	36.1	
116	17.4	9-12	0.4	26.7	Ил зеленовато-серый с ракушкой и литотамнием Песчанистый ил зеленовато-се- рый с ракушкой и литотамнием
		1-3	1.0	8.0	
		4-6	0.5	9.7	
117	34.0	16-18	0.2	5.5	Илистый песок зеленовато-серый с битой ракушкой То же То же
		1-3	0.3	4.7	
		7-9	0.2	4.2	
119	44.0	1-4	3.95	11.3	Песчанистый ил зеленовато-се- рый То же с ракушкой То же Ил зеленовато-серый То же То же То же То же
		5-8	1.7	10.2	
		12-14	0.5	23.4	
		15-17	0.5	30.0	
		25-27	Следы	46.4	
		35-38	"	—	
		43-47	"	—	
		60-63	"	48.8	

По предположению В. П. Зенковича образование этой глины относится к послеледниковому времени.

Результаты анализов на хлорофилл проб, взятых из колонок послонно, сведены в табл. 9.

Для каждой станции были вычерчены кривые изменения количества хлорофилла с глубиной (рис. 16, 17, 18). По линии абсцисс от-

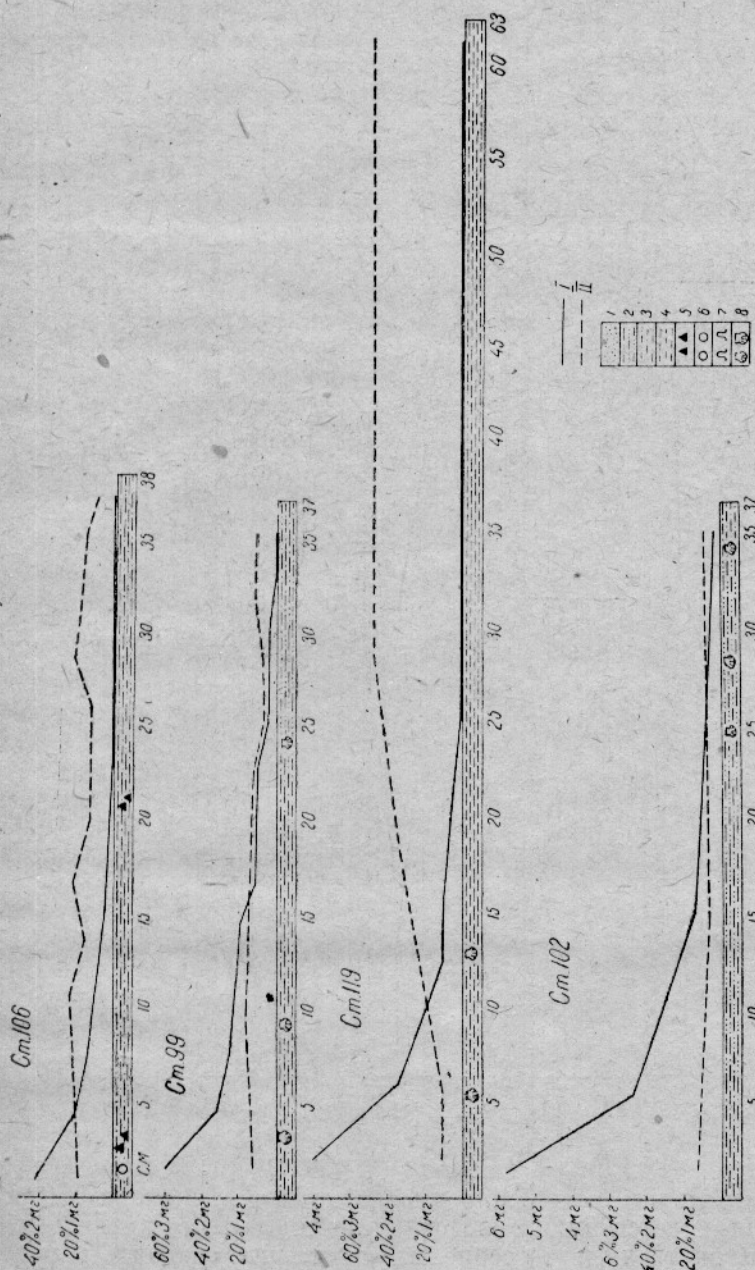


Рис. 16. Изменение количества хлорофилла с глубиной.

Обозначения: 1 — хлорофилл; 2 — фракция менее 0,01 мм. Обозначения грунтов: 1 — песок; 2 — илистый песок; 3 — песчаный ил; 4 — ил; 5 — глина; 6 — камень; 7 — литогамий; 8 — ракушка. Цифры в нижней части рисунка — глубины в см.

Abb. 16. Veränderung der Chlorophyllgehalt mit der Tiefe.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyll; 2 — Fraktion < 0,01 mm. Bezeichnungen des Grundes: 1 — Sand; 2 — Schlammiger Sand; 3 — Sandiger Schlamm; 4 — Kies; 5 — Steife; 6 — Lithogamium; 7 — Muschel; 8 — Muschel. Die Zahlen in unteren Teile — die Tiefe, cm.

кладывалась длина колонки, по линии ординат — содержание хлорофилла в мг в данном горизонте и количество мелкой фракции в процентах, характер грунта изображался штриховкой. Кривые получались различных видов. На ст. 106, 99, 119 и 102 (рис. 16) в поверхностном слое содержится сравнительно очень много хлорофилла, количество ко-

того в следующем слое резко уменьшается и потом к низу колонки постепенно сходит на-нет. Станции эти расположены в тех местах, где течения очень слабые.

Кривые другого вида (рис. 17), полученные для большинства станций, не имеют резкого скачка при переходе от поверхностного слоя к более глубоко лежащим. Количество хлорофилла, начиная с поверх-

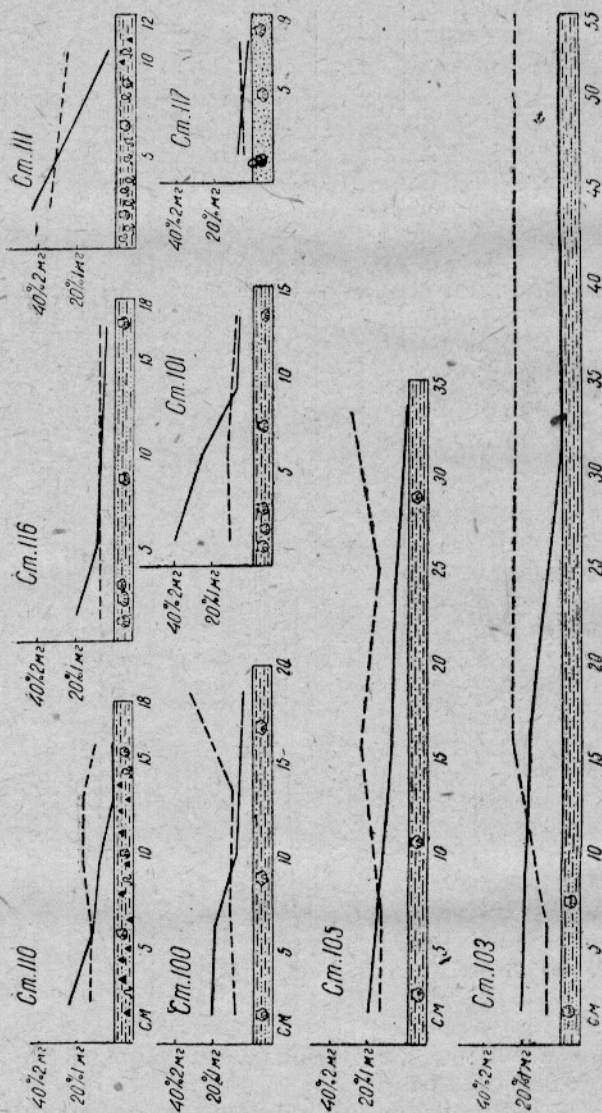


Рис. 17. Изменение количества хлорофилла с глубиной. Обозначения см. рис. 16.
Abb. 17. Veränderungen der Chlorophyllgehalt mit der Tiefe. Bezeichnungen laut Abb. 16.

ности к низу колонки, постепенно уменьшается и в нижних горизонтах хлорофилл остается в виде следов. Станции с такими кривыми расположены во внутреннем бассейне на небольших сравнительно глубинах.

Чем больше скорость накопления илистого осадка, тем больше на его поверхности должно откладываться растительного детрита, а следовательно, тем больше хлорофилла при прочих равных условиях (газовый режим и механический состав грунта) должно содержаться в поверхностном слое. Хлорофилл, находясь на поверхности грунта,

быстро разлагается, и поэтому в нижележащих слоях количество его резко уменьшается¹. Этот оставшийся хлорофилл, погребенный под слоем осадка, тем самым изолируется от влияния внешней среды и в дальнейшем разлагается весьма медленно. Чем быстрее отлагается грунт, тем на большей глубине от поверхности дна мы должны встретить хлорофилл, так как быстронакапливающийся осадок предохраняет хлорофилл поверхностного слоя от энергичного разрушения кислородом.

Отсутствие резкого скачка в этой группе станций может говорить за то, что в настоящее время накопление грунта здесь происходит более медленно, чем на первых четырёх станциях.

На ст. 109, 108 и 107 (рис. 18) кривые хлорофилла представляют собой как бы остатки от кривых первых двух типов, у которых срезаны верхние части. В поверхностном слое количество хлорофилла незначительно, к низу колонки оно постепенно уменьшается и на сравнительно небольшой глубине исчезает совсем. Последнее совпадает с появлением древней голубоватосерой глины. Эти станции расположены в области сильных приливных течений. Быстрое исчезновение с глубиной хлорофилла и отсутствие резкого скачка при переходе от поверхности к нижележащим слоям можно объяснить тем, что в настоящее время здесь не происходит накопления осадка и растительного детрита и, может быть, даже имеют место процессы размывания ранее отложившихся грунтов.

Таким образом, мы имеем три характерных признака, по которым можно судить об условиях образования осадка: 1) точка исчезновения хлорофилла: чем она глубже, тем, при прочих равных условиях, бы-

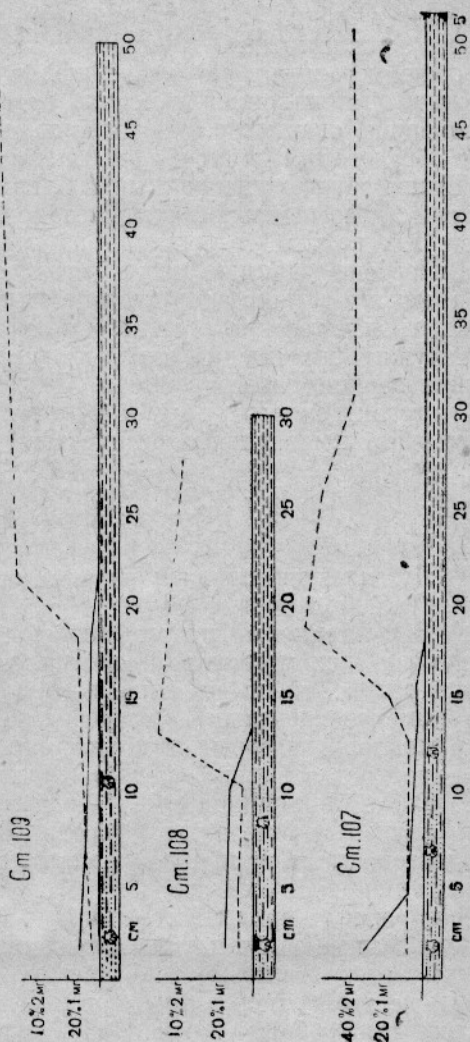


Рис. 18. Изменение количества хлорофилла с глубиной. Обозначения см. рис. 16.
Abb. 18. Veränderungen der Chlorophyllgehalt mit der Tiefe. Bezeichnungen laut Abb. 16.

¹ Можно предположить, что эта закономерность будет наблюдаться лишь до известной скорости накопления осадка. В областях отложения большого количества терригенной мути относительное содержание растительного детрита в образующемся осадке будет уменьшаться. Возможно, что максимальное количество хлорофилла будет накапливаться при какой-то средней скорости отложения. При скорости меньшей хлорофилл успеет частично разложиться и количество его будет снижено, при скорости большей осадок не успеет обогатиться растительным детритом и количество хлорофилла также будет понижаться.

стрее отлагается осадок; 2) количество хлорофилла в верхнем слое. Последнее зависит не только от скорости отложения, но и от механического состава грунта и газового режима придонного слоя. Относительно высокое содержание хлорофилла в верхнем слое, при прочих равных условиях, говорит нам, что осадок в настоящее время не размывается, а отлагается; 3) ход кривой изменения количества хлорофилла на глубину. Чем круче падает кривая в верхних слоях, тем быстрее накапливается грунт, если же она идет почти горизонтально при общем сравнительно небольшом количестве пигмента, можно предположить, что накопление осадка в данное время не происходит. Неравномерное, скачкообразное падение кривой говорит за то, что в процессе образований донного слоя осадка скорость седиментации менялась.

Таким образом, послойные анализы хлорофилла дают возможность судить об относительной скорости накопления осадков, которая определяет ход кривой содержания хлорофилла в разных горизонтах.

Интересные данные могут дать послойные анализы на хлорофилл ископаемых осадков: при благоприятных условиях хлорофилл может сохраняться в течение большого промежутка времени, доказательством чего служит нахождение его в нижнесарматских глинах и в горючих сланцах верхнеюрского времени. На ходе кривой хлорофилла должны резко отразиться перерывы в отложении, которые не всегда можно уловить по изменению механического состава осадков и другим признакам.

ВЫВОДЫ

1) Источником хлорофилла в осадках являются фитопланктон и донная растительность.

2) Накопление в грунтах хлорофилла — соединения, легко разрушающегося в присутствии кислорода, зависит от условий его сохранности в осадке: а) от механического состава грунта — в илистых грунтах, наименее пористых, — хлорофилл защищен от разрушения кислородом придонных слоев и поэтому при прочих равных условиях содержание его там выше, чем в грунтах песчаных; б) от количества кислорода в придонном слое — содержание хлорофилла обратно пропорционально количеству кислорода. Эта зависимость настолько ясно выявляется, что при прочих равных условиях накопления хлорофилла определения его в осадках могут служить для характеристики кислородного режима придонного слоя.

Эти данные могут иметь важное значение, так как более точный и простой метод, а именно определение кислорода в воде из придонного слоя, — не всегда может быть применен ввиду отсутствия прибора, пригодного для работы в морских условиях для взятия достаточно безупречных проб придонной воды¹.

3) Пересчеты количества хлорофилла на органическое вещество и сравнение кривых хлорофилла и органического вещества дают возможность судить о происхождении последнего. Так было установлено, что в Северном Каспии в прибрежных областях большая часть органического вещества растительного происхождения, в середине же бассейна преобладает органическое вещество животного происхождения.

4) Кривые изменения количества хлорофилла с глубиной, составленные в результате анализов проб грунта, собранных послойно, позволяют судить об относительной скорости накопления осадка.

Возможность решения этих вопросов, в результате анализов на

¹ Зенкевич Л. А. О вертикальной циркуляции и продуктивности дна. «Бюлл. гос. океан. ин-та», № 5, М., 1932.

хлорофилл, указывает на необходимость включения в комплекс изучения бассейна определения хлорофилла в осадках.

За большую помощь, оказанную при проведении настоящей работы, автор приносит М. В. Кленовой глубокую благодарность.

Лаборатория геологии моря
1935

CHLOROPHYLL IN MEERESSEDIMENTEN

Von *Jastrebova L. A.*

Zusammenfassung

In der Literatur gibt es Hinweise darauf, dass die Meeressedimente Chlorophyll enthalten. Dieser stellt eine ziemlich stabile Verbindung vor und wurde in sarmatischen Ablagerungen und sogar in Brandschiefern des oberen Jura entdeckt¹.

Im Institut für Ozeanographie von U. d. S. S. R. wurde in den Jahren 1931² bei der Complexuntersuchung des Busens Motovskij eine Arbeit über die Bestimmung des Chlorophylls in den Meeressedimenten angestellt. Sie wurde auf Anregung und unter Leitung von Prof. M. V. Klenova durchgeführt; vorliegend teilen wir die Ergebnisse mit, die im Resultat der Chlorophyllbestimmungen in folgenden Wasserbecken erhalten wurden:

1) Wiederholte Bestimmungen des Chlorophyllgehaltes in den Sedimenten des Busens Motovskij, 2) Analysen der Sedimente des nördlichen Teils des Kaspischen Meeres, 3) des nördlichen Teiles des Barentsmeeres, 4) Analysen der Grundproben, die schichtenweise in die Tiefe in einer Bucht des Kola-Fjords aufgenommen wurden.

Die Chlorophyllbestimmung erfolgte in einem Alkoholextrakt mittels eines Spektrokolorimeters nach dem Verfahren von Montoverde-Ljubimenko. Diesem Verfahren liegt eine Zusammenstellung der Absorbionsstreifen in den roten Strahlen der zu untersuchenden Lösung und ihrer Kontrolle zu Grunde.

Die zur Chlorophyllbestimmung gesammelten Grundproben wurden in Glassgefäße ohne jegliche Fixierung hineingetan, luftdicht verschlossen und im Dunklen bei niedriger Temperatur aufbewahrt.

Die wiederholten Chlorophyllbestimmungen in den Sedimenten des Busens Motovskij wurden mit der Absicht vorgenommen, die Bedingungen der Erhaltung in einem Laboratoriummilieu zu klären. Es erwies sich im Resultat der Analysen, dass der Chlorophyllgehalt in den schlammigen Sedimenten sich in Laufe von 2 Jahren der Probenaufbewahrung kaum verändert hat, dagegen erlitt er in den sandigen Gründen eine starke Herabsetzung (Tabelle 1). Es lässt sich hier eine vollständige Analogie zwischen der Erhaltung des Chlorophylls in den Sedimenten im Laboratorium und am Grunde des Wasserbeckens ziehen. Augenscheinlich spielt die Porosität des Grundes eine grosse Rolle in der Erhaltung des Chlorophylls, als einer unstabilen Verbindung in Gegenwart von Sauerstoff.

Der Chlorophyllgehalt der Sedimente im nördlichen Teil des Kaspischen Meeres schwankt zwischen 0 und 4.7 mg je 100 g, lufttrockenen Sedimentes ohne Fraktion > 1.0 mm (Tab. 2). Der Chlorophyllgehalt ist hier bedeutend geringer, als in den Sedimenten des Schwarzen Meeres, die von Rauser-Tschernoussowa analysiert wurden. Letzteres kann nicht auf eine geringe Zufuhr von pflanzlicher Detrit in den Grund zurückgeführt werden, da im nördlichen

¹ Rauser-Tschernoussowa D. M. Ueber die quantitative Chlorophyllbestimmung in rezenten und fossilen Meersedimenten. «Bull. der Moskauer Gesellschaft der Naturforscher», Abt. Geologie. Bd. VIII, H. 3—4, M., 1930.

Orlov N. Der fossile Chlorophyll. «Priroda», No 1, 1933.

² Klenova M. V. und Jastrebova. Chlorophyll in Sedimenten als Kennzeichen des Gasregimes eines Wasserbeckens (Diese Lieferung).

Teil des Kaspischen Meeres eine üppige Entwicklung des Phytoplanktons und der Grundlagen zu beobachten ist. Der geringe Gehalt der Sedimente an Chlorophyll hängt wahrscheinlich von den ungünstigen Bedingungen seiner Erhaltung im Boden ab, d. h. von einem hohen Gehalt der Bodenschicht an Sauerstoff, der Seichtigkeit und von einer groben mechanischen Zusammensetzung des Sedimentes.

Der Chlorophyllgehalt im Zentralteil des Wasserbeckens ist gering, steigt aber in der Richtung zum Ufer und erreicht seine Maximalwerte den Flussmündungen gegenüber (Abb. 2). Dieses findet seine Erklärung in der Entwicklung einer Grundvegetation in den küstennahen Bezirken und in einem hohen Gehalt am pflanzlichen Plankton im Grenzgebiet zwischen dem Süs- und Meerwasser (Abb. 1).

Die Vergleichung des Chlorophyllgehaltes in den Bodensedimenten und des Gasregimes der Bodenschicht der Gewässer weist auf folgenden Zusammenhang hin: in den küstennahen, gegenüber den Flussmündungen gelegenen Bezirken verlaufen die Chlorophyll- und Sauerstoffkurven parallel; die Menge des einen, wie des anderen wird durch die Masse des Phytoplanktons bestimmt, da der grösste Teil des im Meerwasser enthaltenen Sauerstoffes in Prozess der Lebenstätigkeit des pflanzlichen Phytoplanktons ausgeschieden wird, der gleichzeitig auch als Hauptquelle zur Ausscheidung des Chlorophylls dient. In den entfernten Bezirken stehen die Chlorophyll- und Sauerstoffkurven im umgekehrten Verhältnis zu einander (Abb. 3). Den Flussmündungen gegenüber hat der Chlorophyll dank einer Zufuhr von grossen Mengen terrigener Teilchen und einer schnellen Sedimentation nicht genügend Zeit zur Zersetzung unter der Einwirkung von Sauerstoff und sein Gehalt im Grund hängt von der quantitativen Zufuhr des pflanzlichen Detrites ab; an den von der Küste entfernten Stellen kommt die Hauptrolle dem Faktor der Erhaltung zu und zwar dem Gehalt an Sauerstoff in der Grundschicht der Gewässer, der die Geschwindigkeit der Chlorophyllzersetzung bestimmt.

Die Kurven des Gehaltes an feiner Fraktion ($< 0,01$ mm) und diejenigen des quantitativen Chlorophyllgehaltes verlaufen parallel (Abb. 4). Dieses wird dadurch erklärt, dass die Verhältnisse der Sedimentation der schlammigen Fraktion und der feinen Teilchen des pflanzlichen Detrites gleich sind. Ausserdem wird oft in den stagnierenden Zonen, wo die Sedimentation der feinen Teilchen stattfindet, eine Verarmung der Bodenschichten an Sauerstoff beobachtet, was die Erhaltung des Chlorophylls begünstigt und damit seine Anspeicherung im Sediment bewirkt.

Zwecks Vergleichens des Gehaltes der Sedimente an Chlorophyll und Sauerstoff, wurde der erste auf 100 g organischen Stoffes umgerechnet (Tab. 4). Zusammenstellung der Verteilungskarte des Chlorophylls im organischen Stoff (Abb. 7) und des organischen Stoffes im Sediment (Abb. 8) und die Kurvenanalyse dieser Werte (Abb. 9) erlauben uns den Schluss zu ziehen, dass die Sedimente der küstennahen Bezirke meistens aus pflanzlichen Stoffen bestehen und im Zentralteil des Beckens organischer Stoff tierischen Ursprung vorherrscht.

Die Analysen der unteren Sedimentschicht (8—10 cm) ergaben, dass im sandigen Boden und Bezirken mit hohem Gehalt der Bodenschicht an Sauerstoff, der Chlorophyllgehalt schnell sinkt (Tab. 2). An den, den Flussmündungen gegenüber gelegenen Stationen wo dieselbe Schicht der Sedimente dank einer höheren Zufuhr terrigener Teilchen und einem schnelleren Sedimentationsprozess einem kürzerem Zeitraum entspricht, verändert sich der Chlorophyllgehalt geringer (Abb. 10). Letzteres gestattet uns die Vermutung auszusprechen, dass in Grunden mit gleicher mechanischen Zusammensetzung das Verhältniss des Chlorophyllgehaltes in der oberen und unteren Schichten auf die relative Geschwindigkeit der Sedimentspeicherung hinweisen kann.

Die Chlorophyllanalysen in Proben von 5 Stationen aus dem mittleren Kaspischen Meere, die längs seiner westlichen Küste liegen (Abb. 5), bestätigen die Schlussfolgerungen, die auf Grund derselben Kurven für den nördlichen Teil des Kaspischen Meeres gemacht worden waren.

In den Sedimenten des Barentsmeeres wurden 41 Chlorophyllbestimmungen in Proben der oberen Schicht durchgeführt und 6 Bestimmungen in Proben an 8—10 cm Tiefe. Der Chlorophyllgehalt der oberen Schicht übersteigt nicht 0.75 cm je 100 g. lufttrockenen Sedimentes, aber an den meisten Stationen wurde er bei Benutzung unserer Bestimmungsmethode überhaupt in keiner der Proben gefunden sowie auch in den Proben der unteren Schicht. Die chlorophyllhaltenden Sedimente erstrecken sich längs dem westlichen Ufer der Novaja Zemlja und gegenüber der südlichen Spitze von Spitzbergen (Abb. 11). Bei dem Vergleich des Chlorophyllgehaltes in Sedimenten verschiedener Färbung hat es sich herausgestellt, dass in den braunen, maximal oxydierten Gründen der Chlorophyll gänzlich fehlt. Die gelblichgrauen Sedimente, die von einem geringeren Oxydationsgrad zeugen, weisen Spuren von Chlorophyll auf und die am wenigsten oxydierten grünlich-grauen enthalten Chlorophyll. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass man den Chlorophyllgehalt als einen Bedingungs zahlenwert ansehen kann, der es gestattet bei den übrig gleichen Verhältnissen über die Ventilation der Bodenschicht in gegebener Stelle zu urteilen.

In einer Bucht des Kola-Fjords wurden die Proben zur Chlorophyllbestimmung mittels der Eckmannschen Röhre schichtenweise in die Tiefe aufgenommen — dies erfolgte insgesamt an 15 Stationen. Der Chlorophyllgehalt schwankt in der oberen Schicht von 0.5 bis 5.7 mg. je 100 g. Sedimentes ohne Fraktion < 1.0 mm. (Tab. 6) und steigt in den tiefen Bezirken und Sackteilen des Buchten. Seine Verteilung hängt augenscheinlich von 2 Faktoren ab, — den Gezeitenströmungen und den Erhaltungsverhältnissen des Pigmentes im Grund. Die Chlorophyllkurven und diejenigen der schlammigen Fraktion verlaufen parallel (Abb. 12), und weisen auf dieselbe Abhängigkeit hin, wie diejenigen des Kaspischen Meeres (Abb. 12). Der Chlorophyllgehalt in Umkehrung auf eine Fraktion von 0.01 mm (Tab. 7) verändert sich im umgekehrten Verhältniss zum Sauerstoffgehalt (Abb. 13). Dies bestätigt die oben erwähnte Gesetzmässigkeit der Anspeicherung von Chlorophyll gegenüber dem Gasregime der Bodenschicht.

Die Kurven des Chlorophylls und des organischen Stoffes (Abb. 14) gestatten es, auf Grund der Analogie mit denjenigen für den nördlichen Teil des Kaspischen Meeres vorauszusetzen, dass der organische Stoff der Bodensedimente zu seinem grössten Teil pflanzlichen Ursprungs ist.

Die Analysen der 7 Proben der Littoralsedimente (Tab. 8, Abb. 15) zeigten einen hohen Chlorophyllgehalt in den oberen Wasserschichten, die von der Wirkung des Sonnenlichtes und des Sauerstoffes durch Ansammlungen von Midien geschützt sind und ein Abhandensein des Chlorophylls im bläulich-grünen Quartärmeertone, der den rezenten Meeresedimenten als Unterlage dient.

Laut Angaben der schichtenweise ausgeführten Chlorophyllanalysen wurden Kurven gezogen, die die Veränderung des Chlorophyllgehaltes mit der Tiefe zeigen. Diese Kurven lassen sich in 3 Gruppen einteilen: die erste Gruppe wurde an den, in den Gebieten von schwachen Strömungen gelegenen Stationen erhalten. Sie wird durch einen verhältnissmässig hohen Chlorophyllgehalt in der oberen Schicht gekennzeichnet, wobei sein Wert in der nächsten Schicht zuerst stark und dann allmählich bis zum unteren Ende der Röhre abnimmt. Die meisten Stationen ergaben aber den 2 Typus von Kurven. Diese weisen auf keinen schroffen Uebergang von der oberen Schicht zu den tieferen hin, der Chlorophyllgehalt sinkt allmählich mit der Tiefe und wird in den unteren Schichten nur als Spuren vorgefunden.

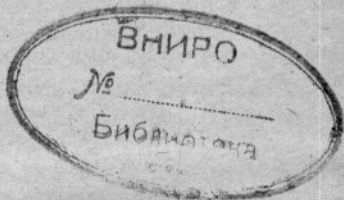
Die Kurven der dritten Gruppe erscheinen, sozusagen, als Reste der zwei ersten mit abgeschnittenen oberen Teilen. Der Chlorophyllgehalt der oberen Schicht ist niedrig, sinkt allmählich und verschwindet gänzlich an einer verhältnissmässig geringen Tiefe — letzteres trifft mit der Erscheinung vom alten bläulich grauen Ton zusammen. Die Stationen mit ähnlichen Kurven liegen in Bezirken von schnellen Gezeitenströmungen.

Die Zusammenstellung der gesammten Kurven erlaubt uns drei Kennzeichen anzudeuten, wonach es möglich ist über die Sedimentationsbedingungen zu urteilen. 1) Punkt der Verschwindung von Chlorophyll. Je tiefer dieser liegt, desto schneller erfolgt die Sedimentation; 2) Chlorophyllgehalt in der oberen Schicht; ein verhältnissmässig hoher Gehalt an Pigment, zeugt bei den übrig gleichen Bedingungen, davon, dass die Sedimente gegenwärtig nicht erodiert, sondern abgelagert werden; 3) Der Verlauf der Kurve. Je steiler die Kurve der oberen Schicht sinkt, desto schneller geht der Prozess der Ablagerung vor sich. An Stellen, wo gegenwärtig keine Sedimentablagerung stattfindet, verläuft die Kurve fast wagerecht mit einem relativ niedrigen Pigmentgehalt. Die Sprungartige Herabsetzung der Kurve zeugt davon, dass im Prozess der Bildung der Bodenschicht des Sedimentes die Geschwindigkeit der Sedimentation Veränderungen erlitt.

Die vorliegende Arbeit zeigt also, dass die Chlorophyllbestimmungen in den Sedimenten uns die Möglichkeit geben einen Urteil über das Gasregime der Bodenschichten, die Urkunft des organischen Stoffes im Sediment und über die Geschwindigkeit der Sedimentation der Masse des Grundes, die keinen schichtenweisen Aufbau aufweist, zu ziehen.

Die Möglichkeit diese Probleme im Resultat der Chlorophyllanalyse zu lösen, weist auf die Notwendigkeit hin, diese Bestimmungen in die Komplexuntersuchung des Wasserbeckens einzuschliessen.

Laborat. d. Geologie d. Meeres
1935



Редактор *М. В. Кленова*

Технический редактор *Ш. Б. Вайнштейн*

Сдано в набор 4/II 1937 г.
Подписано к печати 20/II 1938 г.
Формат бум. 72×105¹/₁₆
Объем 14 п. л.+2 вкл.
Учетно-авт. л. 19,4

Бум. л. 7

Тип. зн. в 1 бум. л. 110 592

Уполн. Главлита № Б-39426
Тираж 850 экз.
Изд. № 237/107
Учетный № 13722
Заказ типогр. № 1622

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать	По вине
7	Рис. 2	перевернуть на 180°		тип.
26	7 снизу	флюита	флюорита	авт.
59	25 "	0.1—0.1	0.0—0.1	редакт.
66	6 "	3.74 кг	3.74 м	коррект.
122	31 сверху (2-я колонка)	<i>Oph. opluteus</i> sp.	<i>Ophiopluteus</i> sp.	редакт.
207	Рис. 11	В легенде на рис. 11 нумерацию обозначений		
		следует вместо	1 4 2 3 3 2 4 1	авт.