

Кленова М. В. и Ястребова Л. А.

ХЛОРОФИЛЛ В ОСАДКАХ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ГАЗОВОГО РЕЖИМА БАССЕЙНА

Количественное определение хлорофилла в современных и ископаемых морских отложениях было впервые произведено Д. М. Раузер-Черноусовой¹. В этой интересной работе Раузер отмечает, что «количество хлорофилла является показателем изменений, происходивших в осадочных процессах и в биологическом и гидрологическом режиме Черного моря в позднечетвертичное и современное время»². На основании скудного литературного материала и личных наблюдений автор указывает, что «условия, благоприятствующие накоплению хлорофилла — богатая органическая жизнь, особенно водорослей, быстрая седиментация, анаэробность и процессы гниения в отлагающихся донных осадках — нередко наблюдаются в морских водоемах, а потому при большей устойчивости хлорофилла вполне возможна хорошая сохранность его и в морских донных осадках, особенно сапропелитового характера»³. Эти бесспорные, но в достаточной мере общие выводы, естественно, нельзя было уточнить и конкретизировать, не имея под руками материалов по биологии и в особенности по газовому и гидрологическому режиму бассейна. Одновременное получение всех этих данных для одной и той же точки морского дна возможно только при широких комплексных океанографических работах. Поэтому в принятом нами комплексном исследовании осадков Мотовского залива нам представлялось весьма заманчивым выяснить количественное распределение хлорофилла в осадках в связи с общеокеанографическими и литологическими его особенностями.

Для этого на 28 станциях 34-й экспедиции э/с. «Персей» были взяты особые пробы из дночерпателя в герметически закупоренные стеклянные банки без фиксации. Банки обертывались в бумагу и хранились в темноте на льду во избежание разложения хлорофилла в течение перерыва между моментом сбора материала и временем анализа. Перерыв этот продолжался 3—4 недели⁴. Определение производилось по методу, рекомендуемому Раузер.

Для анализа брались две навески по 10 г. Одна — для определения влажности оставлялась на воздухе до постоянного веса, другая — переносилась в ступку и растиралась с абсолютным спиртом в течение

¹ Раузер-Черноусова Д. М. О количественном определении хлорофилла в современных и ископаемых морских осадках. «Бюлл. Моск. общ. испытателей природы» (отдел геол.), вып. 3—4, а также N. Jahrb. f. Miner. u. S. W., 1930, Abt. V. Nr. 8. S. 314—324.

² Там же, стр. 298.

³ Там же, стр. 266.

⁴ Там же, стр. 288.

15—20 мин. Осадок отфильтровывался и промывался спиртом до полного извлечения хлорофилла. Измерялся объем вытяжки и количество хлорофилла определялось в спектро-колориметре путем сравнения испытуемого раствора со стандартным. Расчет производился на 100 г воздушно-сухого осадка.

В нижеследующей таблице приведены результаты анализов.

Таблица 1. Количество хлорофилла в осадках
Tabelle 1. Chlorophyllgehalt der Sedimente

№ станций Nr. der Stationen	Глубина в м Tiefe, m	Грунт Bodenart	Хлорофилл в мг на 100 г воздушно-сухого осадка Chlorophyll mg/100 g des lufttrockenen Se- dimentes	Влажность в % Feuchtigkeit, %	Количество фракции < 0,01 мм Fraktion < 0,01 mm
1804	20	Песчанистый ил зеленовато-серый	0.46	36.9	18.4
1806	93	" " "	2.2	38.2	11.7
1807	18	" " "	1.6	46.2	21.5
1809	120	" " "	1.37	41.28	16.5
1810	225	Песчанистый ил с желтым	0.8	34.6	18.1
1811	187	Песчанистый ил с серыми примазками	3.74	40.5	14.0
1813	122	" " " "	0.6	28.7	26.9
1815	44	Илистый песок зеленовато-серый	1.9	31.2	7.0
1817	110	Песчанистый ил зеленовато-серый с серым	1.2	27.9	18.0
1818	165	" " " "	1.7	37.8	10.7
1822	49	Песок зеленовато-серый с черными пятнами	2.17	34.2	2.7
1823	210	Песчанистый ил зеленовато-серый с серым	0.9	40.22	20.2
1825	195	Песчанистый ил зеленовато-серый с серым	2.3	41.0	12.0
1828	187	Илистый песок зеленовато-серый с черными примазками	1.56	34.7	2.9
1831	198 / 204	Песчанистый ил	1.07	43.3	14.2
1835	57	Песчанистый ил желтовато-серый	1.38	33.0	10.2
1839	30	Песчанистый ил зеленовато-серый с черным	2.81	43.0	13.8
1842	271	Песчанистый ил	0.9	41.5	28.3
1845	120	Илистый песок зеленовато-серый	1.2	38.5	7.7
1846	270	Песчанистый ил зеленовато-серый	1.5	45.9	22.4
1848	65	Илистый песок зеленовато-серый	1.46	36.9	8.9
1849	70	Песок зеленовато-серый	0.4	25.5	4.4
1854	270	Ил зеленовато-серый с черным	2.3	54.2	38.6
1856	48	Илистый песок	2.3	31.5	9.1
1859	245	Песчанистый ил зеленовато-серый	1.9	39.8	14.2
1860	265	Песчанистый ил	2.3	39.8	18.7
1865	39	Песок черный	0.27	14.6	1.5
1870	240	Песчанистый ил зеленовато-серый с черным	0.57	43.2	28.1

Количество хлорофилла колеблется от 0.4 до 3.74 мг на 100 г воздушно-сухого осадка (рис. 1). Раузер¹ получила для современных осадков Севастопольской бухты 1.11—11.34 мг для осадков открытой части Черного моря, в фазеолиновом иле (1 проба) 1—2 см, — 0.51 мг; глубже — 13—14 см колонки — 0.43 мг; от 16 до 18 см другой пробы

¹ Раузер-Черноусова Д. М. Там же.

(ст. 92) — 0.29 мг; 45—48.5 см — 0.19 мг. Известковый ил с глубины 1459 м (178 ст.) дал 11,91 мг; древнечерноморские осадки дают более высокие цифры. На трех исследованных станциях древнемидиевый ил

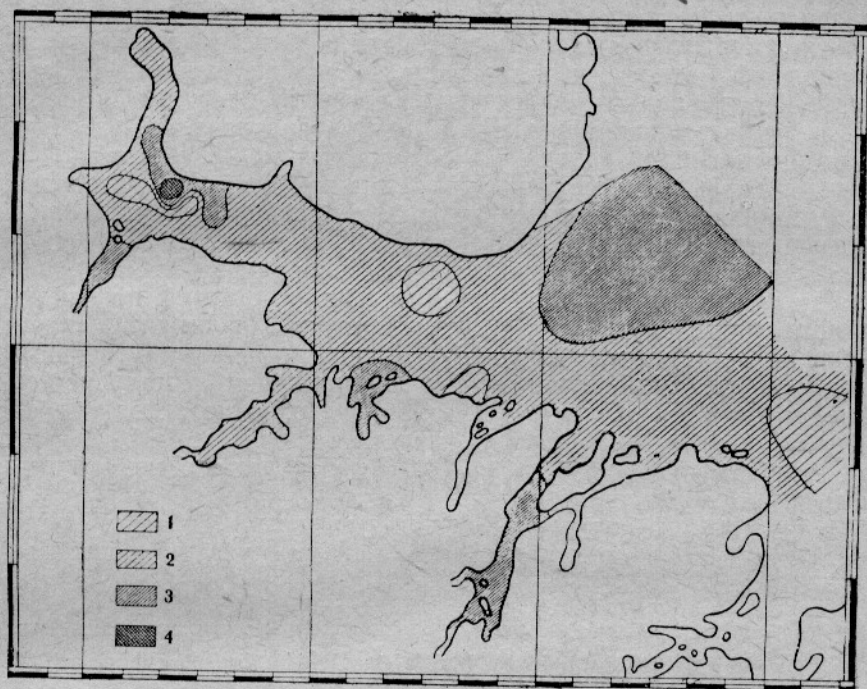


Рис. 1. Мотовский залив. Распределение хлорофилла в осадках.

Обозначения: 1 — содержание хлорофилла < 1,0 мг; 2 — от 1,0 до 2,0 мг; 3 — от 2,0 до 3,0 мг; 4 — от 3,0 до 4,0 мг.

Abb. 1. Der Motovskij Busen. Chlorophyllverbreitung in den Sedimenten.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyllgehalt < 1,0 mg; 2 — von 1,0 bis 2,0 mg; 3 — von 2,0 — 3,0 mg; 4 — von 3,0 bis 4,0 mg.

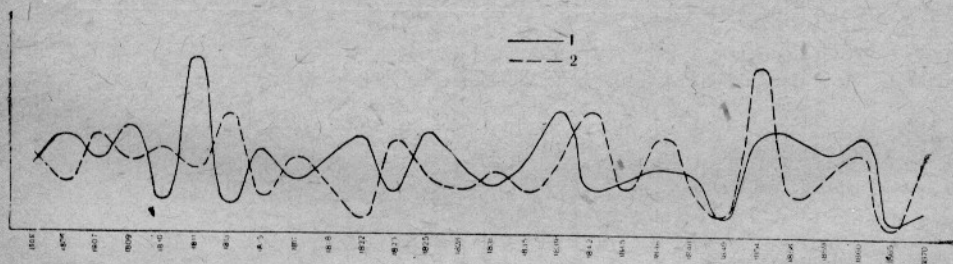


Рис. 2. Мотовский залив. Соотношение между количеством хлорофилла в осадке и фракцией < 0,01 мм.

Обозначения: 1 — хлорофилл в мг на 100 г осадка; 2 — фракция < 0,01 мм в процентах.

Abb. 2. Der Motovskij Busen. Verhältnis des Chlorophyllgehaltes im Sediment und der Fraktion < 0,01 mm.

Bezeichnungen: 1 — Chlorophyll in mg je 100 g; 2 — Fraktion < 0,01 mm in Prozent.

содержит максимально 2,50 и 3,31 мг хлорофилла, черный же ил (сапропелевый) с 70—74 см глубоководной колонки дает 74,99 мг хлорофилла и, наконец, более древние верхнеевксинские слои дают понижение содержания хлорофилла, достигающее 0,02 и 0,06 мг. Третичные сарматские глины дали всего 0,0027, 0,005 и 0,0024 мг на 100 г воз-

душно-сухой породы. Таким образом, порядок полученных нами цифр вполне совпадает с данными Раузер. Сравнивая результаты анализа хлорофилла с механическим составом осадка (рис. 2), мы получаем для большинства станций совершенно ясную картину обратного соотношения между изменением количества фракции меньше 0.01 мм и количеством хлорофилла. Кривые идут обратно друг к другу, и эта закономерность нарушается только на последних станциях по разрезу выходной части залива, в которых соотношение как бы меняет свой знак, и кривые некоторое время следуют параллельно одна другой. Отсутствие какой бы то ни было закономерной связи между количеством хлорофилла и механическим составом осадка, отмечаемое Раузер¹, объясняется, по нашему мнению, той методикой механического анализа (метод Сабанина), которую она применяла. В литературе неоднократно указывалось², что скорости, применяемые Сабаниным, не совпадают с истинными скоростями падения частицы. Цифры мелкой фракции, получаемые по методу Сабанина, являются совершенно условными и потому не отражают гидромеханических условий отложения осадков. Просматривая под микроскопом с микрометренным окуляром фракцию меньше 0.01 мм, полученную по методу Сабанина, нам неоднократно приходилось убеждаться в том, что в этой фракции многочисленны частицы от 0.05—0.01 мм и даже более крупные — вплоть до 0.1 мм в диаметре.

Ввиду того что количество фракции меньше 0.01 мм, определенное по Осборну с контролем микроскопа, как нам уже приходилось ука-

Таблица 2. Хлорофилл в осадках в связи с газовым режимом
Tabelle 2. Chlorophyll in den Sedimenten im Zusammenhang mit dem Gasregime

№ станций Nr. der Stationen	pH в придонном слое pH der Bodenschicht	O ₂ в процентах насыщения в придонном слое Sauerstoffgehalt der Bodenschicht	Хлорофилл в мг на 100 г воздушно-сухого осадка Chlorophyll, mg je 100 g des luft-trockenen Sedimentes
1804	8.12	103	1.46
1806	8.09	94	2.2
1809	8.11	95	2.37
1813	8.00	91	0.6
1815	8.08	—	1.9
1822	8.16	101	2.17
1823	8.01	93	0.9
1825	8.11	96	2.3
1835	8.12	103	1.38
1839	7.87	95	2.81
1842	8.08	87	0.9
1848	8.11	97	1.46
1856	8.19	103	2.3
1860	8.11	90	2.3
1865	8.05	93	0.27

¹ Loc. cit., стр. 295.

² Астапов С. В. Очерки по изучению физических свойств почв. Ч. I. Механический состав почв. «Ин-т с.-х. мелиорации НКЗ», стр. 51, М. 1923.

Фрейберг И. К. Сравнительные изучения наиболее употребительных методов механического анализа почв. «Почвоведение», № 1, 40, 1900.

Филатов М. Механический анализ почвы по методу снятия слоя воды. «Почвоведение», № 4, 33, 1925, и другие.

зывать¹, отражает условия отложения осадка и, в частности, условия движения придонного слоя воды, закономерное соотношение между количеством хлорофилла и мелкой фракции является вполне естественным. Однако, зависимость здесь значительно более сложна, чем может показаться с первого взгляда².

Сокращение гидрохимических работ 34-й экспедиции не позволило проделать определений концентрации водородных ионов рН и растворенного кислорода на всех станциях, где было произведено определение хлорофилла. Ниже приводятся те данные³, которыми мы располагаем. Определения рН и O₂ в придонном слое производились гидрологом экспедиции Т. В. Заблуда. Данные, проверенные и испра-

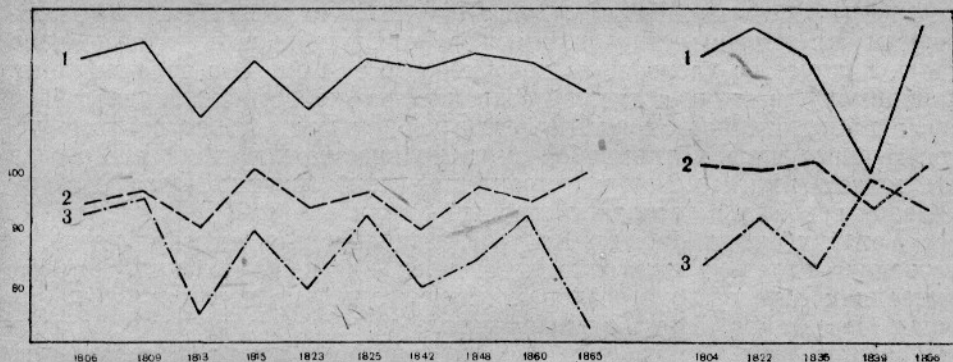


Рис. 3. Мотовский залив. Соотношение между хлорофиллом в осадке и газовым режимом.

Обозначения: 1 — рН; 2 — кислород; 3 — хлорофилл.

Abb. 3. Der Motovskij Busen. Verhältnis des Chlorophyllgehaltes im Sediment und Gasregime.

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

вленные соответствующими поправками, получены от гидрохимического отдела б. Государственного океанографического института (табл. 2).

Сгрушировав отдельно станции центральной части залива и станции, расположенные в кутовых частях губ, мы получаем ясную картину для центральной части залива, где кривые кислорода рН и хлорофилла идут в общем параллельно друг другу (рис. 3). Как известно, кислород морской воды является в значительной степени продуктом жизнедеятельности растительного планктона и процент насыщения кислородом находится в прямой зависимости от развития водорослей. Источником хлорофилла, естественно, являются те же организмы растительного планктона. В процессе своей жизнедеятельности они выделяют кислород и поглощают углекислоту, что обуславливает сдвиг реакции морской воды в щелочную сторону, т. е. повышение показателя концентрации водородных ионов рН. Таким образом, указанная закономерность в содержании хлорофилла в грунте такова же, как в морской воде⁴.

В этом мы находим объяснение и для той обратной зависимости, которая существует между количеством хлорофилла в осадке и фрак-

¹ Кленова М. В. Постплиоценовая глина из губы Крестовой на Новой Земле. «Тр. Геол. ин-та Ак. наук», т. I.

² В последующих работах было обнаружено, что при однородном газовом режиме истинного придонного слоя воды количество хлорофилла возрастает одновременно с мелкой фракцией.

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

⁴ Krepс E. a. Verjbinskaja N. Seasonal changes in the phosphate and nitrate content and in Hydrogen Ion Concentration in the Barents Sea. «Journ. du Cons.», vol. V., Nr. 3, 1930, p. 345.

ции < 0.01 мм. Обогащение осадка этой фракцией происходит в зонах затишья. Замедленные движения воды ведут к плохой вентиляции придонных слоев — к повышению рН, уменьшению количества поступающего сверху из зоны фотосинтеза кислорода. Количество поступающего кислорода зависит, с одной стороны, от условий циркуляции, а с другой, — и от количества фитопланктона, служащего источником хлорофилла. Пониженная вертикальная циркуляция ведет к обеднению верхних слоев воды биогенными элементами и создает неблагоприятные условия для развития фитопланктона, поставляющего хлорофилл.

В кутовых частях губ картина несколько иная — закономерное соотношение между количеством хлорофилла рН и кислородом нарушается. В частности, при пониженном содержании кислорода на ст. 1839 (процент насыщения 95) и $pH = 7.87$, что объясняется сероводородным заражением осадка и, вероятно, придонного надгрунтового слоя воды, количество хлорофилла повышено до 2.81 мг. Это явление стоит, повидимому, в связи с лучшей сохранностью хлорофилла в анаэробной среде и аналогично накоплению его в черном или глубоководных осадках Черного моря. Таким образом, в количестве хлорофилла в осадке мы можем иметь признак, характеризующий физико-географические условия водоема, в частности, газовый режим его.

Устойчивость хлорофилла в течение целых геологических периодов позволяет видеть в нем одно из звеньев той цепи явлений, которые привели к образованию осадка и происшедшей из него осадочной породы. Предстоит еще большая работа по накоплению материала и выяснению всех тех взаимных связей, которые ведут к сохранению того или иного количества хлорофилла в осадке и осадочной породе.

Лаборатория геологии моря

1933

CHLOROPHYLL IN DEN SEDIMENTEN ALS KENNZEICHEN DES GASREGIMES DES WASSERBECKENS

Von *Klenova M. V.* und *Jastrebova L. A.*

Zusammenfassung

Das Chlorophyll wurde nach dem Verfahren von Rauser im Alkohol-extrakt mittels eines Spektro-Kolorimetres bestimmt. Die Menge desselben schwankt zwischen 0.6 und 3.74 mg pro 100 g des Rückstandes. (S. Tabelle).

Beim Vergleich der Chlorophyllmenge mit dem Gehalt an Sauerstoff und mit der Konzentration der Wasserstoffionen im Bodenwasser erhalten wir einen parallelen Verlauf der Kurven. Das Chlorophyll lagert sich in grossen Mengen in den Zonen mit guter Ventilation ab, wo, augenscheinlich, eine stärkere Entwicklung des Phytoplanktons beobachtet wird. Das bedingt den umgekehrten Verlauf der Chlorophyllkurven und der Kurve des Gehalts an der feinen Fraktion im Sediment. In den Stille-Zonen, wo die Menge der feinen Partikeln im Sediment zunimmt, wird die Menge des Chlorophylls geringer. Andererseits weist das Chlorophyll günstigere Erhaltungsbedingungen in anaeroben Verhältnissen auf, und deshalb wurde die grösste Menge desselben im Bezirk gefunden, welcher mit Schwefelwasserstoff infiziert war, wie dies auch für das Schwarze Meer festgestellt wurde.

Da das Chlorophyll sich im fossilen Zustand erhält, kann man annehmen, dass die weiteren Untersuchungen es möglich machen werden, über das Gasregime der früheren Seen zu urteilen.

Laborat. f. Geologie d. Meeres

1933