

© Авторы 2022 г. Открытый доступ.
Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

© The Authors 2022. Open access.
Content is available under Creative Commons Attribution
License 4.0 International (CC BY 4.0)

УДК 556.555.6:581.132.1

<https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.1.060-073>

Пигменты в донных отложениях зал. Анива (Охотское море)

Т. Г. Коренева^{*1}, Л. Е. Сигарева²

^{*}E-mail: t.koreneva@sakhniro.ru

¹Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, Россия

²Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН), Борок, Россия

Реферат. Приведены данные спектрофотометрического определения содержания растительных пигментов в донных отложениях зал. Анива (Охотское море), полученные осенью 2013 г. Показано, что содержание осадочных пигментов количественно связано с гидрологическими характеристиками водной толщи и типологическими показателями донных отложений. Содержание хлорофилла *a* с феопигментами в отложениях залива характеризуется в целом величинами олиготрофной категории. Пигментные характеристики донных отложений залива представлены значениями показателей, которые существенно отличаются от таковых у функционирующих растительных организмов за счет сильной деградации пигментного фонда. Отмечено превалирование концентрации феопигментов над хлорофиллом *a*, увеличение вклада вспомогательных хлорофиллов в общую их сумму, а также возрастание общих каротиноидов по сравнению с хлорофиллом *a*. Экологическая интерпретация полученных сведений о пигментах и их соотношениях дает представление о механизме взаимодействия продукционных и деструкционных процессов в водоемах, что придает пигментным характеристикам значение интегральных экосистемных показателей.

Ключевые слова: залив Анива, пигментные характеристики, донные отложения

Pigments in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk)

Tatyana G. Koreneva^{*1}, Lyubov E. Sigareva²

^{*}E-mail: t.koreneva@sakhniro.ru

¹Sakhalin Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences (IBIW RAS), Borok, Russia

Abstract. The data of spectrophotometric determination of the content of plant pigments in the bottom sediments of Aniva bay (the Sea of Okhotsk) obtained in autumn 2013 are presented. The content of sedimentary pigments is shown to be quantitatively related to the hydrological characteristics of the water column and the typological indicators of bottom sediments. The content of chlorophyll *a* with phaeopigments in the sediments of the bay is generally characterized by values of the oligotrophic category. The pigment characteristics of the bottom sediments of the bay are represented by the values of indicators that differ significantly from those of functioning plant organisms due to the strong degradation of the pigment fund. The prevalence of the concentration of phaeopigments over chlorophyll *a*, an increase in the contribution of additional chlorophylls to their total amount, as well as an increase in total carotenoids compared to chlorophyll *a* were noted. The ecological interpretation of the data obtained on pigments and pigment ratios gives an idea of the mechanism of interaction between production and destruction processes in water bodies, which gives to the pigment characteristics meaning of integral ecosystem indicators.

Keywords: Aniva Bay, pigment characteristics, bottom sediments

Для цитирования: Коренева Т.Г., Сигарева Л.Е. Пигменты в донных отложениях зал. Анива (Охотское море). *Геоэкология переходных зон*, 2022, т. 6, № 1, с. 60–73. <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.1.060-073>

For citation: Koreneva T.G., Sigareva L.E. Pigments in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk). *Geosystems of Transition Zones*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 60–73. (In Russ., abstr. in Engl.). <https://doi.org/10.30730/gtr.2022.6.1.060-073>

Благодарности и финансирование

Исследования выполнены в рамках государственных программ СахНИРО (тема № 076-00002-21-00), ИБВВ РАН

Acknowledgements and Funding

The research was carried out within the framework of state programs of SakhNIRO (theme No. 076-00002-21-00),

(тема № 121051100099-5) и в рамках договора о научно-исследовательском сотрудничестве между Институтом биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН и СахНИРО.

Авторы благодарны сотрудникам отдела исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия СахНИРО, принимавшим участие в экспедиционных работах, за отбор и первичную обработку проб, а также лично к.б.н. Елене Максимовне Латковской за организацию исследований.

Введение

Зал. Анива – один из наиболее продуктивных районов южного Сахалина, являющийся местом обитания и воспроизводства ценных видов рыб и беспозвоночных. Объекты и инфраструктура нефтегазоперерабатывающего комплекса в его прибрежной части создают риск загрязнения ценной рыбопромысловой акватории и несут в себе угрозу дальнейшему развитию рыбного хозяйства – одной из приоритетных отраслей экономики Сахалинской области. В условиях антропогенного пресса на залив и экономических трудностей в организации регулярных комплексных исследований актуален поиск доступных (малозатратных) подходов к оценке состояния экосистемы зал. Анива и ее мониторингу.

Среди апробированных на водоемах разного типа продукционных показателей особое место принадлежит хлорофиллу *a* (Хл *a*) – основному фотосинтетическому пигменту растительных организмов. Предложение Г.Г. Винберга (1961) использовать концентрацию хлорофилла *a* в качестве показателя биомассы и фотосинтеза планктонных водорослей дало начало одному из направлений гидробиологических (экологических) исследований [1]. Содержание хлорофилла *a* служит исходным показателем для оценки первичной продукции Мирового океана и пресноводных экосистем с помощью моделей, в основе которых лежит зависимость скорости фотосинтеза от подводной освещенности [2, 3]. Наряду с Хл *a* в экологии изучаются другие растительные пигменты и продукты их деградации как показатели динамики состава и физиологического состояния планктонных и бентосных водорослей. Итогом процессов деструкции, трансформации и седиментации новообразованного органического вещества является накопление растительных пигментов в донных отложениях, поэтому закономерности формирования пигментного комплекса в отложениях дают пред-

IBIW RAS (theme No. 121051100099-5) and within the framework of the agreement on research cooperation between the Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS and SakhNIRO.

The Authors are grateful to the staff of the Department of Environmental Studies and Monitoring of Anthropogenic Impact of SakhNIRO, who took part in expeditionary work, for sampling and primary processing of samples, as well as personally to Elena Maksimovna Latkovskaya for organizing the research.

ставление о характере многолетней динамики первичной продукции. Исключительно высокая информационная значимость сведений о пространственно-временном распределении пигментов дает основание применять их для оценки влияния природных и антропогенных факторов на экологическое состояние разнотипных водоемов. Наличие объективных инструментальных методов, их доступность и оперативность обуславливают широкое использование растительных пигментов (и их дериватов) в водной экологии [4, 5].

Первые данные о количественном распределении Хл *a* в морских осадках были получены в начале XX в. [6]. В связи с развитием системного подхода к изучению водных объектов в настоящее время растительные пигменты морских донных отложений вызывают все более широкий интерес [7–10]. Большая часть экологических исследований по пигментам в водоемах, включая зал. Анива, выполняется на фитопланктоне [11–16]. Аналогичные сведения для донных отложений зал. Анива касаются лишь хлорофилла *a* и продукта его деградации [17]. Данных о вспомогательных пигментах в донных отложениях залива нами не встречено. Недостаточная освещенность этого вопроса послужила основой для постановки цели настоящего исследования.

Цель работы – получить данные по содержанию вспомогательных пигментов в донных отложениях зал. Анива, оценить связь пигментов с абиотическими факторами и возможность применения пигментных характеристик для мониторинга экологического состояния залива. Для достижения цели необходимо определить содержание основных групп растительных пигментов в донных отложениях, установить связи пигментных показателей донных отложений с характеристиками водных масс (глубина, температура, соленость, pH) и свойствами донных отложений (тип, влажность, содержание органического вещества).

Район исследований и методика

Зал. Анива – обширная акватория с площадью 5.809 тыс. км² и объемом вод 306.2 км³, глубоко вдающаяся в южную часть о. Сахалин и расположенная между мысами Крильон (45.54° N, 142.05° E) и Анива (46.01° N, 142.25° E) [18]. От Татарского пролива зал. Анива отделяет п-ов Крильонский, а от Охотского моря – п-ов Тонино-Анивский¹. Осевая протяженность зал. Анива варьирует от 80 до 110 км. Протяженность береговой линии, по современным данным, составляет около 245 км [16]. Вследствие антропогенной нагрузки в последнее десятилетие усиливается интенсивность и активность размыва берегов. Средняя глубина залива, по данным 1999 г.², составляет 63 м. Относительная прозрачность вод изменяется от 8–10 м в северной прибрежной части залива осенью до 15–18 м в центральной и юго-восточной глубоководной его частях весной [14].

По концентрации Хл *a* в планктоне залив относится к мезотрофному типу водоемов весной и олиготрофному в летне-осенний период [14], по биомассе и первичной продукции фитопланктона – к мезоэвтрофному типу [20].

В мелководной зоне залива с глубинами 0–15 м встречаются плотные монодоминантные заросли *Saccharina japonica* [21]. Промысловый запас этого вида макрофитов оценен в диапазоне от 40.90 тыс. т в 2009 г. [22] до 42.41 тыс. т в 2010 г., площадь зарослей – 15.27 км² [23]. В прибрежной зоне залива на глубинах 0–10 м с песчаными и песчано-галечными грунтами наиболее часто встречается *Zostera marina* + *Scaphochinus griseu*. Основу фитомассы на участках с гравийно-песчаным грунтом в юго-западной части залива с глубинами от 8–10 до 20–25 м создает бурая водоросль (*Agarum cribrosum*). Для скалисто-каменистых грунтов северного побережья характерно доминирование сублиторальных видов бурых водорослей (*Laminaria japonica*, *Pervetia wrightii*, *Cystoseira crassipes*). Значительную часть занимают красные и зеленые водоросли (*Laurencia nipponica*, *Corallina officinalis*, *Gloiopeltis furcata*, *Neorhodomela teres*, *Porphyra pseudocrassa*, *Ulva fenestrata* и др.) [24]. В целом список микроводорослей, составленный для зал. Анива,

включает в себя более 200 видов и внутривидовых таксонов. Весной и летом преобладают диатомовые водоросли (48 видов), среди которых наиболее распространены *Cocconeis sculeum*, *Leptocylindrus danicus* и *Cylindrotheca closterium*. Осенью и зимой доминируют динофлагелляты (49 видов). Наиболее часто встречаются *Cymnodinium albulum* и *Gonyaulax spinifera* [20, 25–27]. Летом в районе завода СПГ отмечено активное развитие потенциально токсичного вида *Pseudo-nitzschia sp.* Осенью из потенциально токсичных и вредоносных водорослей отмечены виды рода *Pseudo-nitzschia*, *Dinophysis acuminata* и *Ostreopsis siamensis* [28].

Материалом для настоящего исследования послужили пробы донных отложений, отобранные с борта НИС «Дмитрий Песков» во время комплексной экспедиции в октябре 2013 г. в зал. Анива на 24 станциях четырех стандартных океанографических разрезов [29]. Схема расположения станций и разрезов представлена на рис. 1.

Донные отложения отбирали дночерпателем типа Ван-Вина (материал – нержавеющая сталь, объем ковша 50 л, площадь захвата 0.2 м²). Придонную воду удаляли из дночерпателя, пробы набирали методом квартования из центральной части верхнего 5-сантиметрового слоя, упаковывали в полиэтиленовые пакеты и хранили в замороженном виде не более 1 мес. Перед анализом исходный образец отложений тщательно перемешивали

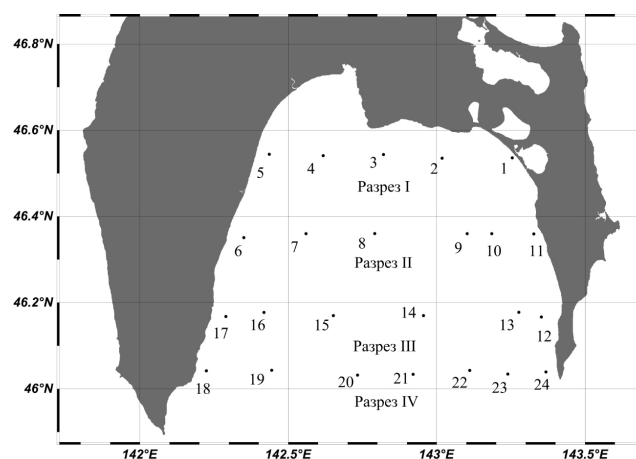


Рис. 1. Карта-схема расположения станций в зал. Анива.

Fig. 1. Schematic map of the location of the stations in Aniva Bay.

¹ Атлас Сахалинской области. 1967. М.: ГУГК при СМ СССР, 135 с. [Atlas of Sakhalin Oblast]. 1967. Moscow: GUGK pri SM SSSR, 135 p. (In Russ.).]

² Лоция Охотского моря. 1999. СПб.: ГУНиОМО РФ. Вып. 2, 325 с. [Sailing directions of the Sea of Okhotsk]. 1999. Saint Petersburg: GUNiOMO RF, Iss. 2, 325 p. (In Russ.).]

до однородного состояния, делили на две части для определения пигментов и влажности. Навеску донных отложений массой около 1 г помещали в пробирку с притертой пробкой, приливали 10 мл 90%-го ацетона, тщательно перемешивали стеклянной палочкой и ставили в холодильник на сутки. После отстаивания ацетоновый экстракт отделяли центрифугированием взвеси в течение 15 мин при 8 тыс. об/мин. Затем выдерживали осадок в свежей порции растворителя 1 ч и проводили повторное извлечение пигментов. В объединенном ацетоновом экстракте измеряли оптические плотности на спектрофотометре UV-3600 (Shimadzu, Япония). Концентрацию пигментов в образце донных отложений рассчитывали по формулам для фитопланктона по ГОСТ 17.1.4.02³, используя вместо объема профильтрованной воды сухую массу донных отложений в анализируемой сырой навеске [30]. Содержание пигментов выражали в мкг на 1 г сухого осадка (мкг/г с.о.). Влажность образцов донных отложений оценивали по разнице между массами сырой и высушенной при 105 °С навесок.

Содержание органического вещества (ОВ) в донных отложениях определяли фотометрическим методом после его окисления раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте по ГОСТ 26213⁴. При подготовке к анализу долю хлоридов доводили до <0.6 %, промывая пробу дистиллированной водой. Тип донных отложений оценивали по гранулометрическому составу в соответствии с ГОСТ 12536⁵ и по распространенной в морской геологии классификации [31].

В работе использовали показатели абсолютного и относительного содержания хлорофиллов, феопигментов и каротиноидов. Первая группа показателей: хлорофилл *a* общий в сумме с продуктом его деградации – феофитином (Хл *a*+Ф), хлорофилл *b* (Хл *b*), хлорофилл *c* (Хл *c*), хлорофилл *a* без продуктов его деградации – чистый Хл *a_c*, продукт деградации хлорофилла – феофитин *a* (Ф *a*)

и каротиноиды (К). Вторая группа: процентный вклад хлорофиллов Хл *a_c*, Хл *b*, Хл *c* в сумме (Хл *a_c*+Хл *b*+Хл *c*), процентный вклад феофитина (Ф *a*) в сумме с чистым хлорофиллом (Хл *a_c*+Ф), отношения Ф *a* и Хл *a_c*, К и Хл *a*+Ф, а также К и Хл *a* в виде пигментного индекса E_{430}/E_{664} . В тексте термин «феопигменты» употребляется в том же смысле, что и «феофитин». Тесноту корреляционной связи между сравниваемыми признаками оценивали по значению коэффициента детерминации [32], достоверность коэффициента корреляции – по критерию Стьюдента.

Результаты

Исследования показали, что донные отложения в центральной (станции 8–10, 14, 15), южной глубоководной (станции 19–24) и восточной прибрежной (станции 11, 12) частях залива представлены в основном алевроитами и пелитами с примесью песка, а в южной (станция 3) и западной прибрежной (станции 16–18) частях – галечником и гравием с илом. При уменьшении доли песчаной фракции увеличивались естественная влажность и концентрация ОВ (табл. 1).

Пространственное распределение пигментов неоднородно и изменяется в зависимости от типов и свойств донных отложений. Сравнительно высокое содержание Хл *a*+Ф (9.1–19.5 мкг/г) отмечено в илах с высокой влажностью и максимальным содержанием ОВ (табл. 1; рис. 2 А). Фактором, способствующим накоплению пигмента в центре и юго-восточной части залива (станции 14, 15, 21, 22 и 24), наряду с другими (особенности гидродинамики, наличие зон аккумуляции, бактериопланктон и пр.), была, вероятно, существенная глубина (71–100 м), поскольку от нее зависит суммарное количество взвеси в толще воды. На других станциях (5 и 18) причиной повышенного содержания Хл *a*+Ф могло быть усиленное развитие планктонных и бентосных водорослей вследствие поступления элементов минерального питания с поверхностными водами. Особо следует вы-

³ ГОСТ 17.1.4.02-90. 2001. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Изд-во стандартов, с. 551–563. [ГОСТ 17.1.4.02-90. 2001. Water. Spectrophotometric determination of chlorophyll *a*. Moscow: Standards Publ. House, p. 551–563.]

⁴ ГОСТ 26213-91. 1992. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 6 с. [ГОСТ 26213-91. 1992. Soils. Methods for determination of organic matter. Moscow: Standards Publ. House, 6 p.]

⁵ ГОСТ 12536-2014. 2015. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 19 с. [ГОСТ 12536-2014. 2015. Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution. Moscow: Standartinform, 19 p.]

Таблица 1. Абиотические условия и физико-химические характеристики донных отложений зал. Анива, октябрь 2013 г.
Table 1. Abiotic conditions and physicochemical characteristics of the bottom sediments of Aniva Bay, October 2013.

Номер станции	Глубина, м	Температура воды, °С	Соленость воды, ‰	pH, ед.	Влажность донных отложений, %	Содержание ОВ, %	Тип донных отложений
1	16	7.8	30.5	8.1	7.0	0.2	2
2	41	7.7	30.5	7.9	38.2	1.1	2
3	35	7.5	30.8	8.0	35.4	1.2	3
4	40	7.6	30.6	8.0	39.7	1.6	1
5	24	8.2	30.8	8.1	51.1	2.7	1
6	16	7.8	30.5	8.1	13.6	0.4	2
7	48	8.7	31.6	8.0	33.7	1.1	2
8	62	0.4	33.0	8.0	35.6	1.2	1
9	71	1.7	32.8	7.9	20.8	1.1	1
10	65	3.6	30.4	7.9	32.4	1.2	1
11	33	7.2	30.3	7.9	24.8	1.0	2
12	60	8.0	32.2	7.9	32.8	2.3	1
14	84	0.5	32.8	7.6	42.7	2.5	1
15	71	0.1	32.9	7.9	39.9	1.9	3
16	56	9.1	32.2	8.0	38.1	1.7	4
17	28	8.3	30.8	8.1	25.6	1.6	3
18	28	8.4	31.0	8.1	43.8	2.0	3
19	77	1.0	32.2	8.0	43.7	1.6	1
20	87	1.2	32.6	7.9	32.7	1.8	2
21	97	0.4	30.4	7.8	40.5	2.2	1
22	100	0.6	32.7	7.8	48.8	2.2	2
24	72	1.0	30.3	7.8	43.4	1.9	2

Примечание. Тип донных отложений: 1 – алевриты и пелиты; 2 – алевриты и пелиты с примесью песка; 3 – илистый песок; 4 – галечник и гравий с илистым заполнителем.

Note. Type of bottom sediments: 1 – silts and pelites; 2 – silts and pelites with an admixture of sand; 3 – silty sand; 4 – gravel and gravel with silty aggregate.

делить станцию 5 – наиболее продуктивную по фитопланктону за счет биогенных веществ, поступающих с водами лососевых рек, впадающих в бухту Лососей, и минерализации органического вещества, накопленного за период нереста. Невысокая гидродинамическая активность (судя по значениям температуры) также могла способствовать накоплению пигмента в донных отложениях залива.

Небольшие концентрации (4.4–4.9 мкг/г) Хл *a*+Ф были отмечены в донных отложениях с минимальными значениями влажности и содержания ОВ на станциях (1, 6) прибрежной зоны с илистыми отложениями, включающими песок. Причиной низкого уровня накопления пигмента на этих станциях, вероятно, была повышенная гидродинамическая активность, характерная для относительно мелководной зоны (16 м). В среднем концентрация Хл *a*+Ф

в осадках залива составляла 6.5 ± 0.7 мкг/г с.о., что дает основание (по W. Möller и B. Scharf) считать залив олиготрофной акваторией [33]. Средние концентрации отдельных хлорофиллов были ниже: Хл *a*_с – 1.2 ± 0.3 ; Хл *b* – 1.6 ± 0.1 ; Хл *c* – 1.9 ± 0.1 мкг/г с.о. (табл. 2). На большинстве станций (17 из 22) Хл *c* доминировал по отношению к другим хлорофиллам (рис. 3 А), его доля от общей суммы составляла 42.2 ± 1.6 %.

Обсуждение результатов

Известно, что состав пигментов в клетках водорослей зависит от их таксономической принадлежности. Для фитопланктона показано, что преобладание Хл *a* при невысокой концентрации Хл *b* и Хл *c* свидетельствует о доминировании синезеленых водорослей, преобладание Хл *c* над Хл *b* – о доминировании диатомовых и динофитовых водорослей. От-

сутствие Хл *a* и высокое содержание Ф *a* отражают нежизнеспособность водорослей и наличие растительного детрита [34]. Донные отложения большинства станций характеризовало превышение значений соотношения Хл *c* / Хл *a* над величинами Хл *b* / Хл *a*, что свидетельствует о происхождении осадочных пигментов преимущественно из диатомовых водорослей и связано, очевидно, с их доминированием в фитопланктоне зал. Анива [20, 25–28].

Высокое содержание Хл *b* в донных отложениях, наряду с другими источниками (остатки высших растений, эвгленовые, зеленые водоросли и др.), может быть следствием лучшей его сохранности в осадках (по сравнению с Хл *a*) и способности к накоплению при низкой освещенности. Это подтверждается значительной долей пигмента от суммы хлорофиллов (37.2–45.0 %) на глубоководных станциях. Из причин повышенного содержания Хл *b* в донных отложениях нельзя исключить наличие большой концентрации дериватов Хл *a*, у которых максимум поглощения сдвигается по отношению к таковому для чистого Хл *a*, а само поглощение дериватов уменьшается в 1.7 раза [35]. Кроме того, представители других отделов водорослей, высшие водные растения, а также растительные остатки, поступающие с приливно-отливными водами, могут вносить значительный вклад в содержание Хл *b* в донных отложениях [36].

Концентрации К и Ф *a* варьировали синхронно с изменением Хл *a*+Ф и составляли в среднем 15.9 ± 1.2 и 7.0 ± 0.5 мкг/г соответственно (рис. 2 А; табл. 2). Продукты деградации составляли основную долю от их суммы с хлорофиллом (в среднем 86.9 ± 2.1 %)

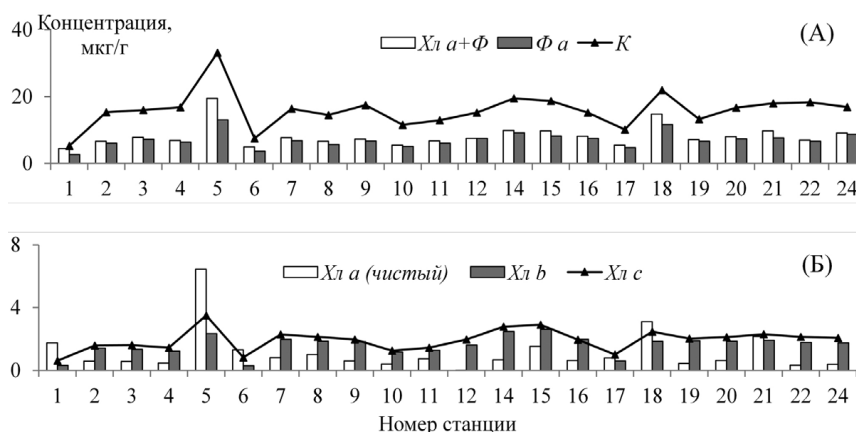


Рис. 2. Распределение концентраций хлорофилла *a* общего (Хл *a*+Ф), феофитина *a*, каротиноидов (А) и хлорофиллов Хл *a*, Хл *b*, Хл *c* (Б) в донных отложениях зал. Анива, октябрь 2013 г.

Fig. 2. Distribution of concentrations of Chl *a*+Ph (chlorophyll *a* with the products of its degradation), Ph *a* (pheophytin *a*), C (carotenoids) (А) and Chl *a*, «pure» chlorophyll, chlorophyll without the products of its degradation, Chl *b*, Chl *c* (Б) in the bottom sediments of Aniva Bay, October 2013.

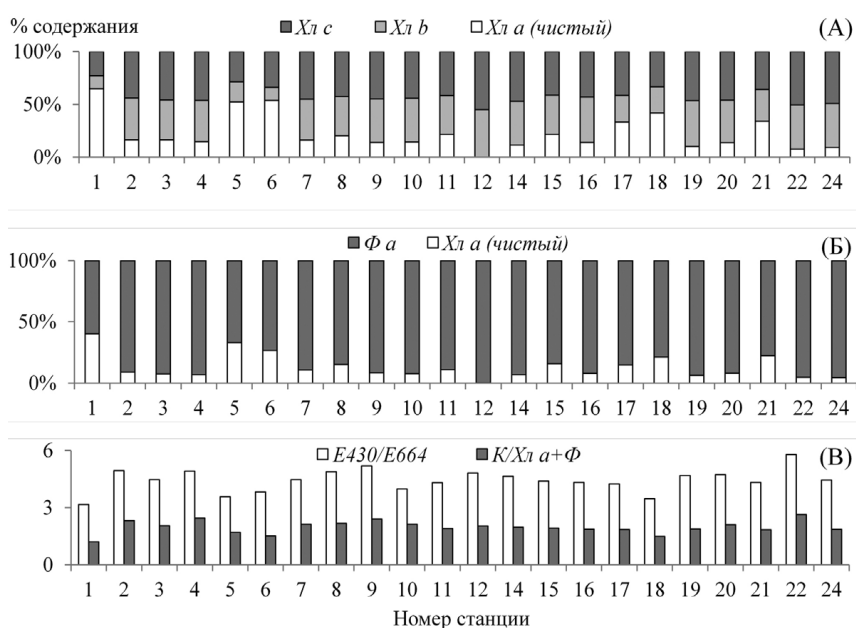


Рис. 3. Соотношения концентраций пигментов в донных отложениях зал. Анива, октябрь 2013 г.

Fig 3. Ratios of pigment concentrations in the bottom sediments of Aniva Bay, October 2013.

(рис. 3 Б), в отличие от фитопланктона, где степень деградации хлорофилла *a* значительно ниже (45.1–52.8 %) [14]. Средняя величина соотношения К / Хл *a*+Ф (1.98 ± 0.07), обычно используемого в качестве индикатора трансформации фитопигментов, выше ее значения в фитопланктоне (1.28 ± 0.08), что указывает на более сильное разрушение пигментов в донных отложениях по сравнению с водной толщей.

Таблица 2. Диапазон варьирования и средние значения пигментных характеристик в донных отложениях зал. Анива, 2013 г.

Table 2. Range of variation and the average values of pigment characteristics in the bottom sediments of Aniva Bay, 2013

Пигментные характеристики	Пределы варьирования	Среднее значение со стандартной ошибкой
Хл <i>a</i> +Ф, мкг/г	4.4–19.5	6.5±0.7
Хл <i>a</i> ₁ , мкг/г	<0.02–6.5	1.2±0.3
Хл <i>b</i> , мкг/г	0.3–2.6	1.6±0.1
Хл <i>c</i> , мкг/г	0.6–3.5	1.9±0.1
Ф <i>a</i> , мкг/г	2.6–13.0	7.0±0.5
К, мкг/г	5.3–33.2	15.9±1.2
Хл <i>a</i> , %	0.0–64.9	22.8±3.6
Хл <i>b</i> , %	12.2–45.0	35.0±2.1
Хл <i>c</i> , %	22.9–55.0	42.2±1.6
Ф <i>a</i> , %	59.9–100.0	86.9±2.1
К/Хл <i>a</i> +Ф	1.20–2.64	1.98±0.07
E_{430}/E_{664}	3.16–5.78	4.44±0.13

В целом для донных отложений залива характерно превышение количества К и Ф *a* над остальными пигментами, что свидетельствует о нежизнеспособности водорослей и детритном происхождении пигментов, а также о высокой устойчивости каротиноидов и феофитинов [37]. О фитопланктонном происхождении желтых пигментов свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции между содержанием каротиноидов и биомассой фитопланктона (0.89–0.91) [38, 39], а также сходный характер изменения концентрации каротиноидов в клетке [40]. На основании этих данных некоторые исследователи рекомендуют оценивать биомассу водорослей именно по суммарному содержанию желтых пигментов [41, 42].

Значения пигментного индекса E_{430}/E_{664} (3.16–5.78) (рис. 3 В), характеризующего функциональную активность водорослей [43–45], показывают, что осенью в донных отложениях преобладают деструкционные процессы. Минимальные значения этого индекса (3.16–3.82) и соотношений К / Хл *a*+Ф (1.20–1.70) отмечены для песчаных донных отложений мелководных станций залива в северо-восточном и северо-западном побережье (станции 1, 5, 6). Максимальные значения соотношений (3.82–5.78 и 1.70–2.74 соответственно) наблюдали

в алевроитовых илах глубоководной центральной и юго-восточной частей залива (станции 4, 7–9, 12 и станции 19, 20, 22), что обусловлено деградацией хлорофилла и его производных в процессах трансформации в составе ОВ. Достаточно тесная связь пигментов с органическим веществом, по нашему мнению, может свидетельствовать об их растительном происхождении.

Корреляционный анализ подтверждает существование тесной связи между пигментами, свойствами донных отложений и абиотическими параметрами вод в заливе. Концентрация Хл *a*+Ф в осадках (мкг/г с.о.) нелинейно сопряжена с глубиной станции ($R^2 = 0.56$ при $n = 20$, $p < 0.05$), влажностью ($R^2 = 0.54$) и содержанием ОВ ($R^2 = 0.68$) (рис. 4 А–В). Наличие связи ($R^2 = 0.67$) между содержанием ОВ и глубиной станции (рис. 4 Г) свидетельствует о фитопланктонном происхождении органического вещества, а зависимости между содержанием основного пигмента и свойствами донных отложений (рис. 4 Д–З) отражают непосредственное влияние микроводорослей и растительных организмов на формирование структуры осадочного пигментного комплекса в заливе. Связь между Хл *a*+Ф и свойствами донных отложений нарушалась в случае привлечения данных по мелководным станциям 5 и 18, находящимся под влиянием определенных природных и антропогенных факторов (сток рек, нерест лососевых рыб) и содержащим высокую долю ОВ. Из этого следует, что степень зависимости между основным пигментом и свойствами донных отложений обусловлена происхождением ОВ.

Связь между Хл *a* и влажностью, а также содержанием ОВ отсутствовала, а каротиноиды и феофитин, напротив, были тесно связаны с характеристиками донных отложений ($R^2 = 0.68–0.77$) (рис. 5 А–В). Тесная связь отмечена между содержанием дополнительных хлорофиллов (*b* и *c*) и свойствами донных отложений ($R^2 = 0.66–0.78$ при $n = 22$, $p < 0.05$). Отношение К / Хл *a*+Ф положительно коррелировало с относительным содержанием Ф *a* ($R^2 = 0.54$), Хл *b* ($R^2 = 0.61$) и Хл *c* ($R^2 = 0.61$) (рис. 5 Г–Е), т.е. с ростом доли каротиноидов увеличивалось содержание вспомогательных пигментов и деградированных форм Хл *a*. Это указывает на то, что деградации подвергаются все компоненты пигментного фонда, сформированного при активном функционировании растительных организмов.

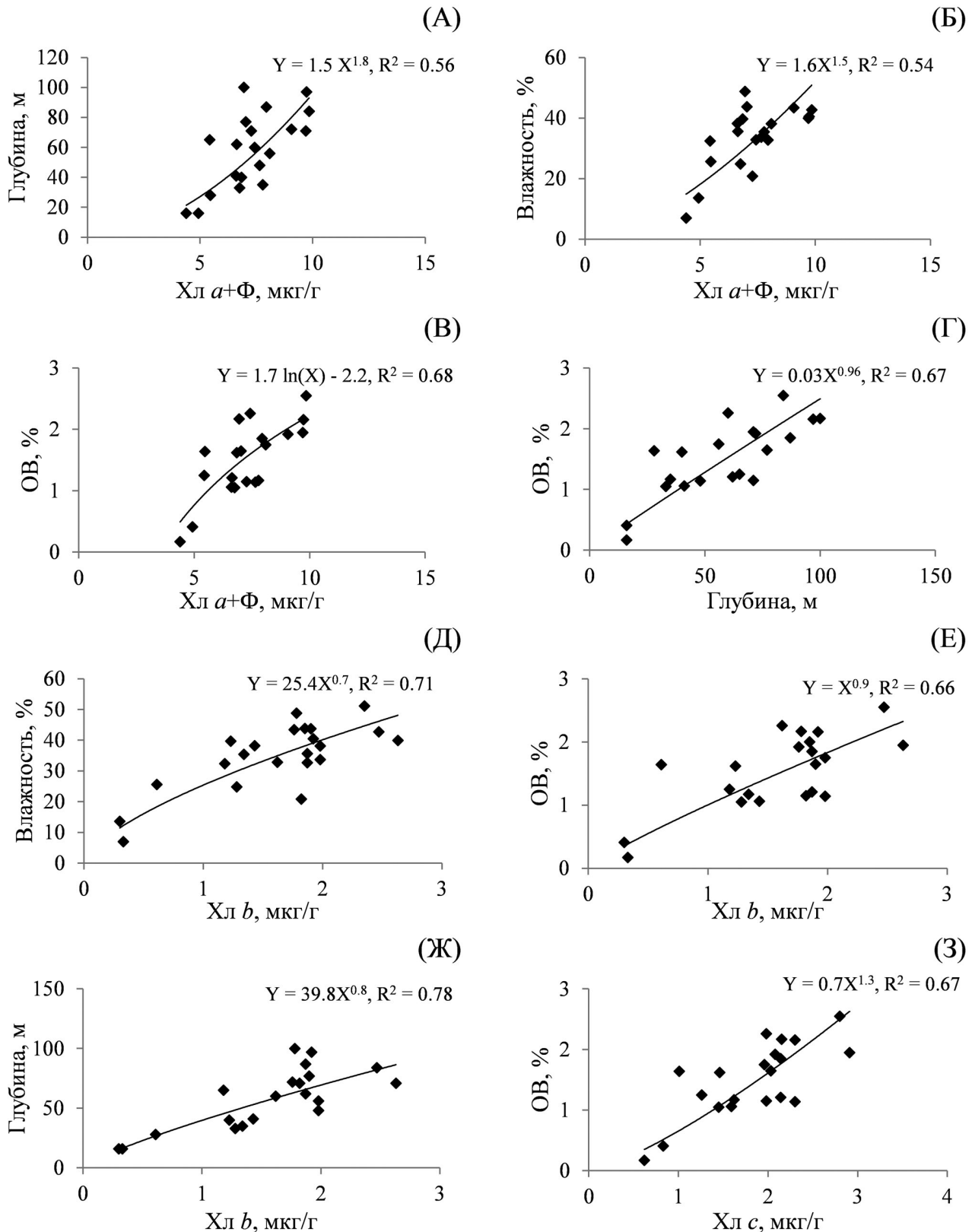


Рис. 4. Связь содержания Хл *a*+Ф с глубиной (А), влажностью донных отложений (Б) и концентрацией ОВ (В); содержания ОВ с глубиной (Г); содержания Хл *b* с влажностью (Д), концентрацией ОВ (Е) и глубиной (Ж); содержания Хл *c* с ОВ (З). Октябрь–ноябрь 2013 г.

Fig. 4. Correlation of Chl *a*+Ph content with depth (А), humidity of the bottom sediments (Б) and concentration of organic matter (В); organic matter content with depth (Г); Chl *b* content with humidity (Д), concentration of organic matter (Е), and depth (Ж); content of Chl *c* with organic matter (З). October–November 2013.

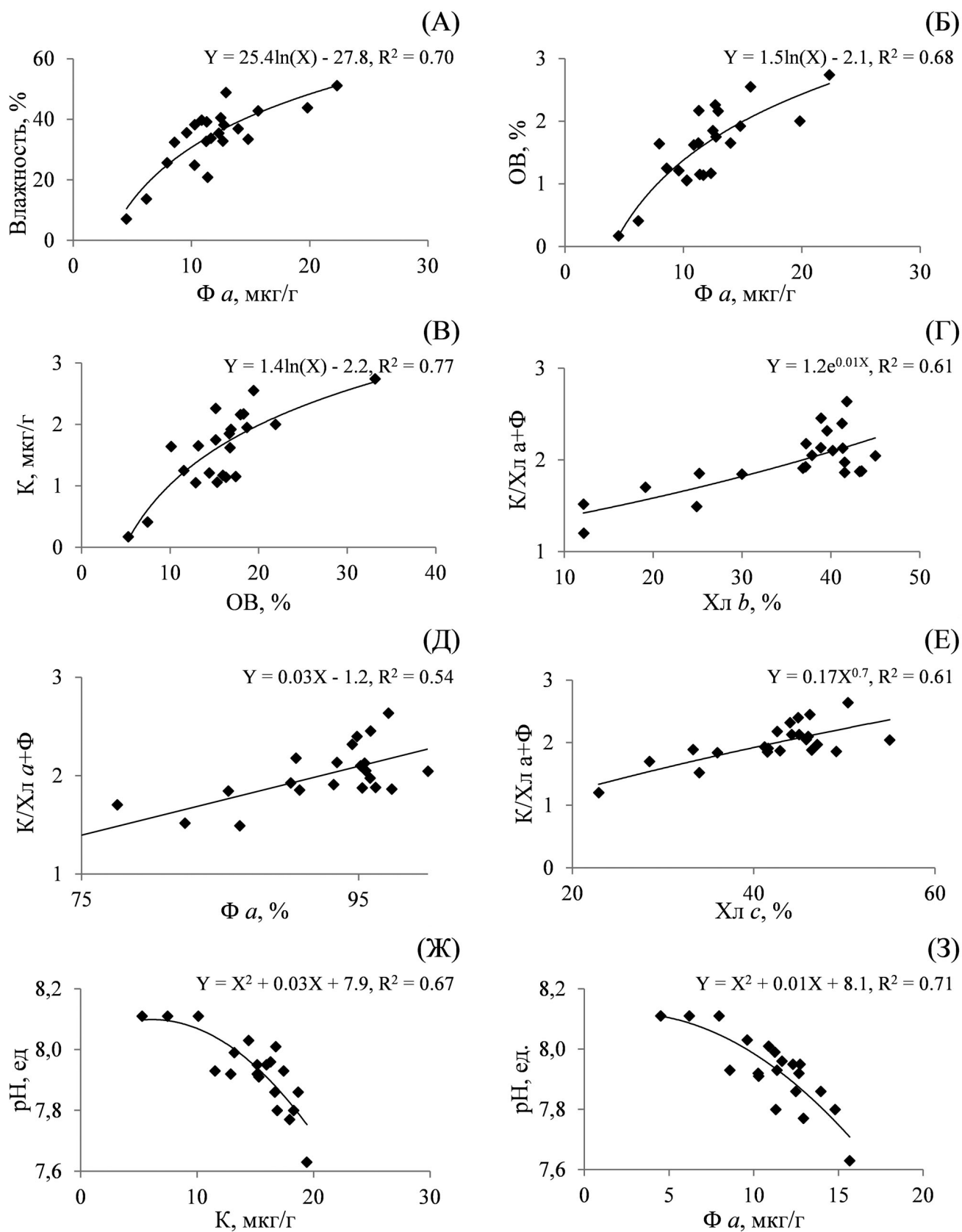


Рис. 5. Связь содержания Φa с влажностью (А) и концентрацией ОВ (Б); содержания К с ОВ (В); К / Хл а+Ф с Хл б (Г), с Φa (Д) и с Хл с (Е); pH с содержанием К (Ж) и Φa (3). Октябрь–ноябрь 2013 г.

Fig. 5. The relationship of pheophytin a content with humidity (A) and the concentration of organic matter (Б); carotenoids content with organic matter (В); C / Chl a +Ph with Chl b (Г), C / Chl a +Ph with Ph a (Д), C / Chl a +Ph with Chl c (Е); pH with carotenoids (Ж) and pheophytin a (3) content. October–November 2013.

Связь концентрации пигментов с гидролого-химическими параметрами воды выражена слабее, чем со свойствами донных отложений. Только содержание К и Ф *a* было тесно сопряжено с величиной рН ($R^2 = 0.67\text{--}0.71$) (рис. 5 Ж, 3). Содержание этих пигментов растет с уменьшением значений водородного показателя, что подтверждается их максимальным накоплением в донных отложениях глубоководных станций. Это отражается в наличии корреляции между содержанием этих пигментов и глубиной ($R^2 = 0.58\text{--}0.78$). Связь между пигментами и температурой, а также соленостью практически отсутствовала.

Существование тесной связи между пигментными характеристиками и параметрами, обусловленными морфометрией залива и его гидродинамической активностью, свидетельствует о зависимости характера варьирования содержания пигментов от абиотических условий, отражая связь между биотическими и абиотическими процессами формирования

донных отложений и трофическим статусом залива. Корреляция пигментов с физико-химическими свойствами донных отложений может использоваться для характеристики состояния экосистемы зал. Анива, так как эти свойства взаимосвязаны с процессами новообразования и трансформации органических веществ в водной толще, отражая их результат и влияя на численность, состав и разнообразие населяющих их организмов [24, 46].

Сравнение полученных результатов с опубликованными данными по некоторым другим водоемам региона показало сопоставимость уровня накопления и сходный характер распределения пигментов в донных отложениях (табл. 3). Так, содержание основного пигмента (Хл *a*+Ф) в донных отложениях зал. Анива (4.4–19.5 мкг/г с.о.) осенью 2013 г. согласуется с его содержанием в лагуне Буссе (0.2–21.6 мкг/г с.о.) осенью 2013 г. и эстуарии р. Раздольная (3.0–19.0 мкг/г с.о.) зимой 2008 г. (табл. 3) [47, 48].

Таблица 3. Содержание пигментов в донных отложениях некоторых водоемов в районе умеренно-муссонного климата

Table 3. The content of pigments in the bottom sediments of some water bodies in the temperate monsoon climate

Пигмент	Период исследования	Содержание пигментов	Источник информации
Эстуарий р. Раздольная (впадает в Амурский залив в Японском море)			
Хл+Ф (в районе бара)	Январь–февраль 2008 г.	3.0 мкг/г	А.А. Марьяш с соавт., 2010 [47]
Хл+Ф (залив)		10.0 мкг/г	
Хл+Ф (река)		19.0 мкг/г	
Лагуна Буссе (соединена с зал. Анива в Охотском море)			
Хл а+Ф	Июль 2013 г.	0.2–70.2 мкг/г	Т.Г. Коренева с соавт., 2021 [48]
Ф а		42.2–94.1 %	
Хл а+Ф	Ноябрь 2013 г.	0.2–21.6 мкг/г	
Ф а		35.5–64.1 %	
Залив Анива (Охотское море)			
Хл а + Ф	Май 2005 г.	1.9–9.0 мкг/г	Т.Г. Коренева и Л.Е. Сигарева, 2019 [17]
Ф а		63.7–93.1 %	
Хл а + Ф	Октябрь–ноябрь 2013 г.	4.4–19.5 мкг/г	
Ф а		59.9–100 %	

Доля Ф *a* от его суммы с Хл *a* в зал. Анива (71.9–100 %) была выше аналогичного показателя для лагуны Буссе (35.5–64.1 %). Более значительная деградация хлорофилла и его производных в процессе трансформации ОВ, очевидно, связана с глубоководностью зал. Анива (до 110 м, тогда как максимальная глубина в лагуне Буссе всего около 6 м). Это дает основание говорить о единых закономерностях функционирования водных экосистем.

Заключение

Получены данные о пигментах и их соотношениях в донных отложениях зал. Анива (Охотское море). Отмечено превалирование концентрации феопигментов над хлорофиллом *a*; увеличение, по сравнению с функционирующими растительными организмами, вклада вспомогательных хлорофиллов в общую их сумму за счет сильной деградации пигментного фонда, а также возрастание содержания об-

щих каротиноидов по сравнению с хлорофиллом *a*. Хлорофилл *a* вовлекается в процессы трансформации органических веществ в донных отложениях и разрушается быстрее, чем каротиноиды и феофитин. Показатели соотношения каротиноидов и хлорофилла в донных отложениях зал. Анива свидетельствуют о преобладании деструкционных процессов. Между всеми пигментными характеристиками донных отложений отмечены тесные корреляционные связи, указывающие на то, что деградации подвергаются все компоненты пигментного фонда, сформированного при активном функционировании растительных организмов.

Содержание и распределение пигментов по площади залива связано с гидродинамическими условиями в местах расположения станций и типологическими показателями донных отложений. Максимальные концентрации пигментов отмечены в илистых осадках в центре залива, где их формирование и накопление обусловлено значительной глубиной, минимальные – в песчаных осадках прибрежной части залива, гидродинамически активной и мелководной.

Концентрация пигментов, варьируя в зависимости от глубины в точке отбора, типа донных отложений и их физико-химических характеристик, отражает непосредственное влияние фитопланктона и других растительных организмов на формирование осадочного комплекса пигментов в заливе. Существование тесной связи между осадочными пигментами и глубиной ($R^2 = 0.58–0.78$), величиной pH ($R^2 = 0.67–0.71$), содержанием органического вещества ($R^2 = 0.67–0.68$), типом и свойствами донных отложений ($R^2 = 0.54–0.71$) позволяет использовать пигменты в качестве интегральных биоиндикаторов для характеристики экологического состояния залива.

Список литературы

1. Винберг Г.Г. 1961. Современное состояние и задачи изучения первичной продукции водоемов. В кн.: *Первичная продукция морей и внутренних вод*. Минск: Изд-во Минва высшего, среднего и проф. образования, с. 11–24.
2. Звалинский В.И. 2006. Формирование первичной продукции в море. *Известия ТИНРО*, 147: 276–302.
3. Petrenko D., Pozdnyakov D., Sychoy V., Johannessen J., Counillon F. 2013. Satellite-derived multi-year trend in primary production in the Arctic Ocean. *International J. of Remote Sensing*, 34(11): 3903–3937.
4. Sigareva L.E., Zakonnov V.V., Timofeeva N.A., Kasyanova V.V. 2013. Sediment pigments and silting rate as indicators of the trophic condition of the Rybinsk reservoir. *Water Resources*, 40(1): 54–60. <https://doi.org/10.1134/s0097807813010090>
5. Sigareva L.E., Timofeeva N.A. 2014. The phytoplankton role in formation of bottom sediment productivity in a large reservoir in the years with different temperature conditions. In: *Phytoplankton: biology, classification and environmental impacts*. New York: Nova Sci. Publ. Chapter 6: 161–175.
6. Раузер-Черноусова Д.М. 1930. О количественном распределении хлорофилла в современных и ископаемых морских осадках. *Бюл. Московского общества испытателей природы. Отд. геол.*, 8(3–4): 285–299.
7. Минкина Н.И., Самышев Э.З., Копытов Ю.П. 2015. Многолетние изменения уровня загрязнения и развития планктона в Севастопольской бухте. *Системы контроля окружающей среды*, 1(21): 82–93.
8. Chen J., Oseji O., Mitra M. et al. 2016. Phytoplankton pigments in Maryland coastal bay sediments as biomarkers of sources of organic matter to benthic community. *J. of Coastal Research*, 32(4): 768–775. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00223.1>
9. Naeher S., Suga H., Ogawa N. et al. 2016. Distributions and compound-specific isotopic signatures of sedimentary chlorins reflect the composition of photoautotrophic communities and their carbon and nitrogen sources in Swiss lakes and the Black Sea. *Chemical Geology*, 443: 198–209. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.04.029>
10. Krajewska M., Rajewska M., Szymczak-Żyła M., Kowalewska G. 2017. Algal pigments in Hornsund (Svalbard) sediments as biomarkers of Arctic productivity and environmental conditions. *Polish Polar Research*, 38(4): 423–443. <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0025>
11. Гаврина Л.Ю., Цхай Ж.Р., Шевченко Г.В. 2005. Сезонная изменчивость концентрации хлорофилла в проливе Лаперуза по спутниковым и судовым измерениям. *Труды СахНИРО*, 7: 156–178.
12. Пропп Л.Н., Гаврина Л.Ю. 2005. Сезонные вариации соединений биогенных элементов и продукционных характеристик в водах залива Анива по результатам экспедиционных исследований 2001–2002 гг. *Труды СахНИРО*, 7: 111–155.
13. Lazzari P., Solidoro C., Ibello V. et al. 2012. Seasonal and inter-annual variability of plankton chlorophyll and primary production in the Mediterranean Sea: a modelling approach. *Biogeosciences*, 9: 217–233. <https://doi.org/10.5194/bg-9-217-2012>
14. Коренева Т.Г., Латковская Е.М. 2013. Характеристика изменчивости вод залива Анива по содержанию пигментов фитопланктона. *Вода: химия и экология*, 10: 68–78.
15. Коренева Т.Г., Латковская Е.М., Частиков В.Н. 2014. Сезонная динамика гидролого-гидрохимических характеристик и концентрации хлорофилла *a* в зал. Анива в 2003 г. *Вода: химия и экология*, 4: 33–45.
16. Захарков С.П., Штрайхерт Е.А., Шамбарова Ю.В. и др. 2016. Определение концентрации хлорофилла *a* в Японском море с использованием зондирующего и проточного флуориметров. *Океанология*, 56(3): 482–490. <https://doi.org/10.7868/S0030157416020210>
17. Коренева Т.Г., Сигарева Л.Е. 2019. Распределение хлорофилла *a* в донных отложениях залива Анива (Охотское море). *Биология моря*, 45(5): 299–308.
18. Леонов А.В., Пищальник В.М. 2012. *Моделирование природных процессов в водной среде. Теоретические основы*. Южно-Сахалинск: СахГУ, 228 с.
19. Афанасьев В.В. 2020. *Морфолитодинамические процессы и развитие берегов контактной зоны субарктических*

- и умеренных морей Северной Пацифики. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 171 с. <https://doi.org/10.30730/978-5-6040621-8-0.2020-1>
20. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В. и др. **2007**. Фитопланктон прибрежных вод острова Сахалин и потенциально токсичные виды в его составе. В кн.: *Реакция морской биоты на изменения природной среды и климата*. Владивосток: Дальнаука, с. 233–263.
 21. Балконская Л.А., Чумаков А.А. **2005**. Современное состояние *Laminaria japonica* Aresch в традиционных районах промысла у берегов Южного Сахалина. В кн.: *Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки*. Тез. докл. 2-й междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИРО, с. 13–16.
 22. Евсеева Н.В., Репникова А.Р. **2010**. Ресурсы промысловых водорослей Сахалино-Курильского региона. *Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов*, 3: 14–21.
 23. Аминина Н.М., Вишневецкая Т.И., Галанин Д.А. и др. **2014**. Характеристика промысловых запасов сахаринны японской в заливе Анива (Охотское море). *Известия ТИНРО*, 178: 116–123.
 24. Щукина Г.Ф., Галанин Д.А., Балконская Л.А. **2003**. Структура и распределение прибрежных донных сообществ залива Анива. *Труды СахНИРО*, 5: 3–24.
 25. Киселев И.А. **1959**. Качественный и количественный состав фитопланктона и его распределение в водах у Южного Сахалина и южных Курильских островов. *Исследования дальневосточных морей*, 9: 58–77.
 26. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В. **2004**. Видовой состав микроводорослей планктона Охотоморского прибрежья острова Сахалин. *Биология моря*, 30(2): 96–104.
 27. Селина М.С., Стоник И.В., Кантаков Г.А., Орлова Т.Ю. **2005**. Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря. *Труды СахНИРО*, 7: 179–196.
 28. Могильникова Т.А., Никулина Т.В., Коренева Т.Г. и др. **2017**. Фитопланктон и химические показатели прибрежных вод юго-западного и южного Сахалина (Татарский пролив, залив Анива). В кн.: *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*, вып. 7: 151–167.
 29. Пищальник В.М., Климов С.М. **1991**. *Каталог глубоководных наблюдений, выполненных в шельфовой зоне острова Сахалин в период 1948–1987 гг.* Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 166 с.
 30. Сигарева Л.Е. **2012**. *Хлорофилл в донных отложениях волжских водохранилищ*. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 217 с.
 31. Лисицын А.П., Безруков П.Л. **1960**. Классификация осадков современных морских водоемов. *Геологические исследования в дальневосточных морях*: Тр. Ин-та океанологии, 32: 3–14.
 32. Лакин Г.Ф. **1990**. *Биометрия*. М.: Высшая школа, 352 с.
 33. Möller W.A.A., Scharf B.W. **1986**. The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication. *Hydrobiologia*, 143: 327–329. <https://doi.org/10.1007/bf00026678>
 34. Сиренко Л.А. **1988**. Информационное значение хлорофилльного показателя. *Гидробиологический журнал*, 24(4): 49–53.
 35. Lorenzen C.J. **1967**. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12(2): 343–346. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343>
 36. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А., Законнов В.В. **2004**. Особенности распределения растительных пигментов в донных отложениях Чебоксарского водохранилища. *Гидробиологический журнал*, 40(5): 27–35.
 37. Breton E., Brunet C., Sautour B., Brylinski J.-M. **2000**. Annual variations of phytoplankton biomass in the Eastern English Channel: comparison by pigment signatures and microscopic counts. *J. of Plankton Research*, 22(8): 1423–1440. <https://doi.org/10.1093/plankt/22.8.1423>
 38. Елизарова В.А. **1974**. Содержание фотосинтетических пигментов в единице биомассы фитопланктона. *Труды Ин-та биологии внутр. вод АН СССР*, 28(31): 46–64.
 39. Yacobi Y.Z., Pollinger U., Gonen Y. **1996**. HPLC analysis of phytoplankton pigments from Lake Kinneret with special reference to the bloom-forming dinoflagellate *Peridinium gatunense* (Dinophyceae) and chlorophyll degradation products. *J. Plankton Research*, 18(10): 1781–1796.
 40. Goericke R., Montoya J.P. **1998**. Estimating the contribution of microalgal taxa to chlorophyll a in the field-variations of pigments ratios under nutrient and light limited growth. *Marine Ecology Progress Series*, 169: 97–112.
 41. Gieskes W.W., Kraay G.W., Nontij A. et al. **1988**. Monsoonal alteration of a mixed and layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): a mathematical analysis of algal pigment fingerprints. *Netherlands J. of Sea Research*, 22: 123–137.
 42. Leavitt P.R. **1993**. A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance. *J. Paleolimnology*, 9: 109–127.
 43. Margalef R. **1966**. Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. In: *Primary productivity in aquatic environments*. Berkeley: Univ. California Press, p. 355–364. <https://doi.org/10.1525/9780520318182-026>
 44. Бульон В.В. **1978**. Содержание феопигментов в планктоне (обзор). *Гидробиологический журнал*, 14(3): 62–69.
 45. Курейшев А.В., Сиренко Л.А., Медведь В.А. **1999**. Многолетняя динамика содержания хлорофилла а и особенности развития фитопланктона в Днепродзержинском водохранилище. *Гидробиологический журнал*, 35(2): 49–62.
 46. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. **2011**. Межгодовая динамика содержания хлорофилла а в донных отложениях Рыбинского водохранилища (Россия). *Альгология*, 21(2): 190–201.
 47. Марьяш А.А., Ходоренко Н.Д., Звалинский В.И., Тищенко П.Я. **2010**. Хлорофилл, гуминовые вещества и органический углерод в эстуарии реки Раздольная в период ледостава. *Вестник ДВО РАН*, 6: 44–51.
 48. Коренева Т.Г., Сигарева Л.Е., Латковская Е.М. **2021**. Содержание хлорофилла а в донных отложениях мелководной лагуны Буссе (остров Сахалин). *Биология моря*, 47(5): 299–308.

References

1. Vinberg G.G. **1961**. Current state and problems of studying the primary production of water bodies. In: *Primary production of seas and inland waters*. Minsk: Publ. House of the Ministry of Higher, Secondary and Vocational Education, p. 11–24.
2. Zvalinsky V.I. **2006**. Formation of primary production in the sea. *Izvestiya TINRO*, 147: 276–302.
3. Petrenko D., Pozdnyakov D., Sychov V., Johannessen J., Counillon F. **2013**. Satellite-derived multi-year trend in

- primary production in the Arctic Ocean. *International J. of Remote Sensing*, 34(11): 3903–3937.
4. Sigareva L.E., Zakonnov V.V., Timofeeva N.A., Kasyanova V.V. **2013**. Sediment pigments and silting rate as indicators of the trophic condition of the Rybinsk reservoir. *Water Resources*, 40(1): 54–60. <https://doi.org/10.1134/s0097807813010090>
 5. Sigareva L.E., Timofeeva N.A. **2014**. The phytoplankton role in formation of bottom sediment productivity in a large reservoir in the years with different temperature conditions. In: *Phytoplankton: biology, classification and environmental impacts*. New York: Nova Sci. Publ. Chapter 6: 161–175.
 6. Rauzer-Chernousova D.M. **1930**. [On the quantitative distribution of chlorophyll in modern and fossil marine sediments]. *Byul. Moskovskogo obshchestva ispytatelei prirody. Otd. geol.*, 8(3–4): 285–299. (In Russ.).
 7. Minkina N.I., Samyshev E.Z., Kopytov Yu.P. **2015**. [Long-term changes in pollution level and plankton development in the Bay of Sevastopol]. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, 1(21): 82–93. (In Russ.).
 8. Chen J., Oseji O., Mitra M. et al. **2016**. Phytoplankton pigments in Maryland coastal bay sediments as biomarkers of sources of organic matter to benthic community. *J. of Coastal Research*, 32(4): 768–775. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00223.1>
 9. Naeher S., Suga H., Ogawa N. et al. **2016**. Distributions and compound-specific isotopic signatures of sedimentary chlorins reflect the composition of photoautotrophic communities and their carbon and nitrogen sources in Swiss lakes and the Black Sea. *Chemical Geology*, 443: 198–209. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.04.029>
 10. Krajewska M., Rajewska M., Szymczak-Żyła M., Kowalewska G. **2017**. Algal pigments in Hornsund (Svalbard) sediments as biomarkers of Arctic productivity and environmental conditions. *Polish Polar Research*, 38(4): 423–443. <https://doi.org/10.1515/popore-2017-0025>
 11. Gavrina L.Yu., Tskhai Zh.R., Shevchenko G.V. **2005**. [Seasonal variability of chlorophyll concentration in the La Pérouse Strait according to the satellite and shipboard measurements]. *Trudy SakhNIRO = Transactions of the "SakhNIRO"*, 7: 156–178. (In Russ.).
 12. Propp L.N., Gavrina L.Yu. **2005**. [Seasonal variations in nutrient compounds and production characteristics in the waters of Aniva Bay according to the results of expedition studies 2001–2002]. *Trudy SakhNIRO*, 7: 111–155. (In Russ.).
 13. Lazzari P., Solidoro C., Ibello V. et al. **2012**. Seasonal and inter-annual variability of plankton chlorophyll and primary production in the Mediterranean Sea: a modelling approach. *Biogeosciences*, 9: 217–233. <https://doi.org/10.5194/bg-9-217-2012>
 14. Koreneva T.G., Latkovskaya E.M. **2013**. Characteristics of water variability in the Aniva Bay in content of phytoplankton pigments. *Voda: khimiya i ekologiya*, 10: 68–78. (In Russ.).
 15. Koreneva T.G., Latkovskaya E.M., Chastikov V.N. **2014**. Seasonal changes in the hydrological and hydrochemical characteristics and in the concentration of *a*-chlorophyll in Aniva Bay in 2005. *Voda: khimiya i ekologiya*, 4: 33–45. (In Russ.).
 16. Zakharkov S.P., Shtraikher E.A., Shambarova Y.V., Gordeichuk T.N., Shi X. **2016**. Measuring chlorophyll *a* concentrations in the Sea of Japan using probe and flow fluorimeters. *Oceanology*, 56(3): 444–451. <https://doi.org/10.1134/s000143701602020x>
 17. Koreneva T.G., Sigareva L.E. **2019**. The distribution of chlorophyll *a* in the bottom sediments of Aniva Bay (Sea of Okhotsk). *Russian J. of Marine Biology*, 45(5): 341–349. <https://doi.org/10.1134/s1063074019050067>
 18. Leonov A.V., Pishchal'nik V.M. **2012**. [Modelling of natural processes in aquatic environment. Fundamentals.]. Yuzhno-Sakhalinsk: SakhGU, 228 p. (In Russ.).
 19. Afanasiev V.V. **2020**. *Morpholithodynamic processes and development of the shores of the contact zone of the subarctic and temperate seas of the North Pacific*. Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG FEB RAS, 171 p. <https://doi.org/10.30730/978-5-6040621-8-0.2020-1>
 20. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V. et al. **2007**. [Phytoplankton of coastal waters of the Island of Sakhalin and potentially toxic species of its composition]. In: *Reaktsiya morskoi bioty na izmeneniya prirodnoi sredy i klimata [Response of marine organisms to the climate and environment changes]*. Vladivostok: Dal'nauka, p. 233–263. (In Russ.).
 21. Balkonskaya L.A., Chumakov A.A. **2005**. [Current state of Laminaria japonica Aresch in the tradition fishing areas near the Southern Sakhalin coast]. In: *Morskoe pribrezhnye ekosistemy: vodorosli, bespozvonochnye i produkty ikh pererabotki: Tez. dokl. 2 mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Marine coastal ecosystems: algae, invertebrates and products of their processing: Abstracts of 2 Intern. scientific and pract. conf.]*. Moscow: VNIRO, p. 13–16. (In Russ.).
 22. Evseeva N.V., Repnikova A.R. **2010**. [Commercial algae resources of the Sakhalin-Kuril region]. *Rybprom: tekhnologii i oborudovanie dlya pererabotki vodnykh bioresursov [Rybprom: technologies and equipment for the processing of water bioresources]*, 3: 14–21. (In Russ.).
 23. Aminina N.M., Vishnevskaya T.I., Galanin D.A., Repnikova A.R., Guruleva O.N. **2014**. Description of *Saccharina japonica* commercial stock in the Aniva Bay (Okhotsk Sea). *Izvestiya TINRO = Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography*, 178: 116–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2014-178-116-123>
 24. Shchukina G.F., Galanin D.A., Balkonskaya L.A. **2003**. [Structure and distribution of the coastal benthos communities of Aniva Bay]. *Trudy SakhNIRO*, 5: 3–24. (In Russ.).
 25. Kiselev I.A. **1959**. Qualitative and quantitative composition of phytoplankton and its distribution in the waters near South Sakhalin and the southern Kuril Islands. *Research of the Far Eastern Seas*, 9: 58–77.
 26. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V. **2004**. Species composition of plankton microalgae of the Sea of Okhotsk coast of Sakhalin Island. *Russian J. of Marine Biology*, 30(2): 96–104.
 27. Selina M.S., Stonik I.V., Kantakov G.A., Orlova T.Yu. **2005**. Seasonal and interannual variability of the species composition of phytoplankton in the Aniva Bay of the Sea of Okhotsk. *Trudy SakhNIRO*, 7: 179–196. (In Russ.).
 28. Mogil'nikova T.A., Nikulina T.V., Koreneva T.G. et al. **2017**. [Phytoplankton and chemical indices of coastal waters of the Southwestern and South Sakhalin (Tatar Strait, Aniva Bay)]. In: *Chleniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova [Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings]*, 7: 151–167. (In Russ.).
 29. Pishchal'nik V.M., Klimov S.M. **1991**. [Catalog of deep-water observations carried out in the shelf zone of Sakhalin Island during the 1948–1987 period]. Yuzhno-Sakhalinsk: IMG G DVO RAN, 166 p. (In Russ.).
 30. Sigareva L.E. **2012**. [Chlorophyll in bottom sediments of the Volga reservoirs]. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 217 p. (In Russ.).
 31. Lisitsin A.P., Bezrukov P.L. **1960**. Classification of sediments of modern marine reservoirs. *Geological research in the Far Eastern seas: Tr. of the Institute of Oceanology*, 32: 3–14.
 32. Lakin G.F. **1990**. [Biometry]. Moscow: Vysshaya shkola, 352 p. (In Russ.).

33. Möller W.A.A., Scharf B.W. **1986**. The content of chlorophyll in the sediment of the volcanic maar lakes in the Eifel region (Germany) as an indicator for eutrophication. *Hydrobiologia*, 143: 327–329. <https://doi.org/10.1007/bf00026678>
34. Sirenko L.A. **1988**. [Informational meaning of the chlorophyll index]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 24(4): 49–53. (In Russ.).
35. Lorenzen C.J. **1967**. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography*, 12(2): 343–346. <https://doi.org/10.4319/lo.1967.12.2.0343>
36. Sigareva L.E., Timofeeva N.A., Zakonnov V.V. **2004**. [Peculiarities of the distribution of plant pigments in bottom sediments of the Cheboksary reservoir]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 40(5): 27–35. (In Russ.).
37. Breton E., Brunet C., Sautour B., Brylinski J.-M. **2000**. Annual variations of phytoplankton biomass in the Eastern English Channel: comparison by pigment signatures and microscopic counts. *J. of Plankton Research*, 22(8): 1423–1440. <https://doi.org/10.1093/plankt/22.8.1423>
38. Elizarova V.A. **1974**. The content of photosynthetic pigments in a unit of phytoplankton biomass. *Proceedings of the Institute of Biology of Inland Waters of the USSR Academy of Sciences*, 28(31): 46–64.
39. Yacobi Y.Z., Pollinger U., Gonen Y. **1996**. HPLC analysis of phytoplankton pigments from Lake Kinneret with special reference to the bloom-forming dinoflagellate *Peridiniumgautense* (Dinophyceae) and chlorophyll degradation products. *J. Plankton Research*, 18(10): 1781–1796.
40. Goericke R., Montoya J.P. **1998**. Estimating the contribution of microalgal taxa to chlorophyll *a* in the field-variations of pigments ratios under nutrient and light limited growth. *Marine Ecology Progress Series*, 169: 97–112.
41. Gieskes W.W., Kraay G.W., Nontij A. et al. **1988**. Monsoonal alteration of a mixed and layered structure in the phytoplankton of the euphotic zone of the Banda Sea (Indonesia): a mathematical analysis of algal pigment fingerprints. *Netherlands J. of Sea Research*, 22: 123–137.
42. Leavitt P.R. **1993**. A review of factors that regulate carotenoid and chlorophyll deposition and fossil pigment abundance. *J. Paleolimnology*, 9: 109–127.
43. Margalef R. **1966**. Ecological correlations and the relationship between primary productivity and community structure. In: *Primary productivity in aquatic environments*. Berkeley: Univ. California Press, p. 355–364. <https://doi.org/10.1525/9780520318182-026>
44. Bul'on V.V. **1978**. [Content of phaeopigments in plankton (review)]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 14(3): 62–69. (In Russ.).
45. Kureishevich A.V., Sirenko L.A., Medved' V.A. **1999**. [Multi-year dynamics of chlorophyll *a* content and the features of phytoplankton development in Dneprodzerzhinsk reservoir]. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 35(2): 49–62. (In Russ.).
46. Sigareva L.E., Timofeeva N.A. **2011**. [Interannual dynamics of chlorophyll *a* content in bottom sediments of the Rybinsk reservoir (Russia)]. *Al'gologiya*, 21(2): 190–201. (In Russ.).
47. Maryash A.A., Khodorenko N.D., Zvalinsky V.I., Tishchenko P.Ya. **2010**. Chlorophyll, humic substances and organic carbon in estuary of the Razdolnaya River during a freeze-up. *Vestnik of the FEB RAS*, 6: 44–51. (In Russ.).
48. Koreneva T.G., Sigareva L.E., Latkovskaya E.M. **2021**. The content of chlorophyll *a* in the bottom sediments of the shallow lagoon Busse (Sakhalin Island). *Russian J. of Marine Biology*, 47(5): 299–308. <https://doi.org/10.31857/s0134347521050077>

Об авторах

Коренева Татьяна Георгиевна (<https://orcid.org/0000-0003-1030-3286>), кандидат биологических наук, заведующая лабораторией исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия, Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО), Южно-Сахалинск, t.koreneva@sakhniro.ru

Сigareва Любовь Евгеньевна (<https://orcid.org/0000-0003-4894-3262>), доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории альгологии Института биологии внутренних вод РАН им. И.Д. Папанина (ИБВВ РАН), пос. Борок, Ярославская область, sigareva@ibiw.ru

About the Authors

Koreneva, Tatiana G. (<https://orcid.org/0000-0003-1030-3286>), Cand. Sci. (Biology), Head of the Laboratory of environmental research and monitoring of anthropogenic impact, Sakhalin Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (SakhNIRO), Yuzhno-Sakhalinsk, t.koreneva@sakhniro.ru

Sigareva, Lubov E. (<https://orcid.org/0000-0003-4894-3262>), Doctor of Biology, Leading Researcher, Laboratory of algology, Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl Region, sigareva@ibiw.ru

Поступила в редакцию 9.03.2022
После рецензирования 24.03.2022
Принята к публикации 25.03.2022

Received 9 March 2022
Revised 24 March 2022
Accepted 25 March 2022