



IV ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.44.43.009

УДК 628.3+582.232+504.4

© А.В. Мангазеев, Н.Г. Клочкова, Т.А. Клочкова, 2024

А.В. МАНГАЗЕЕВ

доцент

Камчатский государственный технический университет,

г. Петропавловск-Камчатский

e-mail: mang1976@mail.ru

Н.Г. КЛОЧКОВА

д-р биол. наук,

главный научный сотрудник

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии

Дальневосточного отделения Российской академии наук

г. Петропавловск-Камчатский

e-mail: ninakl@mail.ru

Т.А. КЛОЧКОВА

д-р биол. наук,

профессор кафедры

Камчатский государственный технический университет,

г. Петропавловск-Камчатский

e-mail: tatyana_algae@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ МАКРОФИТОБЕНТОСА АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ В РАЙОНЕ СБРОСА СТОКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Обсуждаются результаты мониторинга экологического состояния макрофитобентоса у мыса Чавыча, расположенного в Авачинской губе. Сюда сбрасываются воды городских очистных сооружений г. Петропавловск-Камчатский, в том числе в виде залповых сбросов от АО «Молокозавод Петропавловский» поступает около 6 тыс. тонн/год одного из самых опасных для биоты токсикантов — молочной творожной сыворотки. Она нарушает функционирование активного ила очистных сооружений и вызывает закисление морских прибрежных вод обсуждаемого района. Состояния макрофитобентоса этого участка в связи с высокой стоимостью подводных работ до сих пор основывалось на результатах сравнительных флористических исследований. Использование авторами геоинформационного портала Google Earth Pro позволило проследить изменения контуров подводных полей водорослей и показало, что за последние 18 лет у мыса Чавыча имело место постепенное сокращение площадей водорослевых зарослей и их плотности. Проведенные в 2023 г. исследования показали, что

из-за периодического понижения рН прибрежных вод здесь произошла смена доминантов растительных сообществ и практически исчезли кальцифицированные кораллиновые водоросли и беспозвоночные с внешними кальциевыми скелетами. Сбросы молокозавода могли послужить причиной данного явления. Использование в морских экологических исследованиях геоинформационных систем дает возможность получать актуальную и ретроспективную информацию о состоянии прибрежных экосистем.

Ключевые слова: АВАЧИНСКАЯ ГУБА, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ, МАКРОФИТОБЕНТОС, МОЛОЧНАЯ СЫВОРОТКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ.

ВВЕДЕНИЕ

Социально-экономическое развитие Камчатки началось в 18 веке и до сих пор продолжается на небольшой территории, окружающей вторую по величине в мире бухту — Авачинскую губу. Здесь у ее берегов и на водосборной площади впадающих в нее рек сконцентрировано около 3/4 всего населения Камчатки. Выгодное географическое положение водоема, делает его важнейшим восточным портом РФ и важной в стратегическом отношении военно-морской базой. Она до сих пор остается хозяйственно ценным проходным водоемом идущих на нерест лососевых и местом нагула их молоди [1]. Активное судоходство, направленные в губу хозяйственно-бытовые и промышленные канализационные стоки определили ее биогенное и техногенное загрязнение [2, 3, 4]. В связи с этим решение вопросов, связанных с сохранением чистоты данного водоема и поддержания способности к самоочищению, являются актуальной задачей региона. Это во многом обеспечивают автотрофные организмы. В морских прибрежных водах это, главным образом, представители макрофитобентоса (водоросли-макрофиты и морские травы).

В ходе экологического мониторинга принято анализировать изменения во времени его видового состава и занятых им площадей дна. Однако если сбор водорослей для определения перечня видов того или иного района достаточно прост, то картирование контуров подводных полей и определение площадей дна, занятых макрофитобентосом, весьма трудоемки и финансово затратны из-за высокой стоимости аренды судна и проведения

подводных работ. В связи с этим последняя альгоценотическая съемка вдоль городского побережья Авачинской губы была проведена нами в 2009 г. Она показала, что в пределах ее внутренней части макрофитобентос сохранял состояние близкое к естественному только у мыса Чавыча, и это связывалось с отсутствием поступления сюда неочищенных канализационных стоков.

Их очистку в этом районе обеспечивали единственные для г. Петропавловск-Камчатский канализационные очистные сооружения (КОС «Чавыча»). В настоящее время они имеют производительность 20 тыс. м³ в сутки и обеспечивают очистку общегородского канализационного стока только на 36% от его общего объема [5]. В недалеком будущем планируется реконструировать их до производительности 60000 м³ в сутки и перенаправить к ним весь городской сток [6]. Предполагается, что после этого очищенные стоки будут полностью соответствовать нормативным требованиям, предъявляемым к сбросам в рыбохозяйственные водоемы.

В ходе изучения влияния отходов производства АО «Молокозавод Петропавловский» (молочной творожной сыворотки) на состояние активного ила КОС «Чавыча» было установлено губительное воздействие ее залповых выбросов около 6 тыс. тонн/год на его микробиом [7], а также связанное с этим снижение эффективности очистки канализационных вод. Это, в свою очередь, определило необходимость изучения экологического состояния района сброса вод, прошедших очистку на КОС «Чавыча», в частности состояния макрофитобентоса, как первичного продукционного звена его прибрежной экосистемы.

В настоящей статье представлены результаты, полученные в ходе этой работы, и оцениваются последствия недостаточной очистки вод, сбрасываемых с очистных сооружений в Авачинскую губу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для определения видового состава водорослей-макрофитов и их распределения вдоль побережья мыса Чавыча послужили сборы литоральных и сублиторальных водорослей, проведенные в разные с 1999 по 2023 гг. в разных районах Авачинской губы, в том числе и у мыса Чавыча. На литорали количественные и качественные пробы водорослей собрали во время летних сизигийных отливов.

В сублиторальной зоне вдоль мыса Чавыча водолазная альгоценотическая съемка, направленная на выявление видового состава макрофитобентоса, проводилась в 1999, 2005 и 2009 годах. Сведение о составе видов и распределении водорослей-макрофитов у мыса Чавыча до 2000 г. были опубликованы в нашей работе [8]. Результаты исследований этого района в 2005 и 2009 гг. сохранились архиве КФ ТИГ ДВО РАН. В 2023 г. данный участок побережья был обследован нами вновь с целью определения видового состава и структуры литорального и сублиторального макрофитобентоса и воздействия на него сточных вод КОС «Чавыча».

Для определения контуров водорослевых полей, существовавших здесь в период 2005–2023 гг. использовали ресурсы геоинформационного портала Google Earth Pro. Об изменениях во времени площадей дна, занятых макрофитобентосом, судили по результатам сравнения выгруженных из его архива спутниковых снимков. Среди них для сравнительного изучения были выбраны те, на которых хорошо просматривались оконтуривающие мыс Чавыча водорослевые заросли. Об изменениях флористического состава за 2009–2023 гг. судили по результатам сравнения списков видов этого района, составленным для 1999 [8]., 2005, 2009 [9] и 2023 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морские водоросли-макрофиты, как известно, включают в свой состав представителей трех разных отделов: зеленых, бурых и красных. В чистых холодоумеренных водах абсолютное доминирование по числу видов принадлежит последним, однако основную биомассу в подводных растительных сообществах создают бурые водоросли, главным образом, ламинариевые и фукусовые. Зеленые водоросли играют вспомогательную роль [2]. В загрязненной среде первыми из состава макрофитобентоса исчезают красные водоросли, затем постепенно бурые. На последних стадиях антропогенной деградации флоры абсолютное доминирование переходит к эврибионтным зеленым водорослям, характеризующимся короткой вегетацией и частой сменой поколений. Эта стадия антропогенной трансформации носит название «зеленый прилив».

Общий список исходной флоры водорослей Авачинской губы, согласно нашим многолетним исследованиям, достигал 170 видов [2]. При этом у мыса Чавыча встречалось 75 видов [8], а к 1991 г. сохранилось 158 и 60 видов, соответственно. В 1999 г. во флоре Авачинской губы было обнаружено только 103, а у мыса Чавыча, к которому стали в это время поступать залповые выбросы АО «Молокозавода Петропавловский», осталось 48 видов [2; 8].

В представленной ниже таблице приведены сведения по встречаемости у мыса Чавыча массовых наиболее продуктивных видов макрофитобентоса в 1999, 2005, 2009 и 2023 гг.

Состояние растительного покрова и его изменения за последние 18 лет оценивали по данным спутниковых фотоснимков. Из их множества были выбраны наиболее качественные, позволяющие получить представления об изменении контуров водорослевых полей, а по интенсивности их окраски — их плотности. Эти данные представлены ниже (рис. 1).

На представленном рисунке видна структурная организация КОС «Чавыча» — здания и сооружения: блок механической очистки

Таблица

Изменения* видового состава водорослей у мыса Чавыча
в районе сброса вод очистных сооружений за период 1999–2023 гг.

№ п/п	Вид	Годы			
		1999	2005	2009	2023
Отдел Chlorophyta – Зеленые водоросли					
1	<i>Acrosiphonia duriuscula</i> (Ruprecht) Yendo	++	++	++	+
2	<i>Urospora penicilliformis</i> (Roth) Areschoug	++	++	++	++
3	<i>Blidingia minima</i> (Nägeli ex Kützing) Kylin	++	++	++	++
4	<i>Monostroma grevillei</i> (Thuret) Wittrock	+	+	++	++
5	<i>Ulva linza</i> Linnaeus	++	++	++	++
6	<i>Ulva fenestrata</i> Postels et Ruprecht	+	++	++	++
7	<i>Ulvaria blyttii</i> (Areschoug) Vinogradova	+	+	++	++
Отдел Ochrophyta – Бурые водоросли					
8	<i>Chordaria flagelliformis</i> (Müller) C.Agardh	++	+	+	–
9	<i>Analipus filiformis</i> (Ruprecht) Papenfuss	+	+	–	–
10	<i>Analipus japonicus</i> (Ruprecht) Papenfuss	++	++	+	–
11	<i>Ralfsia fungiformis</i>	+	+	–	–
12	<i>Dictyosiphon foeniculaceus</i>	+	+	–	–
13	<i>Desmarestia intermedia</i>	++	+	+	–
14	<i>Agarum clathratum</i> Dumortier	++	+	+	–
15	<i>Hedophyllum bongardianum</i> (Postels et Ruprecht) Yendo	++	++	++	++
16	<i>Saccharina latissima</i> (Linnaeus) Lane, Mayes, Druehl	+	+	–	–
17	<i>Talassiophyllum clathrus</i> (Gmelin) Postels et Ruprecht	+	–	–	–
18	<i>Alaria esculenta</i> (Linnaeus) Grevill	++	++	++	++
19	<i>Fucus distichus</i> Linnaeus	++	++	++	+
Отдел Rhodophyta – Красные водоросли					
20	<i>Wildemania amplissima</i> (Kjellman) Foslie	++	+	+	+
21	<i>Porphyra ochotensis</i> Nagai	++	+	+	+
22	<i>Hildenbrandtia rubra</i> (Sommerfelt) Meneghini	+	–	–	–
23	<i>Bossiella compressa</i> Kloczcova	+	+	+	–
24	<i>Clathromorphum circumscriptum</i> (Stromfelt) Foslie	++	+	+	+
25	<i>Clathromorphum compactum</i> (Kjellmann) Foslie	++	+	–	–
26	<i>Corallina pilulifera</i> Postels et Ruprecht	++	+	–	–
27	<i>Phymatolithon lamii</i> (Lemoine) Chamberlain	++	+	–	–
28	<i>Constantinea rosa-marina</i> (Gmelin) Postels et Ruprecht	+	–	–	–
29	<i>Gloiopeltis furcata</i> (Postels et Ruprecht) J. Ag.	++	+	+	–
30	<i>Callophyllis rhynchocarpa</i> Ruprecht	+	–	–	–
31	<i>Kallymeniopsis lacera</i> (Ruprecht) Perestenko	+	–	–	–
32	<i>Mastocarpus pacificus</i> (Kjellmann) Perestenko	++	+	+	+
33	<i>Halosaccion glandiforme</i> (Gmelin) Ruprecht	++	++	+	+
34	<i>Devaleraea firma</i> (Postels et Ruprecht) Selivanova.	++	++	+	–
35	<i>Devaleraea stenogona</i> (Perestenko) Skriptsova et Kalita	++	++	++	+
36	<i>Ptilota plumosa</i> C.Agardh	++	++	+	+
37	<i>Hymenena ruthenica</i> (Postels et Ruprecht) Zinova	+	+	–	–
38	<i>Phycodrys riggii</i> Gardner	+	+	+	–
39	<i>Neorhodomela larix</i> (Turner) Masuda	++	++	+	+
40	<i>Odonthalia kamtschatica</i> (Ruprecht) J.Agardh	++	++	+	+
41	<i>Odonthalia setacea</i> (Ruprecht) Perestenko	+	++	+	–
42	<i>Polysiphonia stricta</i> (Mertens ex Dillwyn) Greville	++	+	+	–
43	<i>Savoiea bipinnata</i> (Postels et Ruprecht) Wynne	++	++	++	+

* Примечание. Два плюса — массовый или часто встречающийся вид; один плюс — редкий или единственный вид; минус — вид отсутствует.



Рис. 1. Спутниковые фотоснимки мыса Чавыча из архива программы Google Earth Pro, выполненные в 2005 (1), 2008 (2), 2011 (3) и 2023 гг. (4)

КОС и аэротенки, заполненные и незаполненные активным илом. Пояс водорослей на спутниковых фотоснимках выглядит как узкая темная полоса, тянущаяся вдоль береговой линии. Она немного расширяется у небольшого скалистого кекура, расположенного вправо от канализационного стока, хорошо различимого на фотоснимке, сделанном в 2008 г.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ представленной выше таблицы показывает, что в период с 1999 по 2023 г. видовой состав альгофлоры у мыса Чавыча неуклонно сокращался. В 1999 г. здесь встречалось 43 вида, 27 из них были массовыми. В 2023 г. из прежнего состава сохранилось только 20 видов, при этом активную роль в формировании макрофитобентоса играют 8 видов: 2 бурых ламинариевых и 6 зеленых водорослей.

Об антропогенной деструкции подводных зарослей можно судить по уменьшению занятых ими площадей дна. Судя по данным

Т. А. Клочковой с соавторами [10] в литоральной зоне мыса Чавыча к 2023 г. почти полностью исчез пояс бурой водоросли *Fucus distichus*, тогда, когда в конце 80-х гг. прошлого века он формировал здесь сплошные заросли с 80–100%-м проективным покрытием. Под его пологом встречались многочисленные бурые и красные, особенно пальмариевые и кораллиновые. На сегодняшний день их практически полностью заменили эфемерные, короткоцикловые зеленые водоросли, а среди них непосредственно в районе выхода канализационной трубы у мыса Чавыча остались только самые полисапробные — *Urospora penicilliformis* и *Ulvaria splendens*.

Представители кораллиновых (порядок Corallinales, позиции в таблице 23–27) отличаются от других багрянок наличием клеточных оболочек, тяжело инкрустированных солями кальция. Одной из форм их адаптации к биообрастанию является способность к шелушиванию отслоившегося эпителиального слоя клеток, а вместе с ним осевших на него спор водорослей и личинок беспозвоночных.

Благодаря этому кораллиновые водоросли способны надолго оккупировать жесткие грунты и регулировать плотность произрастания ламинариевых и других водорослей.

Соли кальция у представителей этой группы откладываются на органической матрице клеточных стенок, и основную роль в их биоминерализации играют полисахариды [11], которые заметно меняют свой состав под воздействием условий окружающей среды, особенно температуры и рН морской воды [12]. Повышенная кислотность прибрежных вод, особенно при поступлении в них залповых выбросов молочной сыворотки, безусловно, внесла свой значительный вклад в исчезновение представителей этой группы, а вслед за ними и других многолетних видов водорослей и живущих под их пологом беспозвоночных, имеющих наружные кальциевые скелеты.

Из пяти ранее произраставших у мыса Чавыча ламинариевых к настоящему времени сохранились только *Hedophyllum bongardianum* и *Alaria esculenta* (таблица), при этом нижняя граница их распространения поднялась вверх до глубины 3 м, а плотность произрастания и проективное покрытие уменьшились более чем на 35–40%. Об этом мы судим по результатам сравнительного анализа спутниковых снимков за разные с 2005 по 2023 гг.

Их сравнение свидетельствует об исчезновении к 2023 г. пояса водорослей у юго-западной стороны мыса и снижении их плотности в районе канализационного сброса и у кекура. Говорить однозначно о том, что это прямое следствие регулярного закисления прибрежных вод района, было бы не совсем

правильным, поскольку этот участок побережья регулярно подвергается воздействию и других видов антропогенного загрязнения. Несомненно, только одно — воздействие на организмы активного ила [7] и закисление морских вод молочной творожной сывороткой, сбрасываемой камчатскими молокозаводами в количестве около 6 тыс. тонн ежегодно, внесло свою большую лепту в деструкцию макрофитобентоса.

ВЫВОДЫ

Разрабатывая методы детоксикации сбросов молочной творожной сыворотки АО «Молокозавод Петропавловский», мы пришли к выводу, что единственным способом ее не термической переработки является мембранная фильтрация [13], а среди опробованных нами мембран: микро-, ультра-, нано-фильтрационной и обратно осмотической — наилучшей селективностью характеризуется последняя. В полученном от нее фильтрате практически отсутствуют высоко- и низкомолекулярные соединения, в том числе токсичные для организмов активного ила очистных сооружений и представителей морского макробентоса органические кислоты.

Внедрение ранее разработанного нами метода детоксикации творожной сыворотки в производственный цикл молокозаводов позволит им соблюдать требования по водотведению, установленные действующим законодательством РФ [14], способствовать улучшению функционирования очистных сооружений и экологического состояния рыбохозяйственного водоема — Авачинская губа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Запорожец Г. В., Запорожец О. М. Состояние запасов Тихоокеанских лососей в бассейне Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в 1985–2019 гг. // Известия ТИНРО. 2020. Т. 200. Вып. 2. С. 334–363.
2. Клочкова Н. Г., Березовская В. А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. Владивосток: Дальнаука, 2001. 208 с.
3. Лепская Е. В., Тепнин О. Б., Коломейцев В. В. и др. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2014. Вып. 34. С. 5–21.

4. Кашутин А. Н., Егорова Е. В., Кашутина И. А. и др. Влияние антропогенного загрязнения на водоросли-макрофиты Авачинской губы (Юго-восточная Камчатка) // Экосистемы. Научный журнал Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. 2020. № 24. С. 130–141.

5. ООО «Регион». Очистные сооружения Камчатки. URL: <https://dc-region.ru/ochistnyye-sooruzheniya-kamchatki> (дата обращения: 27.02.2024).

6. Официальный сайт администрации Петропавловск-Камчатского городского округа. Актуализация схемы водоотведения Петропавловск-Камчатского городского округа до 2030 года. URL: <https://pkgo.ru/upload/iblock/65f/65fedd4e2f66b4740df561e4e4206700.pdf> (дата обращения: 27.02.2024).

7. Мангазеев А. В., Клочкова Т. А. Влияние молочной творожной сыворотки на физиологическое состояние активного ила очистных сооружений. // Материалы XII Национальной (Все-российской) научно-практической конференции (28–29 апреля 2021 г.). Сборник: Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование. КамчатГТУ, Петропавловск-Камчатский. 2021. С. 20–23.

8. Клочкова Н. Г., Березовская В. А. Изменения сублиторальных ассоциаций водорослей в Авачинской губе // В кн.: Эколого-экономические проблемы рационального природопользования Камчатки. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ. 1998. Вып. 4. С. 33–45.

9. Оценка экологического состояния Авачинской губы в местах бункеровки флота и перевалки нефтепродуктов: отчет по НИОКР // Архив ФГБУ Камчаттехмордирекция; рук. Клочкова Н. Г. Инв. № 241/н.2009., 2009. 315 с.

10. Клочкова Т. А., Кашутин А. Н., Климова А. В. Клочкова Н. Г. Биология развития и экология бурой водоросли *Fucus distichus* в прибрежных водах Камчатки. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2021. 128 с.

11. Borowitzka M. A., Larkum A. W. D. Calcification in algae: mechanisms and the role of metabolism // Crit. Rev. Plant Sci. 1987. Vol. 6. P. 1–45.

12. Bergstrom E., Collins H., Tessa M., Diaz-Pulido V. Cell wall organic matrix composition and biomineralization across reef-building coralline algae under global change // Journal of Phycology. 2022. No. 11. P. 1–15.

13. Мангазеев А. В., Потапов В. В., Горев Д. С. и др. Применение мембран в технологическом процессе переработки молочной творожной сыворотки // Вода: химия и экология. 2018. № 04–06. С. 137–146.

14. Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: постановление Правительства РФ от 29 июля 2013 г № 644. Доступ из справ.-правовой системы «ГАРАНТ». URL: <http://base.garant.ru/70427212/> (дата обращения: 29.03.2024).

DOI: 10.25558/VOSTNII.2024.44.43.009

UDC 628.3+582.232+504.4

©A. V. Mangazeev, N. G. Klochkova, T. A. Klochkova, 2024

A. V. MANGAZEEV

Associate Professor

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky

e-mail: mang1976@mail.ru

N. G. KLOCHKOVA

Doctor of Biological Sciences,
Chief Researcher

Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky
e-mail: ninakl@mail.ru

T. A. KLOCHKOVA

Doctor of Biological Sciences,
Professor of the Department

Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky
e-mail: tatyana_algae@mail.ru.

USE OF REMOTE MONITORING IN ASSESSMENT OF THE MACROPHYTOBENTHOS CONDITION IN THE AVACHA BAY IN THE AREA OF WATER DISCHARGE FROM THE TREATMENT FACILITIES

We discuss the ecological monitoring results of macrophytobenthos in Chavycha Cape, which is located in the Avacha Bay. The waters from Petropavlovsk-Kamchatsky city's sewage treatment facilities are discharged here, including the volley discharges from JSC «Petropavlovsk Dairy Plant» that discharges approximately 6 thousand tons/year of one of the most dangerous toxicants for biota, such as milk curd whey. It disrupts the functioning of active sludge from the treatment facilities and causes acidification of the coastal seawaters in the area under discussion. Due to the high cost of underwater works, the macrophytobenthos condition in this area has so far been evaluated based on the results of comparative floristic studies. As we used the geoinformation portal Google Earth Pro, this made it possible to trace changes in the contours of the underwater algal fields and showed a gradual reduction in the area of algal beds and their density that occurred over the past 18 years near Chavycha Cape. Research conducted in 2023 showed that changes in the dominants of plant communities and disappearance of calcified coralline algae and invertebrates with external calcium skeletons occurred due to periodic decreases of pH of the coastal waters. Discharges from the dairy plant could have caused this phenomenon. The use of geographic information systems in marine environmental studies makes it possible to obtain current and retrospective information on the condition of the coastal ecosystems.

Keywords: AVACHA BAY, GEOINFORMATION PORTAL, MACROPHYTOBENTHOS, WHEY, ECOLOGICAL MONITORING

REFERENCES

1. Zaporozhets G. V., Zaporozhets O. M. State of Pacific salmon stocks in the Avacha Bay basin (South-Eastern Kamchatka) in 1985–2019 // TINRO News [Izvestiya TINRO]. 2020. Vol. 200. No. 2. P. 334–363. [In Russ.].
2. Klochkova N. G., Berezovskaia V. A. Macrophytobenthos of Avacha Bay and its anthropogenic destruction. Vladivostok: Dalnauka Publ., 2001. 208 p. [In Russ.].
3. Lepskaia E. V., Tepnin O. B., Kolomeitsev V. V. i dr. Historical review of research and main results of comprehensive environmental monitoring of Avachinskaya Bay in 2013 // Research of aquatic biological resources of Kamchatka and the Northwestern Pacific Ocean [Issledovaniia vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnoi chasti Tikhogo okeana]. 2014. No. 34. P. 5–21. [In Russ.].
4. Kashutin A. N., Egorova E. V., Kashutina I. A., Rogaleva N. L. The influence of anthropogenic pollution on macrophyte algae of Avacha Bay (Southeastern Kamchatka) // Ecosystems. Scientific

Journal of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University [Ekosistemy. Nauchnyi zhurnal krymskogo federalnogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo]. 2020. No. 24. P. 130–141. [In Russ.].

5. LLC «Region». Kamchatka sewage treatment plants. URL: <https://dc-region.ru/ochistnyye-sooruzheniya-kamchatki>. 2024.2.27. [In Russ.].

6. The official website of the Petropavlovsk-Kamchatsky city District administration. Updating the drainage scheme of Petropavlovsk-Kamchatsky city district until 2030 URL: <https://pkgo.ru/upload/iblock/65f/65fedd4e2f66b4740df561e4e4206700.pdf>. 2024.2.27. [In Russ.].

7. Mangazeev A. V., Klochkova T. A. The influence of curd whey on the physiological state of activated sludge from wastewater treatment plants. Materials of the XII National (All-Russian) scientific and practical conference (April 28–29, 2021) // Collection: Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use [Sbornik: Prirodnye resursy, ikh sovremennoe sostoianie, okhrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispolzovanie]. Petropavlovsk-Kamchatkiy: KamchatGTU Publ., 2021. P. 20–23. [In Russ.].

8. Klochkova N. G., Berezovskaia V. A. Changes in subtidal algae associations in Avachinskaya Bay // In the book: Ecological and economic problems of rational nature management of Kamchatka. Petropavlovsk-Kamchatkiy: KGARF Publ., 1998. No. 4. P. 33–45. [In Russ.].

9. Assessment of the ecological state of the Avacha Bay in the places of bunkering of the fleet and transshipment of petroleum products: R&D report // Archive of the Federal State Budgetary Institution Kamchattehmdirection; ruk. Klochkova N. G. Inv. No. 241/n. 2009., 2009. 315 p. [In Russ.].

10. Klochkova T. A., Kashutin A. N., Klimova A. V., Klochkova N. G. Developmental biology and ecology of the brown algae *Fucus distichus* in the coastal waters of Kamchatka. Petropavlovsk-Kamchatskiy: KamchatSTU Publ., 2021. 128 p. [In Russ.].

11. Borowitzka M. A., Larkum A. W. D. Calcification in algae: mechanisms and the role of metabolism. Crit. Rev. Plant Sci. 1987. Vol. 6. P. 1–45.

12. Bergstrom E., Collins H., Tessa M., Diaz-Pulido V. Cell wall organic matrix composition and biomineralization across reef-building coralline algae under global change. Journal of Phycology. 2022. No. 11. P. 1–15.

13. Mangazeev A. V., Potapov V. V., Gorev D. S., Goreva T. S. Application of membranes in the technological process of milk curd whey process // Water: chemistry and ecology [Voda: khimiia i ekologii]. 2018. No. 04–06. P. 137–146. [In Russ.].

14. On approval of the Rules of cold-water supply and sanitation and on amendments to certain Acts of the Government of the Russian Federation: Decree of the Government of the Russian Federation dated July 29, 2013 No. 644. Access from the reference. The legal system «GARANT». Access from the help. The legal system «GARANT» URL: <http://base.garant.ru/70427212>. 2024/03/29. [In Russ.].