



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра океанологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

«Мониторинг загрязнения акватории Невской губы и восточной части
Финского залива»

Исполнитель: Парамонов Алексей Александрович

Научный руководитель: к. ф.-м. н., доцент, Фролова Наталия Сергеевна

«Защита допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

28 июня 2023г.

г. Санкт-Петербург

2023



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра океанологии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

«Мониторинг загрязнения акватории Невской губы и восточной части
Финского залива»

Исполнитель: Парамонов Алексей Александрович

Руководитель: к. ф.-м. н., доцент, Фролова Наталия Сергеевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Густоев Дмитрий Владимирович

(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 20__ г.

г. Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Список используемых сокращений.....	2
Введение.....	3
1 Характеристика района исследования	4
1.1 Физико-географические условия.....	4
1.2 Характеристика побережий и погодные условия	7
1.3 Типы и факторы загрязнения акватории Невской губы и восточной части Финского залива	8
1.3.1 Нефтяное загрязнение	8
1.3.2 Взвешенное вещество.....	11
1.3.3 Цветение вод.....	13
2 Дистанционные методы наблюдения.....	16
2.1 Характеристика используемых данных в оптическом диапазоне	16
2.2 Описание съёмочной аппаратуры спутников Terra/Aqua, Landsat-8.....	18
2.2.1 Terra/Aqua	18
2.2.2 Landsat-8 (Ландсат-8).....	19
3. Исходные данные	21
4 Основные экологические проблемы акватории Невской губы и восточной части Финского залива	22
4.1 Процесс эвтрофикации.....	22
4.1.1 Анализ временной изменчивости характеристик морской среды – температуры и хлорофилла «а».....	22
4.1.2 Пространственная изменчивость концентраций хлорофилла «а» и температуры	31
4.2 Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по спутниковым данным	35
Заключение	43
Список использованных источников	44

Список используемых сокращений

ПДК - предельно допустимая концентрация

СПЗ - суммарный показатель загрязнения

ВВ - взвешенное вещество

КЗС - комплекс защитных сооружений

Введение

Негативное воздействие на окружающую среду наблюдается в последнее десятилетие. Пагубное влияние на здоровье человека и экосистемы оказывает загрязнение природной среды отходами производственной деятельности, природные и техногенные катастрофы.

Большое количество выбросов в окружающую среду происходит в результате природных процессов, но не приносят вреда за счет минимальных концентраций вредных веществ, так как концентрации уменьшаются из-за рассеивания, поглощения, растворения. Вред приносят природные катастрофы или опасные природные явления такие как землетрясения, наводнения, оползни, сильный ветер, засуха и др.).

Износ технических средств в промышленности, отсутствие высокоэффективных очистных сооружений требуемой мощности, выбросы выхлопных газов строительной техники и др. факторы ухудшают состояние акватории и требуют принятия мер по предотвращению их загрязнения.

Основным объектом исследования в данной работе была выбрана акватория Невской губы и восточная часть Финского залива, они попадают под категорию «грязных» и «чрезвычайно грязных», с превышением предельно допустимой концентрации (ПДК) по меди, железу, цинку и свинцу в 4 и более раз.

Цель работы заключается в мониторинге загрязнения акватории Невской губы и восточной части Финского залива.

Для достижения этой цели необходимо было изучить:

- физико-географические условия;
- характеристику побережий и погодные условия;
- типы и факторы загрязнения акватории Невской губы и восточной части Финского залива;
- дистанционные методы наблюдения;
- описание съёмочной аппаратуры спутников Terra/Aqua, Landsat-8.

1 Характеристика района исследования

1.1 Физико-географические условия

Финский залив расположен в восточной части Балтийского моря и омывает берега России, Финляндии, Эстонии. Западная граница залива - невидимая линия между полуостровом Ханко и мысом Пыызаспеа. Площадь 29 500 км².

Невская губа - крайняя восточная часть Финского залива. В вершину Невской губы впадает Нева. Площадь губы около 350 км².



Рисунок 1 – Акватория финского залива и Невская губа

Ряд районов Финского залива в его восточной части, имеющих различия своими особенностями гидролого-гидрохимического и гидробиологического режимов:

1. Невская губа - от устья р. Невы на востоке до комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС);
2. Мелководный район - от Невской губы до разреза мыс Шепелевский - мыс Флотский;
3. Глубоководный район, - от Шепелевского разреза до о. Гогланд;
4. Лужская и Копорская губы;
5. Выборгский залив;
6. В пределах Невской губы и мелководном районе отдельно рассматриваются прибрежные курортные зоны.

Существенные различия имеют эти районы структурно-функциональными показателями экосистемы и абиотическими условиями.

Особенности Невской губы:

- небольшая глубина (примерно 4 м);
- высокий водообмен (0,015 года);
- гомотермия;
- пресная вода с соленостью менее 1 ‰. [1]

Воды Невской губы являются практически пресными, во время продолжительных, сгонных ветров проникают осолоненные воды. Вертикальный градиент солености: летом на 5 м 0,7-0,9 ‰; осенью на 5 м 0,3-0,4 ‰. Весной в период сильных сгонных ветров, придонная соленость достигает 2,9-3,2 ‰ при вертикальном градиенте 1,5-1,8 ‰ на 5 м.

Характер течений в Невской губе: средняя скорость 6 - 8 см/с в северной и 1 - 5 см/с в южной частях. Средняя температура воды 6,6 °С.

Общие черты режима солености восточной части Финского залива [2]:

- существование вертикального градиента солености повсюду, кроме Невской губы;
- увеличение солености с востока на запад (особенно в верхних слоях);

- увеличение солености с севера на юг.

Значение солености воды зависит от времени года.

Весной: минимальные значения солености, т.к. ледяной покров тает и увеличивается с востока на запад поверхностная соленость:

- вблизи Кронштадта с 0,5 - 1,8 ‰;
- в районе Гогланда до 4,5 - 4,7 ‰.

В том же направлении возрастает придонная соленость от 3,5 до 5-6 ‰. С глубиной более 40-50 м до 7,2-7,6 ‰.

Летом: в верхнем слое соленость увеличивается на 0,5-1,0 ‰, в глубоких слоях значения остаются прежние.

Осенью: в западной части в поверхностных слоях соленость увеличивается до 4,9-5,1 ‰ и уменьшается на глубине до 6,7-6,85 ‰ из-за вертикального перемешивания, которое приводит к сглаживанию вертикальных градиентов солености. [2]

1.2 Характеристика побережий и погодные условия

Площадь Финского залива — 29,5 тыс. км². Он мелководен. Уменьшение профиля дна по направлению от горла к вершине. Максимальная глубина 121 м, средняя глубина — 38 м, глубина Невской губы — 6 м и менее, у берега — до 1 м. Проложен морской канал для прохождения судов. Вода не особо соленая (у поверхности - от 0,2 до 9,2 ‰, у дна от 0,3 до 11,0 ‰). Температура воды зимой около 0 °С, летом 15-17 °С на поверхности, у дна 2-3 °С. С конца ноября до конца апреля залив замерзает. Если зима теплая, может не замерзать круглый год. При западных ветрах, характерны ветровые волнения и нагоны, которые приводят к наводнениям. [3]

Таблица 1 - Средняя температура воды, °С (координаты 60,15° с. ш. 26,96° в. д., за 1900—2004 годы)

Горизонт, м	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
0	0,8	-0,4	0,2	0,6	4,4	10	15,4	16	13,5	8,6	5,7	3
10	0,5	0	0,1	0,3	3,3	7,5	13,2	14,6	12,5	8,4	6,1	4,1
20	0,8	0,2	0,1	0,4	1,8	4,7	7,2	7,9	10,4	8,2	6,1	4,3
30	1	0,4	0,3	0,4	1,4	2,5	3,5	3,9	7,8	6	5,3	4,4
50	3	2,5	2,2	2,5	2,3	2,5	2,6	3,3	3,1	3,2	4,1	3,9

Северные берега — возвышенные, извилистые. Берег наклонный с песчаными дюнами и береговыми валами. У берега мелкий песок.

Южные берега — подтопленные, вдоль всего берега проходит Балтийско-Ладожский глинт (высота до 40 м). [3]

Метеорологические условия:

Климат Финского залива умеренный, влажный, промежуточный между морским и континентальным. Поступающие с Атлантического океана

воздушные массы определяют погодные условия. Циклоническая циркуляция в течение всего года (кроме мая и июля). Западные, юго-западные и южные ветра являются самыми сильными (более 50 %). [4] Средняя годовая норма осадков около 600 мм, испаряемость близка к 250 мм. В теплый период года количество осадков - 70 %, в холодный - 30 %. В зимний период абсолютная влажность воздуха меньше, чем в летний. [4] Температура воздуха от 0 до 8 °C в зимний период (умеренно теплая и влажная погода). Температура воздуха -17 – -25 °C с января (холодная сухая погода). Чаще всего весной возвращаются холода и поздние снегопады, температура воздуха 1-3 °C, в ясные дни поднимается до 20 °C. Лето комфортно теплое (12-20 °C), в районе арктических воздушных масс (5-10 °C). Более половины годовой нормы осадков приходится на летний период (в основном это ливни). Осенью температура воздуха низкая, высокая влажность и облачность. [4]

1.3 Типы и факторы загрязнения акватории Невской губы и восточной части Финского залива

1.3.1 Нефтяное загрязнение

Комплексный спутниковый мониторинг проводился для контроля состояния поверхности Финского залива в период с января 2009 г. по апрель 2012 г., (рис. 2). [15]

На карте видно, три района с наибольшим загрязнением:

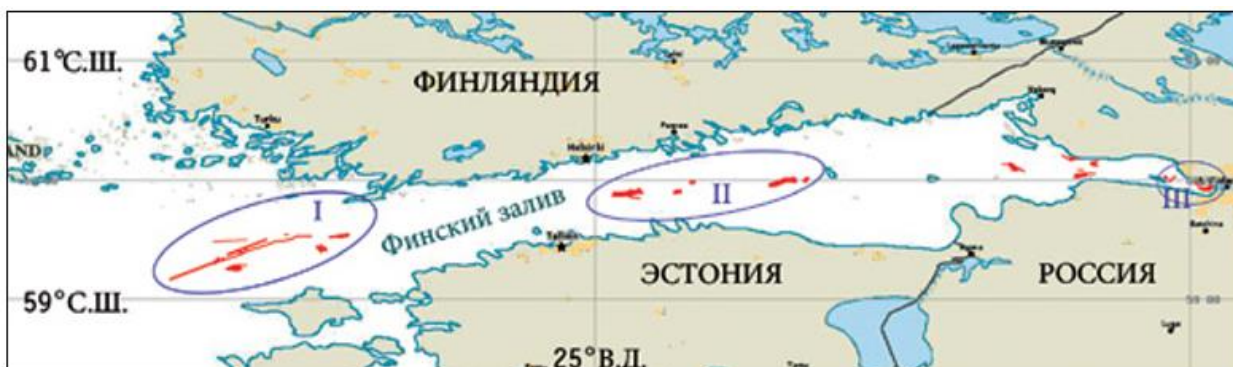


Рисунок 2 - Финский залив. Карта нефтяных пятен (2009–2012 гг.)

1. Акватория Балтийского моря недалеко от входа в Финский залив.

Источники загрязнений: сбросы вод, в которых содержатся нефтепродукты, с движущихся судов (сбрасывать воды, могут на несколько десятков километров в процессе пути).

2. Центральная часть Финского залива, восточнее судоходной трассы Хельсинки — Таллинн.

Источники загрязнений: плёночные загрязнения протяжённость меньше, площадь больше (сбросы с неподвижных судов).

3. Невская губа.

Источники загрязнений: плёночные загрязнения, обусловлены нефтесодержащими береговыми сбросами (бытовые, промышленные).

Таблица 2 - Загрязнения морской поверхности в Финском заливе

Дата	Время (UTC)	Широта (с. ш.)	Долгота (в. д.)	Длина (км)	Площадь (кв. км)	Комментарий
2009.05.11	09:03	58°40'44,87"	21°30'22,85"	36,3	20	Протяжённый сброс вблизи входа в залив в районе о Са-аремаа
2009.05.24	08:50	59°14'29,33"	21°50'31,57"		0,54	Вход в Финский залив. Два округлых сброса, рядом с каждым виден корабль
		59°18'2,72"	21°58'40,47"		0,78	
2009.06.06	20:16	58°54'28,41"	21°15'16,44"	88,6	6,645	Тонкий и протяжённый сброс
2010.05.16	08:38	60° 6'44,71"	29° 1'9,18"		13,4	Крупный сброс, деформированный под влиянием приповерхностного ветра
2010.06.17	19:59	59°23'58,47"	22°11'32,51"	23,7	3,5	Свежий многократный сброс с движущегося судна
2010.07.15	08:53	59°52'54,00"	25°18'25,17"		9,7	Сброс в стадии деградации
2010.07.22	20:06	59°53'13,91"	25°44'58,23"		6,27	Свежий сброс с неподвижно-стоящего судна
2010.08.03	09:26	59°52'30,41"	25°18'15,71"	12,7	8,4	Вытянутый сброс-«гребёнка»
2010.10.03	08:36	60° 2'9,35"	28°31'24,66"		14,5	Сброс-«гребёнка»
2011.04.28	09:02	59°25'13,71"	22°51'18,99"	6 и 5	0,99	Два тонких сброса с изломами
2011.05.05	19:30	60° 4'22,61"	29°26'35,69"		0,68	Два слабо-контрастных слика
		60° 1'31,67"	29° 5'9,24"		1	
		59°59'18,00"	29° 4'31,19"		3,9	Слик, обусловленный береговыми стоками
2011.05.10	19:44	59°53'14,13"	25°21'17,36"	7,94 и 6,96	2,3	Тонкий искривлённый сброс
2011.05.24	19:43	59°57'52,24"	29°51'23,18"		1,8	Невская Губа. Сброс нефте-содержащих вод с неподвижно-стоящего судна
		59°56'6,86"	29°47'33,93"		0,7	Невская Губа. Слик, обусловленный береговыми стоками вблизи г. Ломоносов
2011.06.19	08:56	59°15'1,42"	22° 9'2,40"		15	Большой сброс
		59°30'56,69"	23° 0'19,85"		20,6	Сброс-«гребёнка»
2011.06.22	08:45	60° 8'40,60"	29°13'9,59"		4,9	Слик, обусловленный береговыми стоками
2011.06.25	19:58	59° 8'47,18"	21°36'11,72"	78	6,24	Прямой тонкий сброс
2011.07.09	19:48	59°57'54,29"	25°51'58,55"	2,76	0,2208	Округлый слик
Дата	Время (UTC)	Широта (с. ш.)	Долгота (в. д.)	Длина (км)	Площадь (кв. км)	Комментарий
2011.08.16	08:29	59°56'34,50"	30° 4'41,47"		3,3	Два слика вблизи устья Невы
		59°55'24,16"	30°10'35,05"		2,8	
2011.08.21	20:11	59°27'21,87"	22° 5'13,68"	16,8	1,2	Слабо-контрастный прерывистый слик
2011.08.24	08:37	59°54'13,31"	30° 9'4,55"		3,5	Невская Губа. Слика вблизи береговой черты
2011.10.09	08:50	59°59'19,77"	26°40'22,84"		28,5	Крупнейший сброс за период наблюдений 2009–2012 гг.
		59°58'51,37"	26°48'35,44"		1,1	
2011.11.03	08:33	59°55'33,50"	29°48'22,25"		13,1	Невская Губа. Слик, обусловленный береговыми стоками вблизи г. Ломоносов
2011.11.03	19:59	59°31'1,68"	22°33'26,27"	41,7	4,20	Тонкий прерывистый слик

1.3.2 Взвешенное вещество

Источники загрязнений: производственная деятельность — смыв, сброс, прокладка трубопроводов, кабелей, дампинг, взрывы на дне и пр.

Со стоком рек поступает большое количество ВВ. Вода выносится из заливов, происходит вертикальное перемешивание при сильном волнении на мелководье. Это приводит к вторичному загрязнению, увеличению мутности, снижению фотоактивной радиации (ФАР), биопродуктивности, изменению структуры популяций, гибели бентоса [16].

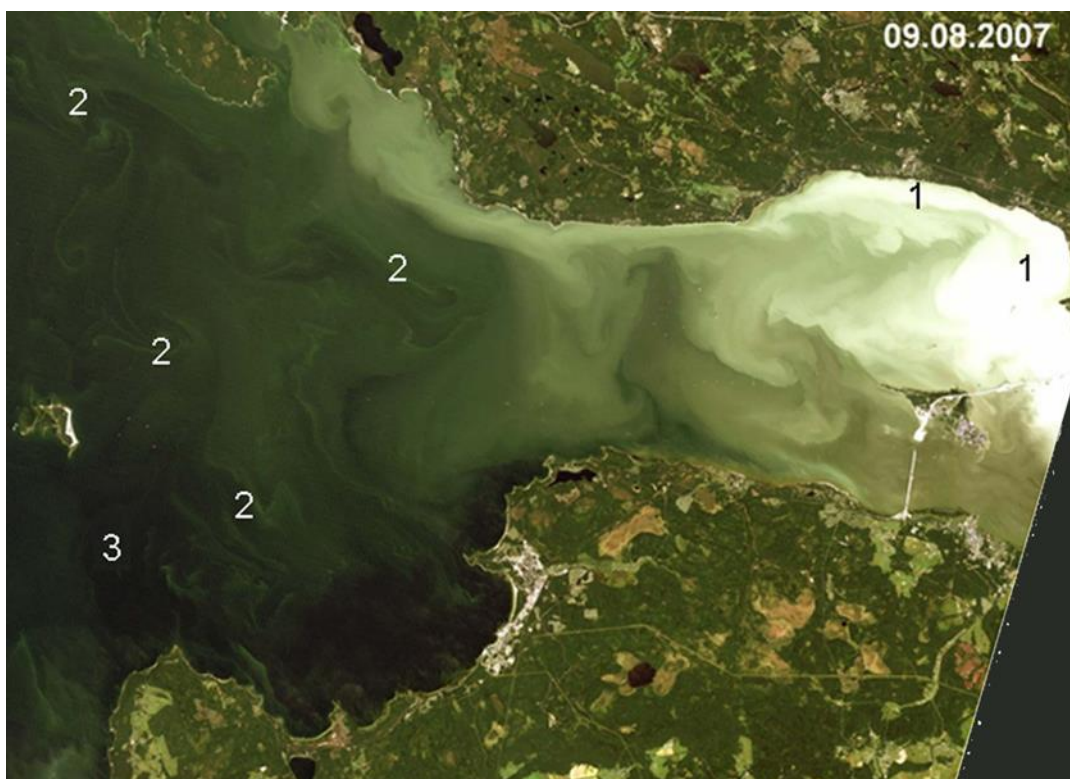


Рисунок 3 - Взвешенные осадки в восточной части ФЗ. 1 – максимальное содержание взвеси (>300 мг/л); 2 – «цветение» сине-зеленых водорослей; 3 – фоновые воды (КС Landsat/TM за 09.08.2007) [17]

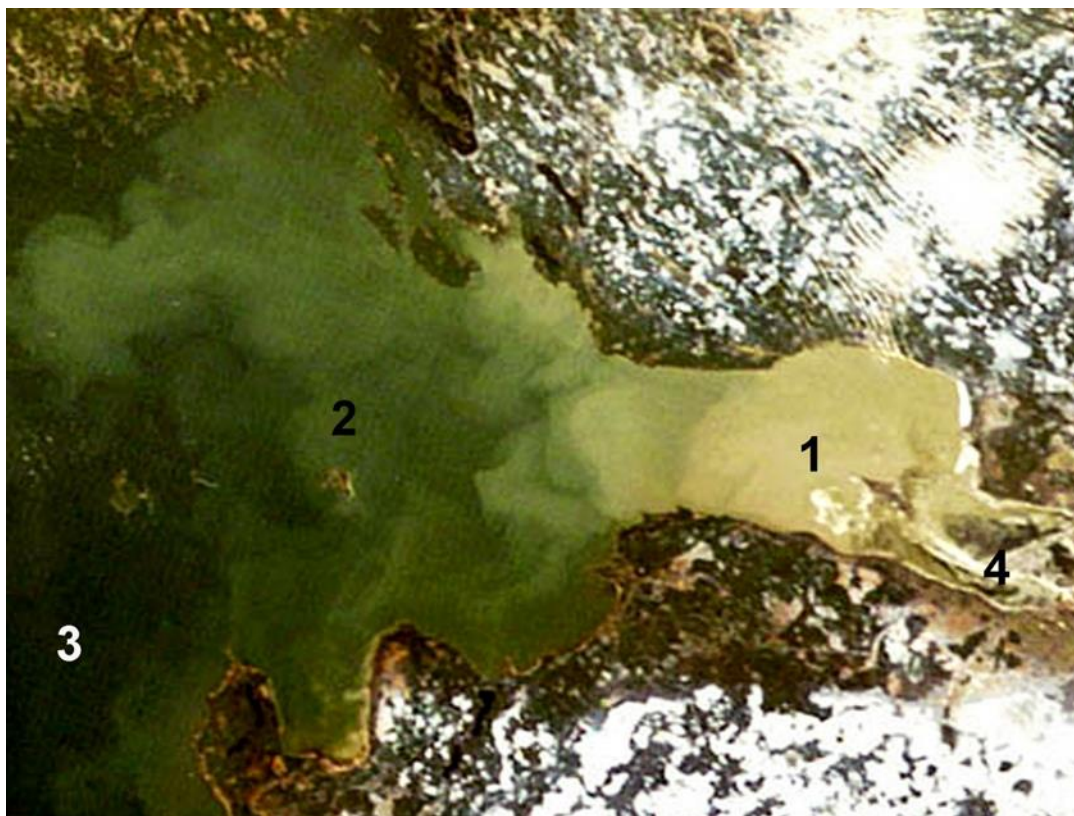


Рисунок 4 - Взвешенные осадки в восточной части ФЗ. 1 – максимальные значения концентраций взвеси; 2 – минимальные концентрации; 3 – фоновые воды; 4 - начало процесса льдообразования в Невской губе (КС Aqua/MODIS за 24.11.2007г) [17]

Существует девять нефтяных терминалов в Финском заливе: Санкт-Петербург, Батарейная, Горки, Бронка, Логи, Высоцк, Приморск, Усть-Луга, Вистино.

Более 15 нефтяных терминалов Финляндии и Эстонии находятся вблизи российских границ, через которые также происходит перевалка нефти и нефтепродуктов.

Течение среднее. Воды переносятся с запада на восток вдоль побережья Эстонии к берегам России, поворачивают на север и вдоль побережья Финляндии выходит из Финского залива. То есть, загрязнения любого типа (включая нефтяные) могут попадать к нам с акватории Эстонии, а загрязнения с акватории России (включая те, что выносятся Невой) попадают в акваторию Финляндии. Тщательный мониторинг требуется в

целях разделения ответственности между государствами за возможное загрязнение водной среды и побережья Финского залива.

1.3.3 Цветение вод

Цветение вод - когда водоросли на поверхности или в толще воды разрастаются и приобретают разный окрас. К развитию водорослей приводит наполнение водоёмов биогенными элементами (азотом и фосфором).

Под влиянием природных и антропогенных факторов происходит эвтрофикация водоёмов.

Антропогенным фактором размножения водорослей является плохая система канализования и отсутствие очистки городских стоков. В море попадают биогены (кислород, углерод, фосфор, азот и пр.). До 1978 года канализация «впадала» в Балтику без очистки, но с тех пор все изменилось, вода стала чище. Предприятия соседних регионов (находящихся в водной системе Невы), также увеличивают концентрацию веществ, способствующих цветению воды.

Проводятся регулярные измерения цветения водорослей с борта научно исследовательских судов. На основе данных спутникового зондирования невозможно проводить мониторинг, как и определить тип водорослей. [15]

Так как солёность в Финском заливе не однородная и разный температурный режим, это влияет на распределение фитопланктона, а неравномерное распределением минеральных питательных солей (особенно важно для диатомовых и сине-зелёных водорослей) влияют на региональные различия в биологической продуктивности.

Развитие фитопланктона в Финском заливе несет заметные сезонные изменения.

Зимой низкая биомасса фитопланктона и низкая продуктивность. Весной, когда больше солнечного света и устанавливается термоклин

начинается развитие диатомовых водорослей. Вспышка наблюдается весной в марте, в западной части моря, в апреле — в центральной, в конце апреля — в восточной.

В июне поверхностные воды содержат маленькое количество биогенных элементов и в условиях устойчивых галоклина и термоклина, диатомовые водоросли уступают место сине-зелёным. Основные скопления водорослей сосредотачиваются в верхнем (0–30 м) слое воды. Осенью (при условии выравнивания температуры воды по вертикали и активном перемешивании вод) из глубинного слоя происходит вынос биогенов, что вызывает второй максимум развития диатомовых водорослей. [15]



Рисунок 5 – Интенсивное развитие сине-зеленых водорослей в Финском заливе (Landsat-8 от 15.07.2018г., RGB – каналы 432)

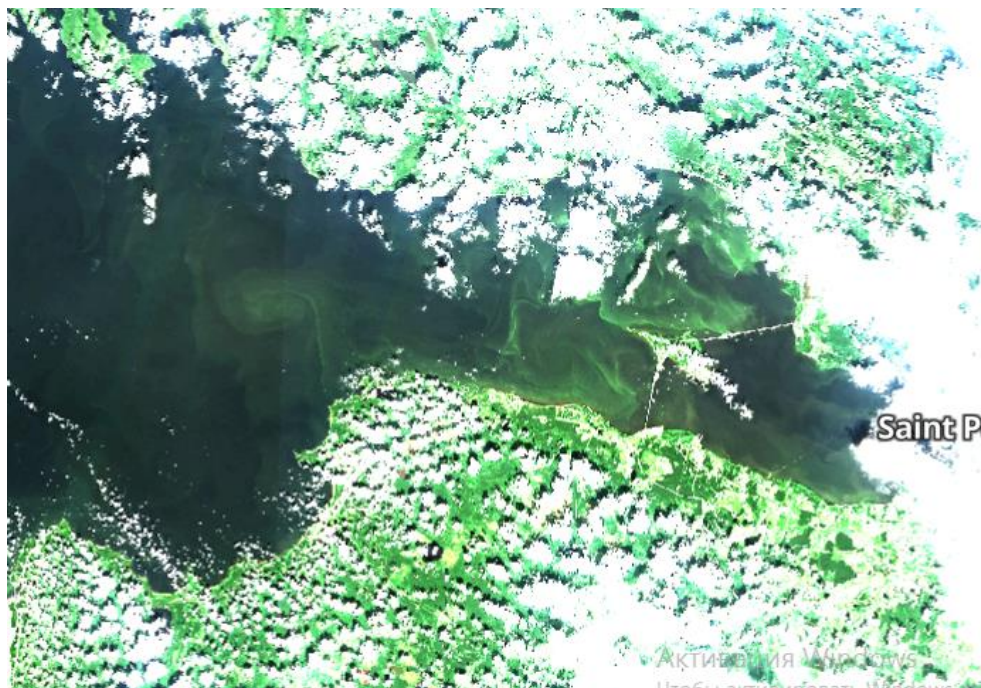


Рисунок 6 - Развитие сине-зеленых водорослей в восточной части ФЗ.

Sentinel-2, 25 июля 2022 год

Регулярное летнее «цветение» потенциально токсичных сине-зелёных водорослей вызывает неблагоприятные изменения водного режима, ухудшает кислородный режим водоёма, вызывает замор рыбы и имеет многие другие неблагоприятные последствия. [15]

2 Дистанционные методы наблюдения

Дистанционные методы экологического мониторинга включают наблюдение с помощью самолетов, аэростатных средств, спутников и спутниковых систем, а также систему обработки данных дистанционного зондирования.

2.1 Характеристика используемых данных в оптическом диапазоне

Сбор данных происходит по заданным координатам и зависят от характеристики датчика. Датчики запоминают яркость и обрабатывает в изображения, которые в дальнейшем анализируются и расшифровываются. Обработка изображения состоит из нескольких этапов: сжатие по дальности, далее сжатие по азимуту. Расшифровка и анализ спутниковых изображений выполняется с помощью специального программного обеспечения для дистанционного зондирования. Пространственное разрешение является одной из характеристик спутниковых снимков. Пространственное разрешение - минимальное расстояние между двумя объектами, которое можно выделить на изображении. Разрешение любого спутника для съемки Земли — 1 пиксель. Разрешение изображения зависит от высоты полета и характеристик датчика.

Спутниковая съемка может иметь разрешение:

- Пространственное;
- Спектральное;
- Временное;
- Радиометрическое.

Радиолокационные изображения:

- Высокое разрешение: диапазон 5-100 м;
- Очень высокое: менее 5 м.

Оптические изображения:

- Низкое пространственное разрешение: если превышает 80 м;
- Среднее: если находится в диапазоне от 10 до 80 м;
- Высокое: если меньше 10 м;
- Очень высокое: все, что ниже 1 м.

Спутниковая съемка на основе радара - экономичное решение для частого покрытия (прохождение не зависит от облачности и погоды). Параметрами орбиты спутника фиксируется цикл съемки, они определяют интервал между съемками.

К технологии пассивного дистанционного зондирования относятся спутники с оптическими датчиками, они генерируют только те изображения Земли, которые отражают солнечный свет. Оптическая съемка невозможна при темной или облачной погоде.

2.2 Описание съёмочной аппаратуры спутников Terra/Aqua, Landsat-8

2.2.1 Terra/Aqua

Спутник Terra (запуск - 18 декабря 1999 года) - первый космический аппарат, запущенный по программе EOS (программа наблюдения Земли). Основная миссия: наблюдение за сушей и океаном, контроль излучения, химического состава и аэрозолей в атмосфере. [10]

На борту имеет 5 приборов, которые проводят одновременные измерения на орбите:

ASTER	усовершенствованный космический радиометр теплового излучения и отражения
CERES	прибор изучения энергии излучения облачности и земной поверхности
MISR	многоугловый спектрорадиометр
MODIS	радиометр видимых и инфракрасных каналов среднего уровня разрешения
MOPITT	прибор измерения тропосферных загрязнений

Режим работы непрерывный, поэтому в пределах зоны видимости станции (2 330 км) любая территория ежедневно снимается, минимум 1 раз.

Для решения задач по мониторингу природных явлений используют данные MODIS, такие как:

- лесные пожары;
- состояние посевов на сельхоз полях;
- контроль ледовой обстановки;
- наблюдение динамики снежного покрова;
- и др. [11]

КА Aqua (запуск - 4 мая 2002 года). На борту 6 приборов наблюдения, которые обеспечивают сбор глобальных данных.

На данный момент спутник передает:

- высококачественные данные с 4 из 6 приборов: MODIS, AIRS, AMSU, CERES;
- с 5-го прибора данные пониженного качества - AMSR-E;

- 6 прибор в феврале 2003 года вышел из строя, но за 9 месяцев работы собрал много высококачественных данных – Aqua.

Таблица 3 – Характеристики аппаратуры [11]

Тип данных	оптические
Режим съемки	Моно съемка
Спектральные каналы	36 спектральных каналов в видимом, ближнем, среднем и тепловом инфракрасном диапазонах
Пространственное разрешение в надире, м	250 (каналы 1-2); 500 (каналы 3-7); 1000 (каналы 8-36)
Динамический диапазон, бит/пиксель	12
Ширина полосы съемки в надире, км	2330
Период повторной съемки	1-2 раза в сутки, в зависимости от широты места съемки

2.2.2 Landsat-8 (Ландсат-8)

Landsat-8 (Ландсат-8) собран компанией Orbital Sciences Corporation по контракту от NASA на базе собственной платформы Orbital LEOSt. 3 высокоточных астродатчика используются для определения точности ориентации спутника (ar-3, в активном режиме работают два), масштабируемая инерциальная система наведения SIRU (Scalable Inertial Reference Unit), приемники системы GPS и два трехосных магнетометра.

Приборы усовершенствованы так, что уменьшен уровень радиометрических искажений, в отличие от других серий, а более совершенные ПЗС-устройства позволяют улучшить соотношение сигнал-шум и качество съемки. Приборы измеряют 4096 различных уровней отраженного света.

Таблица 4 – Технические характеристики [12]

Наименование КА	Landsat-8
Страна	США
Разработчики	Orbital Sciences Corporation (OSC) (США; быв. General Dynamics Advanced Information Systems); Ball Aerospace (США)
Оператор	NASA, USGS (США)
Дата запуска	11.02.2013
Ракета-носитель (РН)	Atlas 5
Орбита:	Солнечно-синхронная
высота, км	705
наклонение, град	98,2
период обращения, мин	98,9
количество витков в сутки	14,6
время пересечения экватора, час	10:05
Срок активного существования, лет	5
Мощность, Вт	4300
Масса КА, кг	2623
Период повторного наблюдения, сутки	16

Таблица 5 - Технические характеристики съемочной аппаратуры

Наименование съемочной аппаратуры	OLI и TIRS
Число элементов линейки	6000 (OLI; 18000 PAN), 1500 (TIRS)
Динамический диапазон, бит	12
Разрешение на местности, м	15 (PAN), 30 (VNIR,SWIR), 100 (TIR)
Ширина полосы съемки, км	185
Скорость передачи данных, Мбит/сек	265 (OLI), 26,2 (TIRS)

Таблица 6 - Спектральные каналы

Канал	Длины волн, мкм	Разрешение (размер 1 пикселя)
Диапазоны OLI (Operational Land Imager)		
Канал 1 Побережья и аэрозоли (Coastal / Aerosol, New Deep Blue)	0.433 – 0.453	30 м
Канал 2 – Синий (Blue)	0.450 – 0.515	30 м
Канал 3 – Зелёный (Green)	0.525 – 0.600	30 м
Канал 4 – Красный (Red)	0.630 – 0.680	30 м
Канал 5 – Ближний ИК (Near Infrared, NIR)	0.845 – 0.885	30 м
Канал 6 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2)	1.560 – 1.660	30 м
Канал 7 – Ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 3)	2.100 – 2.300	30 м
Канал 8 – Панхроматический (Panchromatic, PAN)	0.500 – 0.680	15 м
Канал 9 – Перистые облака (Cirrus, SWIR)	1.360 – 1.390	30 м
Диапазоны TIRS (Thermal Infrared Sensor)		
Канал 10 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR1)	10.30 – 11.30	100 м
Канал 11 – Дальний ИК (Long Wavelength Infrared, TIR2)	11.50 – 12.50	100 м

3. Исходные данные

Для исследования данной выпускной квалификационной работы выбрана акватория Невской губы и восточная часть Финского залива.

Для раздела 4.1 Процесс эвтрофикации использовался сервис Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) [13], где строились карты. Основные параметры исследования:

- хлорофилл «а» (архив (vR 2022));
- температура поверхности (vR 2019).

Для раздела 4.2 Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по спутниковым данным, взяты спутниковые снимки с сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/> [18] за 2006, 2011, 2015, 2021, 2022 год.

4 Основные экологические проблемы акватории Невской губы и восточной части Финского залива

4.1 Процесс эвтрофикации

Для Финского залива цветение фитопланктона характерно: весной – с конца апреля по начало мая и летом – в первой декаде июля [14].

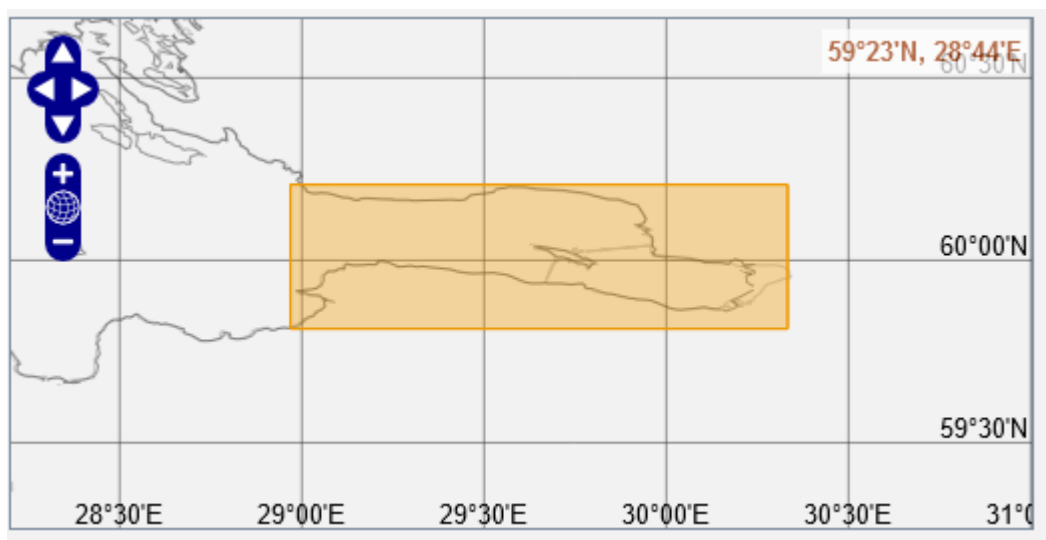


Рисунок 7 – Участок исследования Финский залив

4.1.1 Анализ временной изменчивости характеристик морской среды – температуры и хлорофилла «а»

В сервисе Giovanni были построены графики температуры поверхности воды и хлорофилла «а» за весь период (рис. 8, рис. 9).

Стоит отметить, что данные концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным завышены по сравнению с данными судовых наблюдений, поскольку стандартные алгоритмы расчета концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным не учитывают региональную специфику акватории.

В рассматриваемом интервале (2002-2023 гг) хлорофилла «а» и температуры имеется периодичность. Температура воды Финского залива в период «цветения» меняется в зависимости от сезона от 2.5-3°C до 20 °C. Средняя температура Финского залива составляет около 10-13 °C.

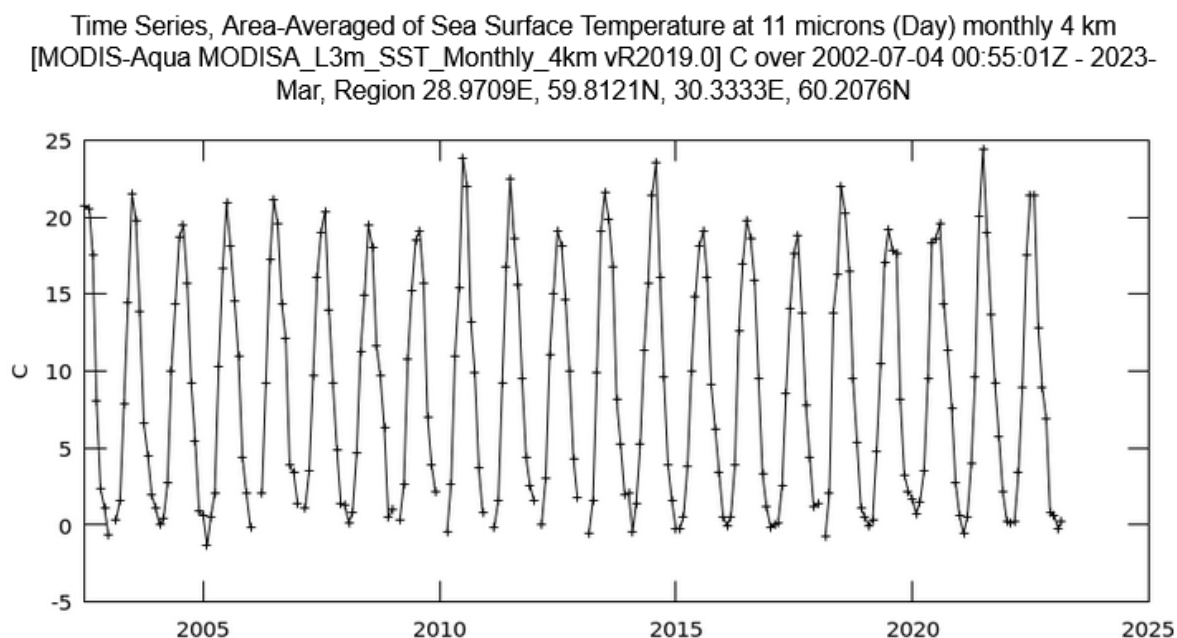


Рисунок 8 - Изменение температуры поверхности воды в период с 2002.07. – 2023.03.

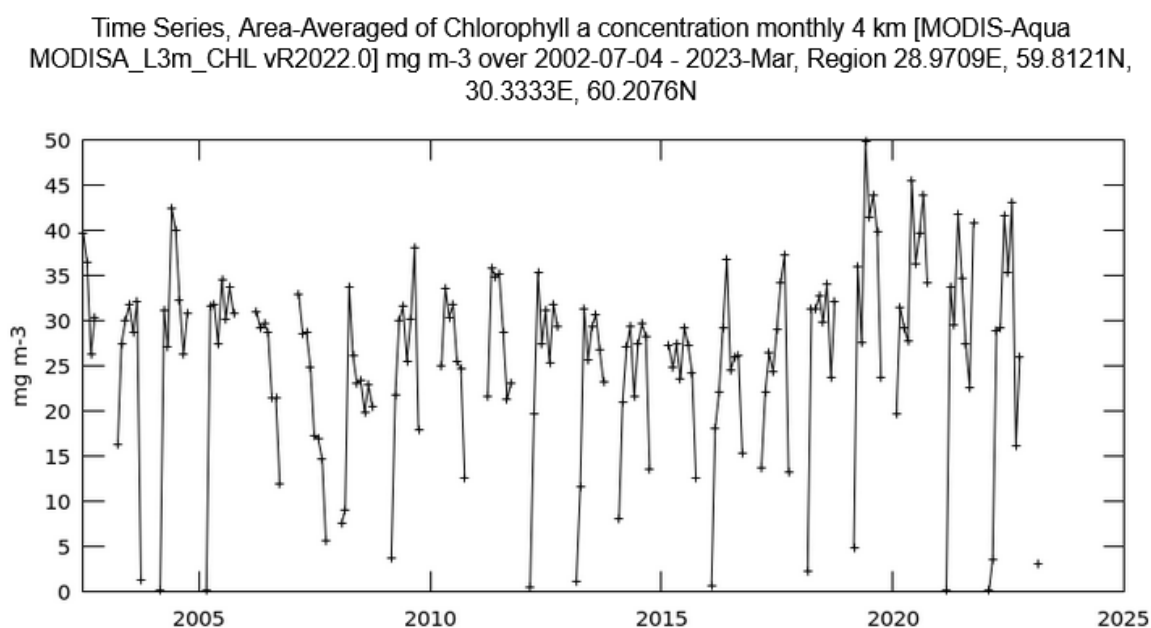


Рисунок 9 - Изменение концентрации хлорофилла за период с 2002.07. – 2023.03.

Для выбора характерных лет были построены графики за разные месяцы, когда наблюдается цветение: отдельно за весенние, отдельно за летние и отдельно за осенние.

Как видно из рисунка 10 в марте 2003, 2006, 2007, 2010, 2011 года цветения не было.

Для осеннего периода ноябрь не берем, так как цветения нет.

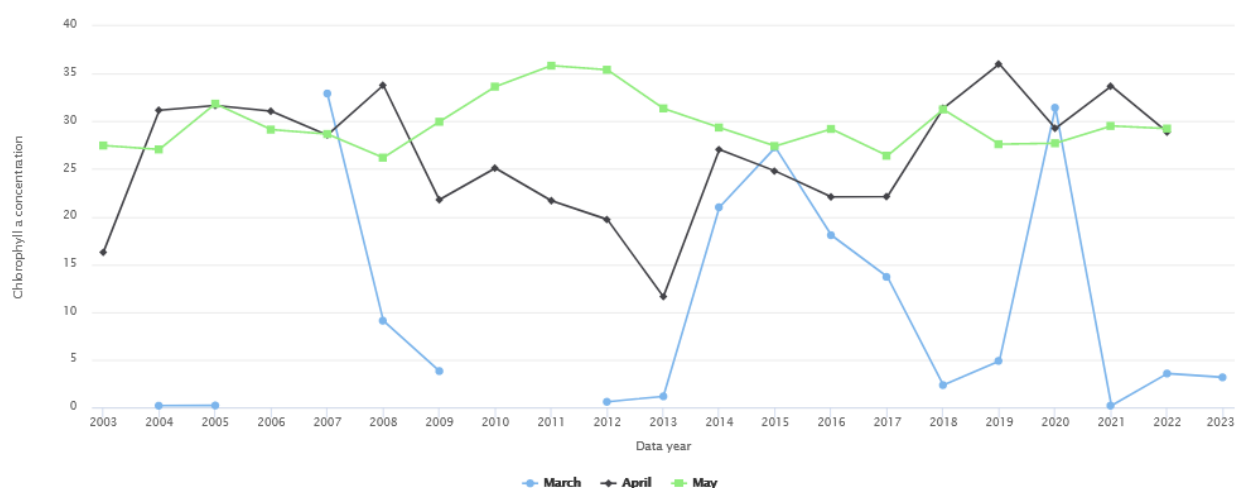


Рисунок 10 - Концентрация хлорофилла «а» за весенний период

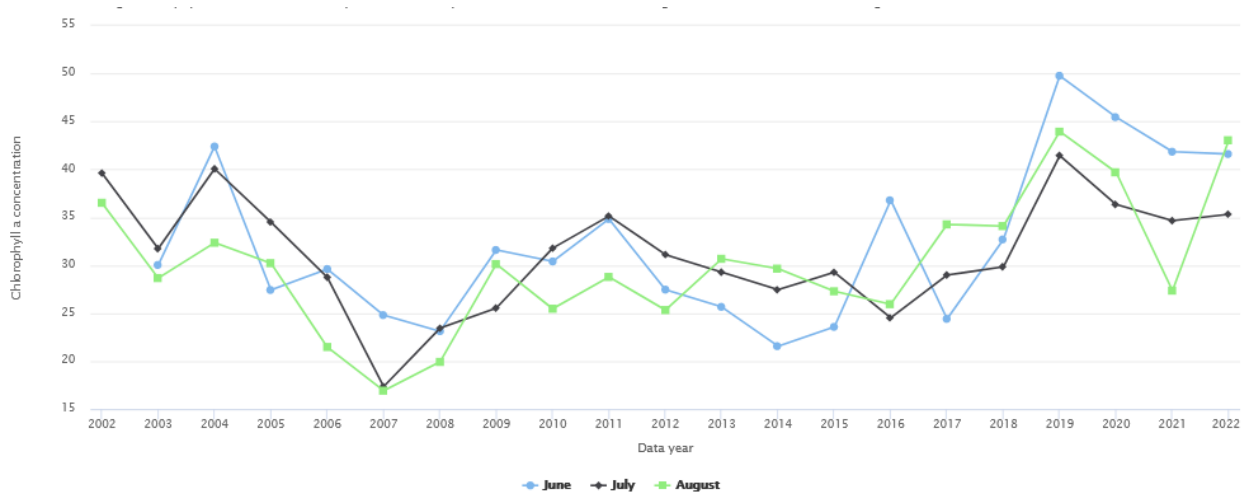


Рисунок 11 - Концентрация хлорофилла «а» за летний период

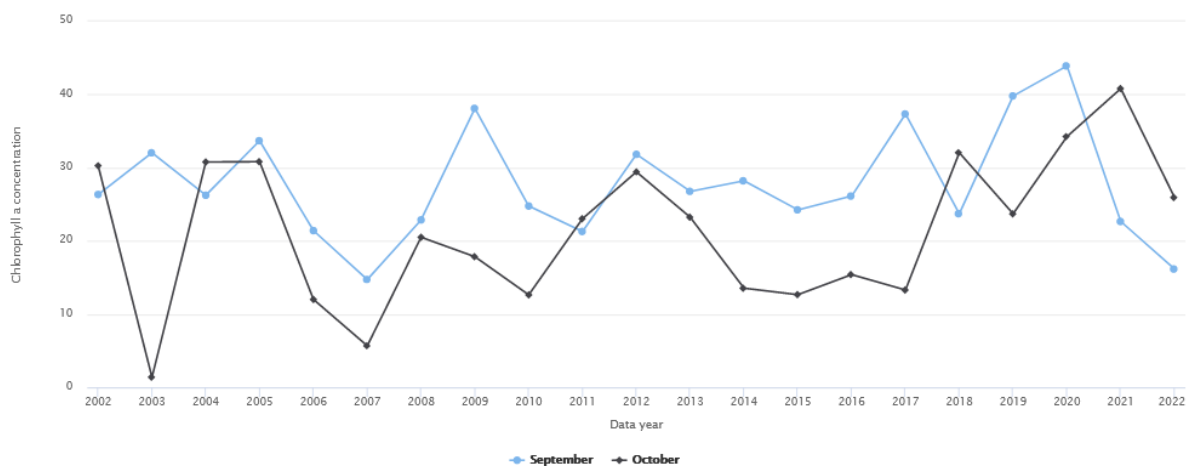


Рисунок 12 - Концентрация хлорофилла «а» за осенний период (сентябрь, октябрь)

По остальным месяцам можно сделать вывод, что максимальная концентрация хлорофилла «а» наблюдалась:

- В весенний период в 2005, 2008, 2011, 2019, 2021 году;
- В летний период в 2004, 2011, 2019 году;
- В осенний период в 2005, 2009, 2012, 2020 году.

Далее был рассмотрен каждый год отдельно (Рис.13 - 22).

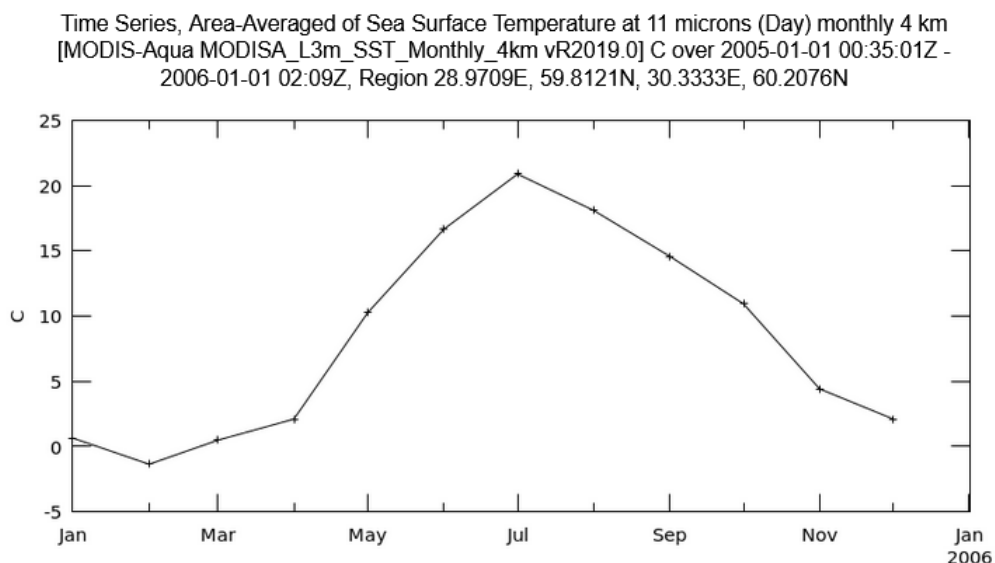


Рисунок 13 - Изменение температуры на поверхности в период с 2005.01-2005.12

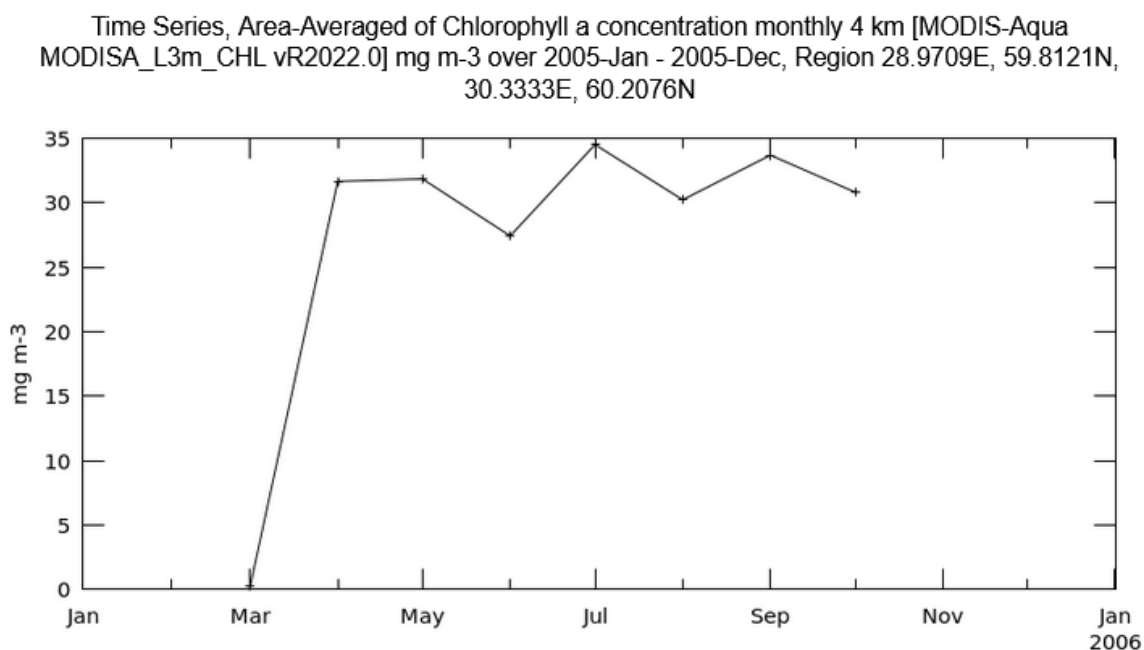


Рисунок 14 – Концентрация хлорофилла «а» в период с 2005.01-2005.12

На данном графике наблюдается цветение с марта по октябрь, наибольшие пики (более 30 мг/м³) в мае, июле, сентябре.

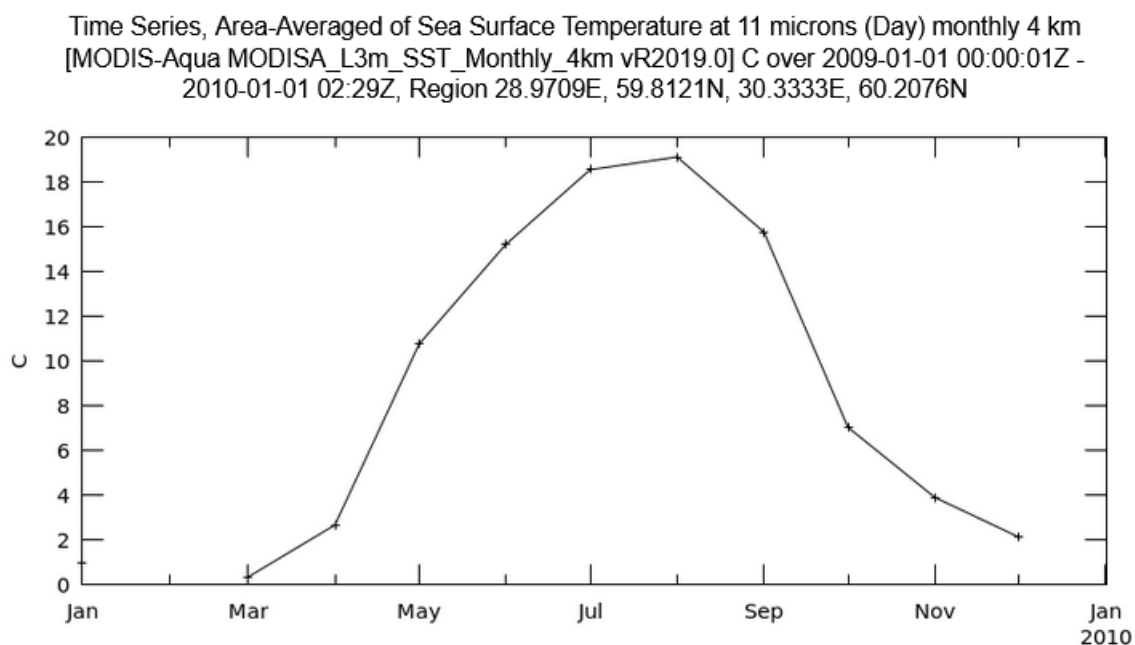


Рисунок 15 – Изменение температуры на поверхности в период с 2009.01 – 2009.12

Time Series, Area-Averaged of Chlorophyll a concentration monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_CHL vR2022.0] mg m⁻³ over 2009-Jan - 2009-Dec, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

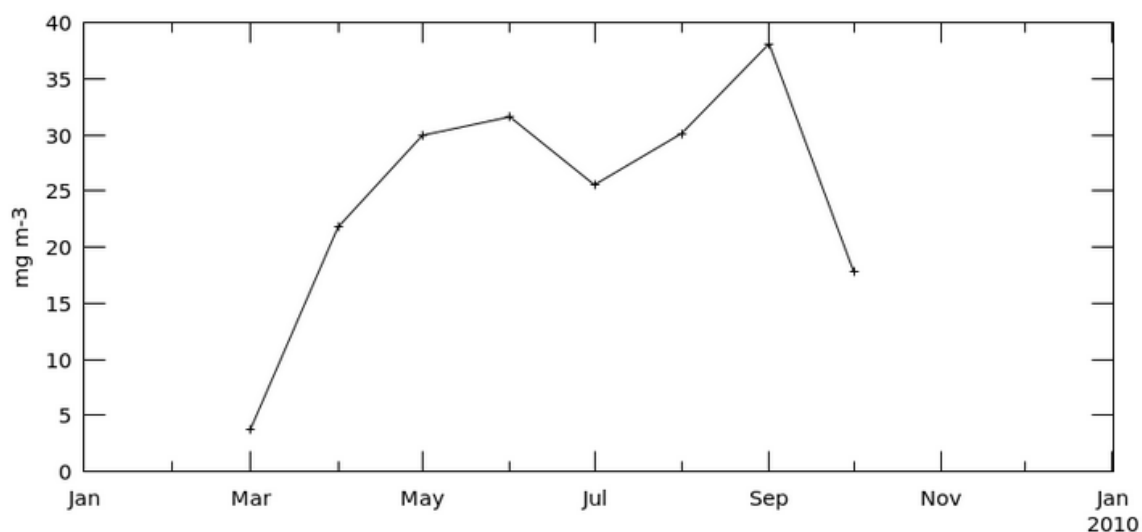


Рисунок 16 – Концентрация хлорофилла «а» в период с 2009.01 – 2009.12

В этот год наибольший пик цветения в сентябре (38 мг/м³).

Time Series, Area-Averaged of Sea Surface Temperature at 11 microns (Day) monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_SST_Monthly_4km vR2019.0] C over 2011-01-01 00:25:01Z - 2012-01-01 02Z, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

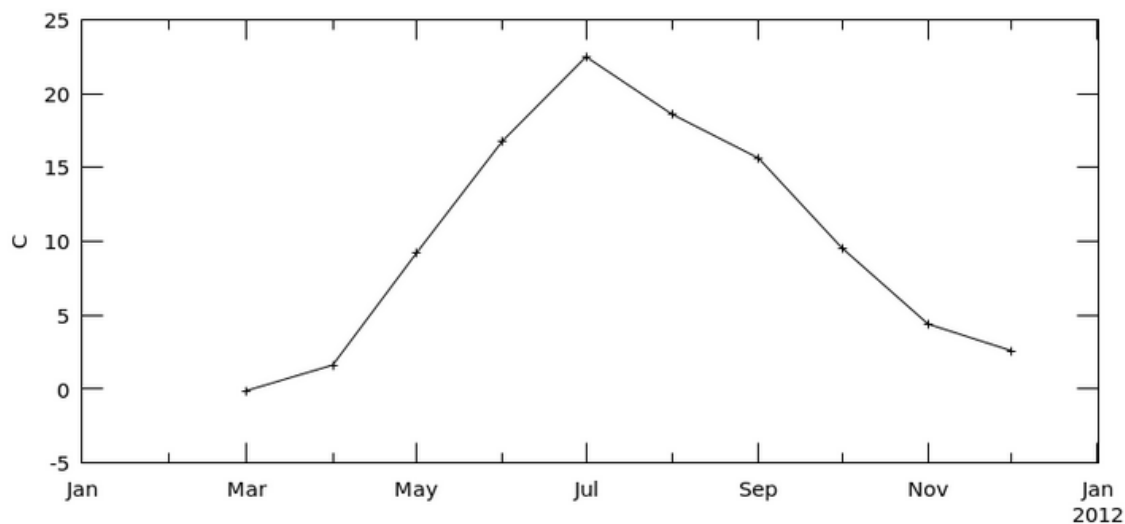


Рисунок 17 – Изменение температуры на поверхности в период с 2011.01 - 2011.12

Time Series, Area-Averaged of Chlorophyll a concentration monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_CHL vR2022.0] mg m⁻³ over 2011-Jan - 2011-Dec, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

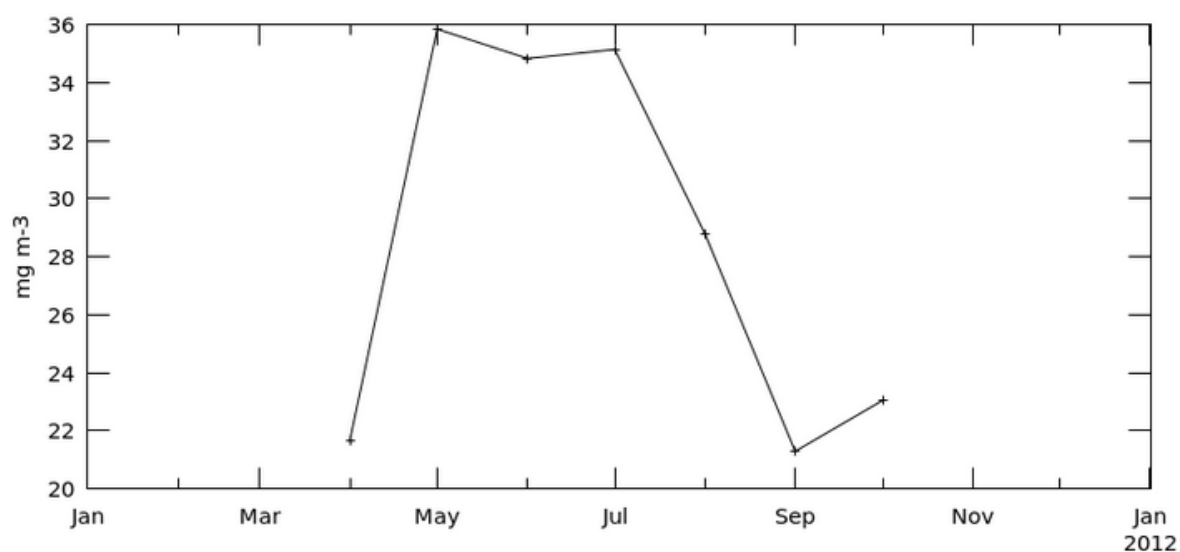


Рисунок 18 - Концентрация хлорофилла «а» в период с 2011.01-2011.12

В 2011 году наибольшие пики наблюдаются в мае (36 мг/м³) и июле (35 мг/м³).

Time Series, Area-Averaged of Sea Surface Temperature at 11 microns (Day) monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_SST_Monthly_4km vR2019.0] C over 2019-01-01 00:30Z - 2020-01-01 02:10:00Z, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

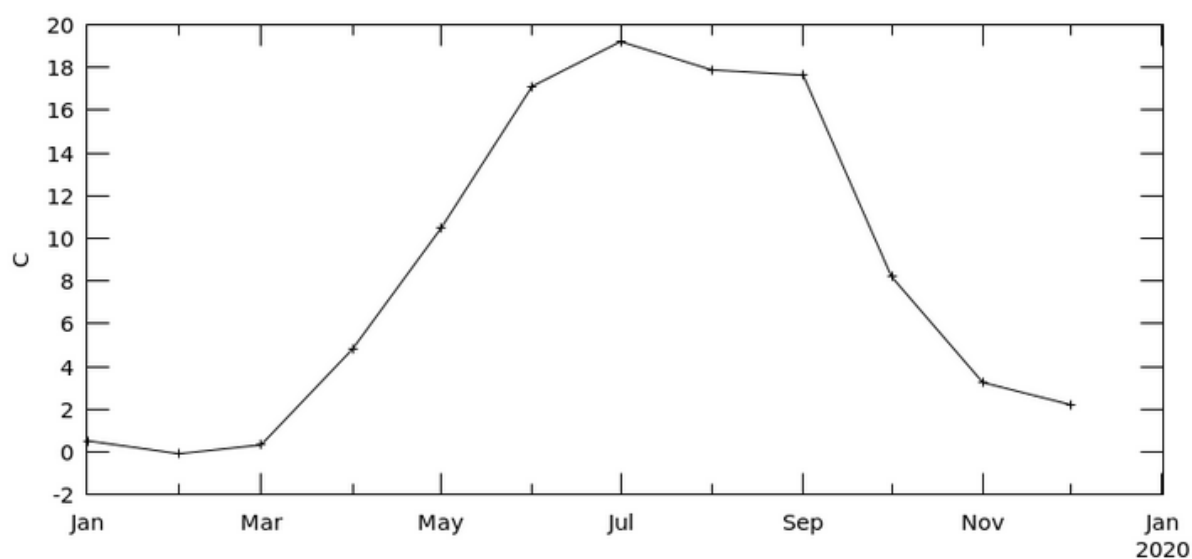


Рисунок 19 - Изменение температуры на поверхности в период с 2019.01 – 2019.12

Time Series, Area-Averaged of Chlorophyll a concentration monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_CHL vR2022.0] mg m⁻³ over 2019-Jan - 2019-Dec, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

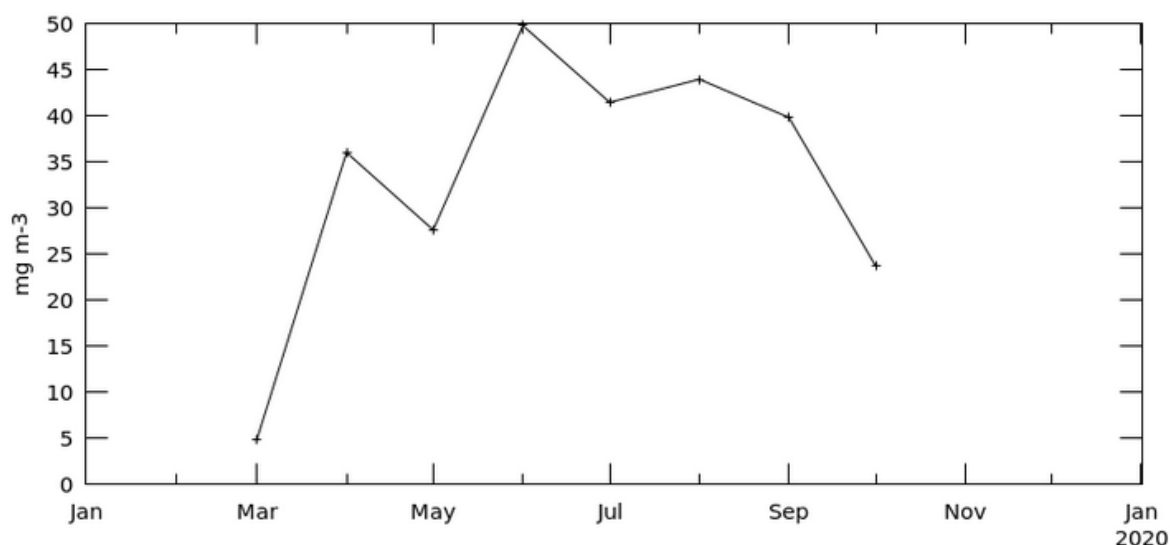


Рисунок 20 - Концентрация хлорофилла «а» в период с 2019.01 – 2019.12

В 2019 году максимальный пик наблюдался в июне (50 мг/м³).

Time Series, Area-Averaged of Sea Surface Temperature at 11 microns (Day) monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_SST_Monthly_4km vR2019.0] C over 2021-01-01 00:10:01Z - 2021-Dec, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

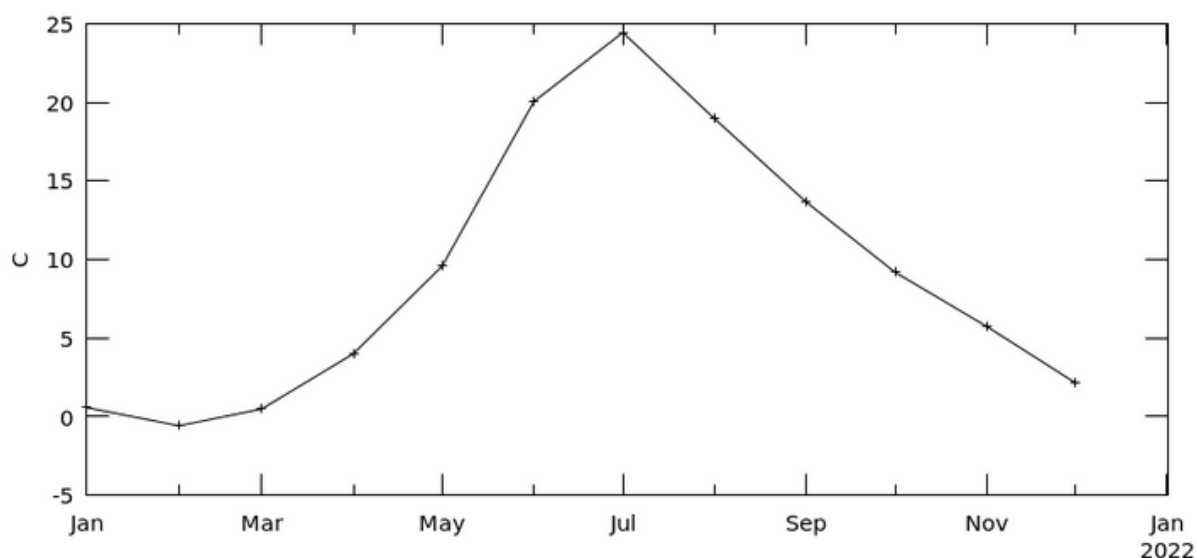


Рисунок 21 - Изменение температуры на поверхности в период с 2021.01 – 2021.12

Time Series, Area-Averaged of Chlorophyll a concentration monthly 4 km [MODIS-Aqua MODISA_L3m_CHL vR2022.0] mg m⁻³ over 2021-Jan - 2021-Dec, Region 28.9709E, 59.8121N, 30.3333E, 60.2076N

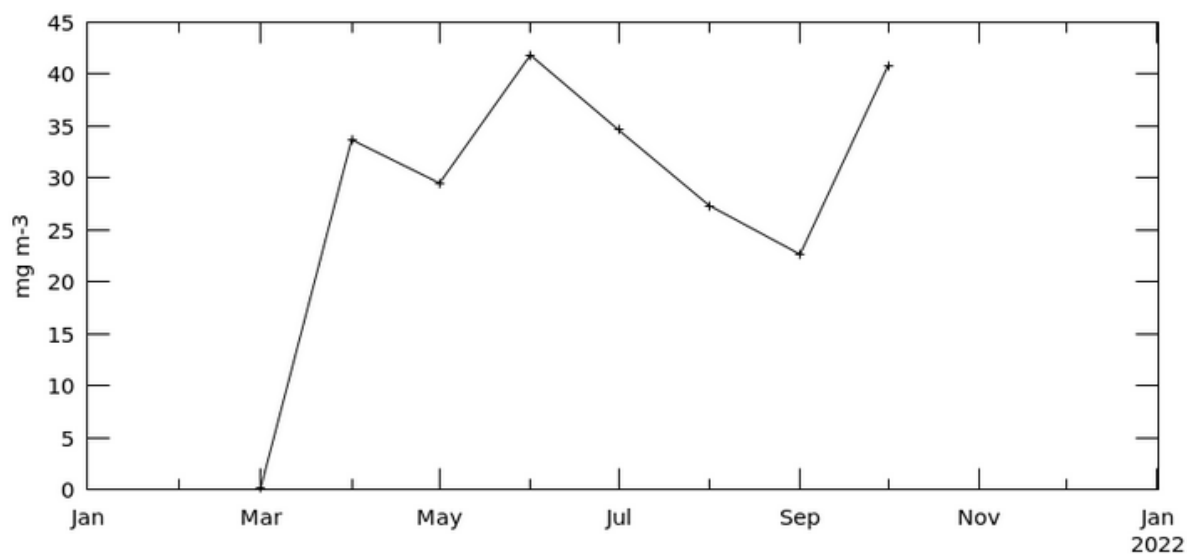


Рисунок 22 - Концентрация хлорофилла «а» в период с 2021.01 – 2021.12

В 2021 году максимальные пики цветения в апреле (35 мг/м³), июне и октябре (43 мг/м³).

4.1.2 Пространственная изменчивость концентраций хлорофилла «а» и температуры

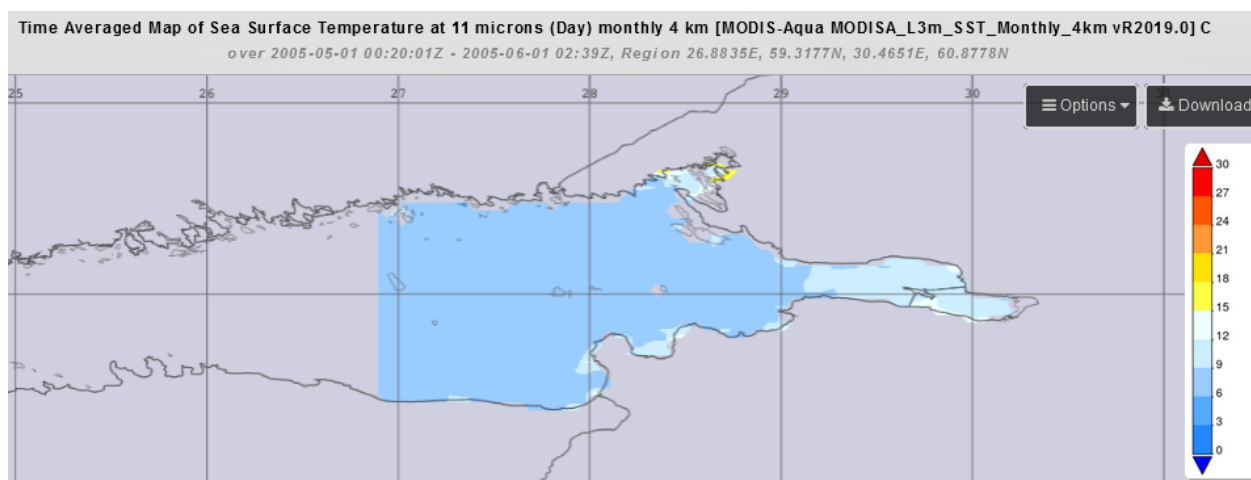


Рисунок 23 – Температура поверхности воды в мае 2005 г.

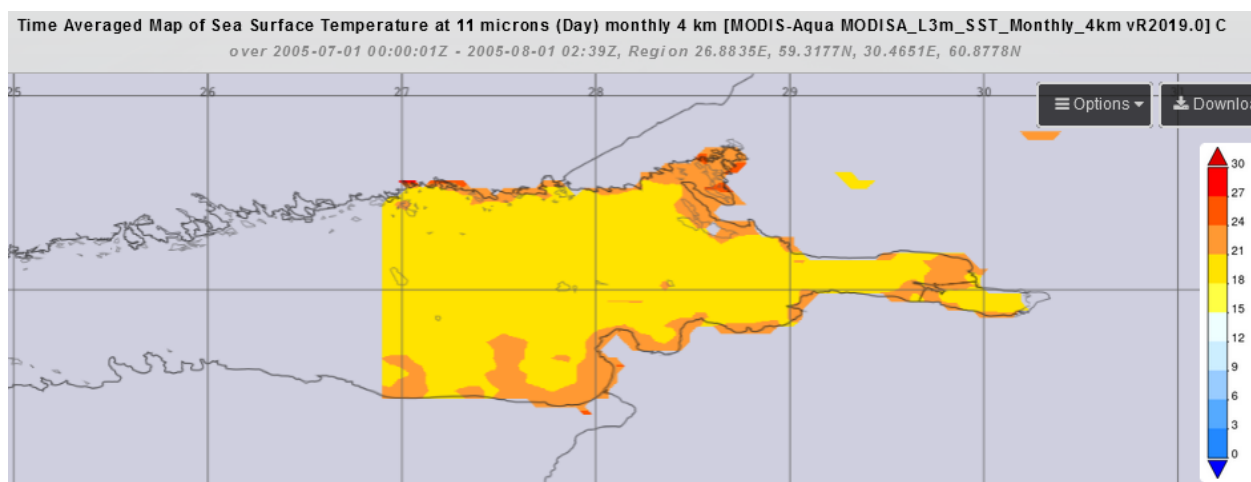


Рисунок 24 – Температура поверхности воды в июле 2005 г.

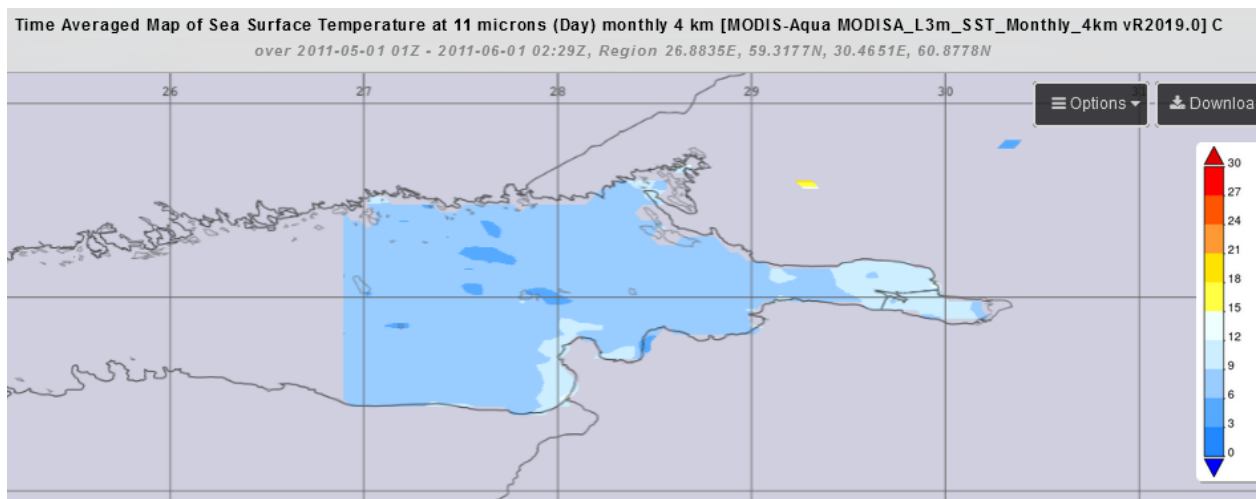


Рисунок 25 – Температура поверхности воды в мае 2011 г.

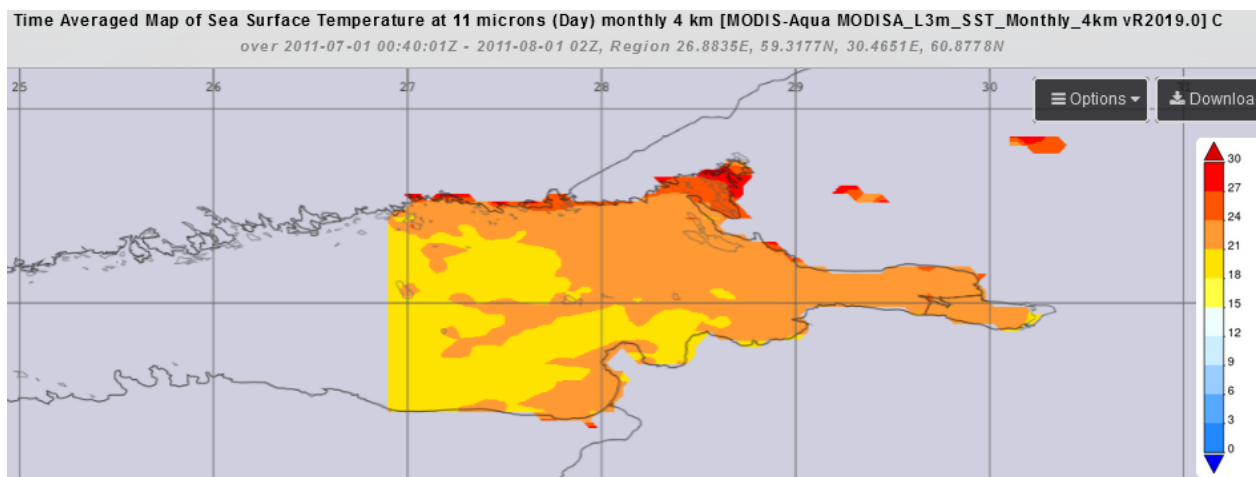


Рисунок 26 – Температура поверхности воды в июле 2011 г.

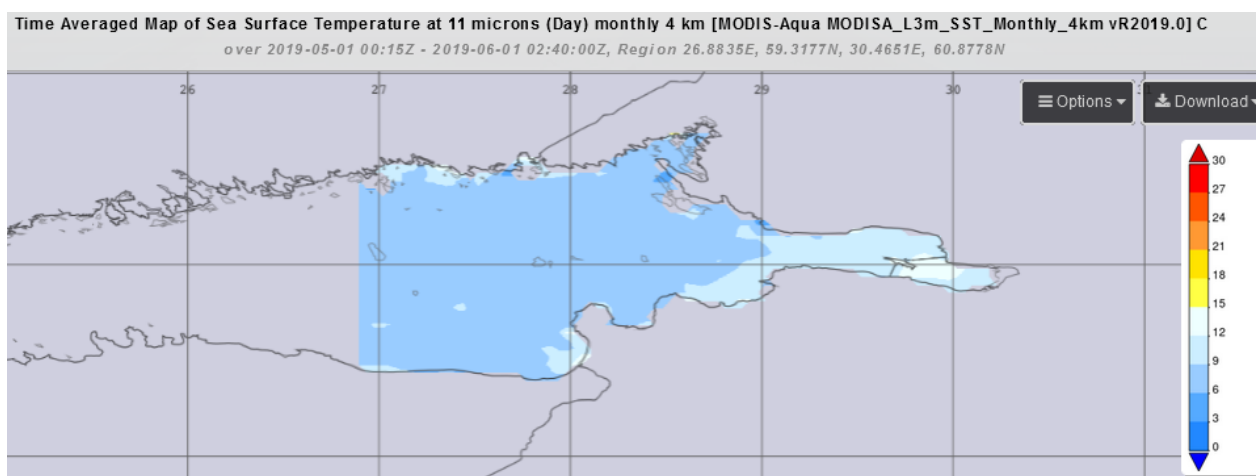


Рисунок 27 – Температура поверхности воды в мае 2019 г.

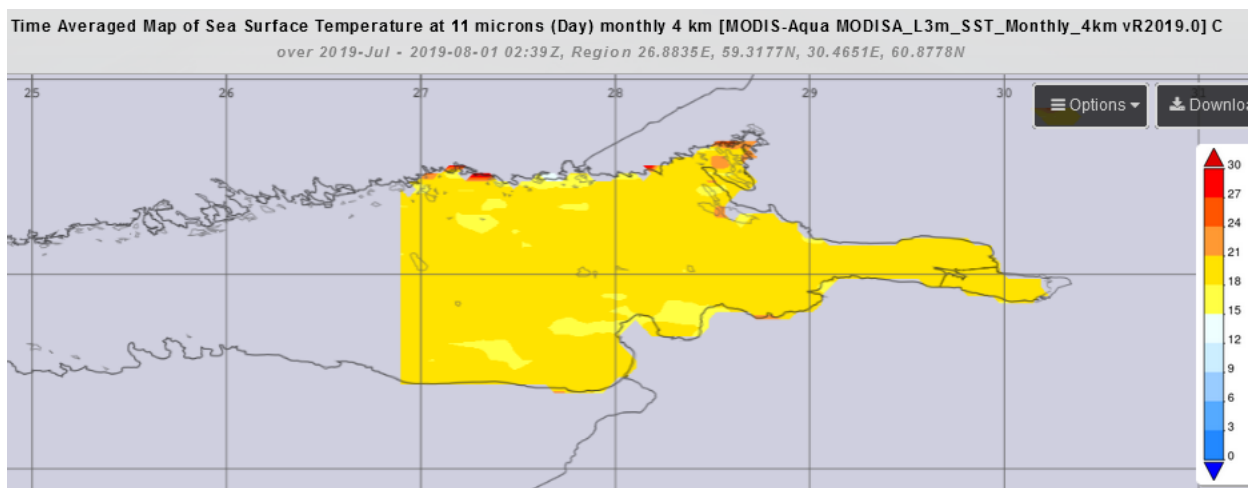


Рисунок 28 – Температура поверхности воды в июле 2019 г.

Полученные карты (рис. 23-28) пространственного распределения температуры поверхности в восточной части Финского залива показывают, что температура повышается в июле, так как эта часть залива хорошо прогревается к этому времени, что видно по графикам. Только в 2019 в августе и сентябре были тоже достаточно высокие температуры (рис. 19).

Далее получены карты пространственного распределения концентрации хлорофилла «а» в Финском заливе, представленные на рисунках 29-30. В разные год интенсивность цветения разная, например, апрель 2019 года имел высокие показатели концентрации хлорофилла «а».

Так же стоит отметить, что концентрация хлорофилла «а» повышена в прибрежных районах. Не до конца решен вопрос о построении алгоритмов расчёта концентрации хлорофилла «а» по спутниковым данным. Для открытых вод океана разработаны стандартные алгоритмы, поэтому для акватории Финского залива показывают завышенные значения более чем на порядок, по сравнению с натурными данными [19; 20].

Концентрация взвеси в непосредственной близости к району работ по дноуглублению настолько высока, что стандартные алгоритмы NASA, разработанные для построения карт TSM по данным сенсора MODIS, не определяют данный район, как морскую среду, считая его сушей.

Центральная часть акватории Финского залива тоже содержит хлорофилл, но гораздо в меньших количествах, чем прибрежные зоны.

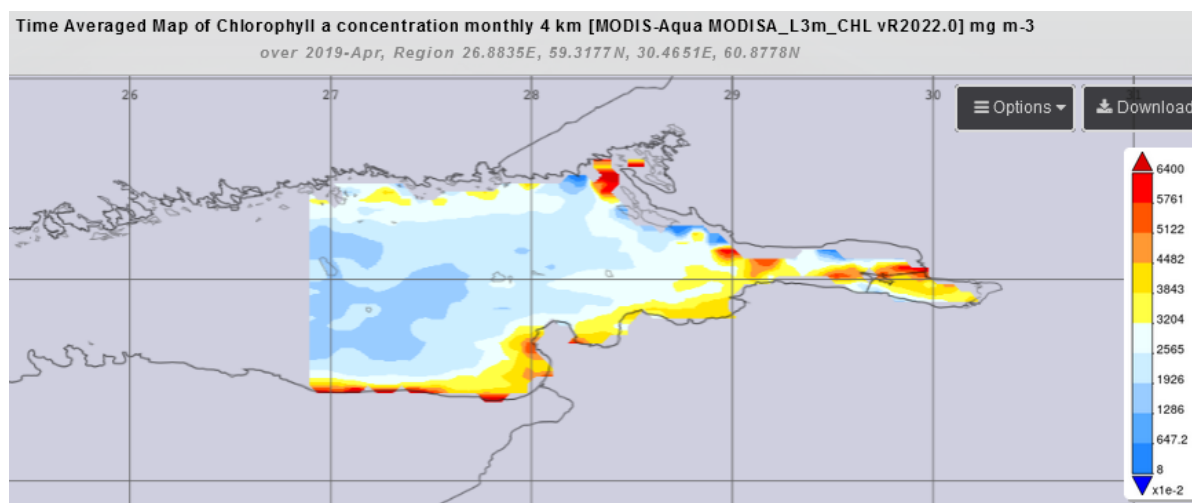


Рисунок 29 – Концентрация хлорофилла «а» в начале цветения (апр. 2019 г.)

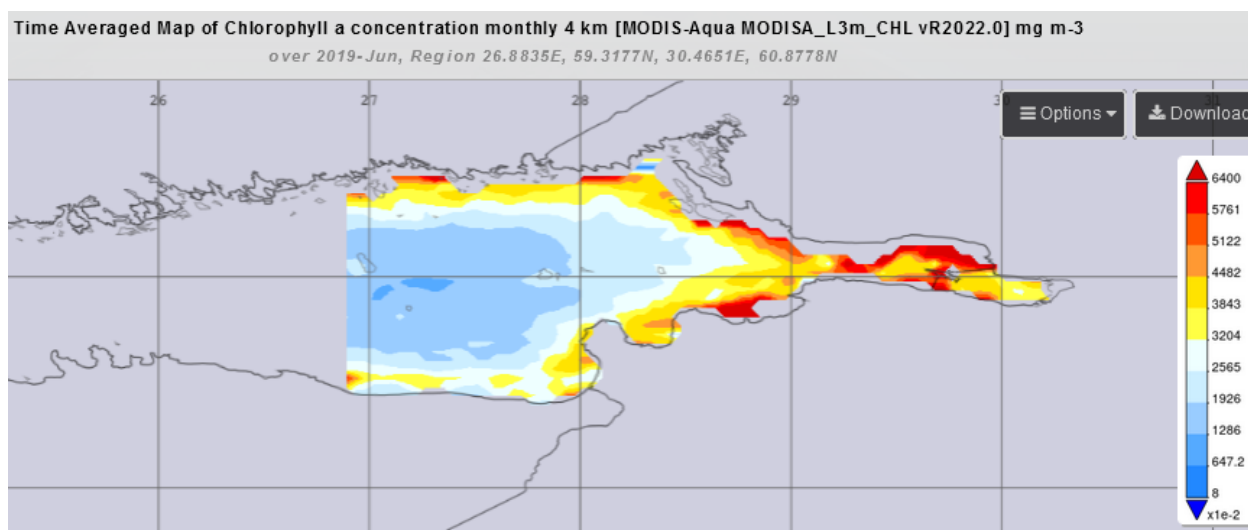


Рисунок 30 – Концентрация хлорофилла «а» в разгар июньского цветения, 2019 г.)

4.2 Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по спутниковым данным

С техногенным воздействием связаны зоны с повышенными значениями концентраций взвешенных веществ (по сравнению с фоновыми значениями). При перемещении больших объемов грунта, наблюдаются высокие показатели концентраций взвешенных осадков, которые загрязняют водную среду, оказывают негативное влияние на экосистему и ухудшают условия освещенности.

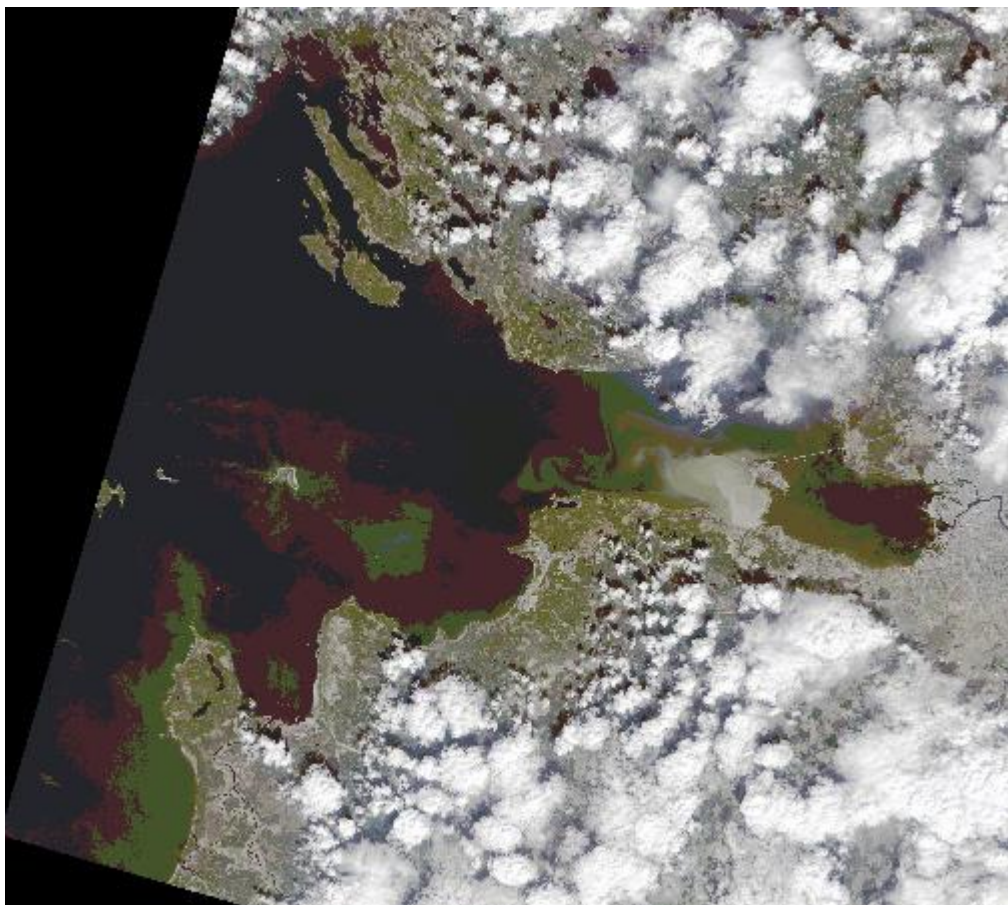


Рисунок 31 - Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по обработанным спутниковым данным, 4 мая 2015 г. (4+3+2)

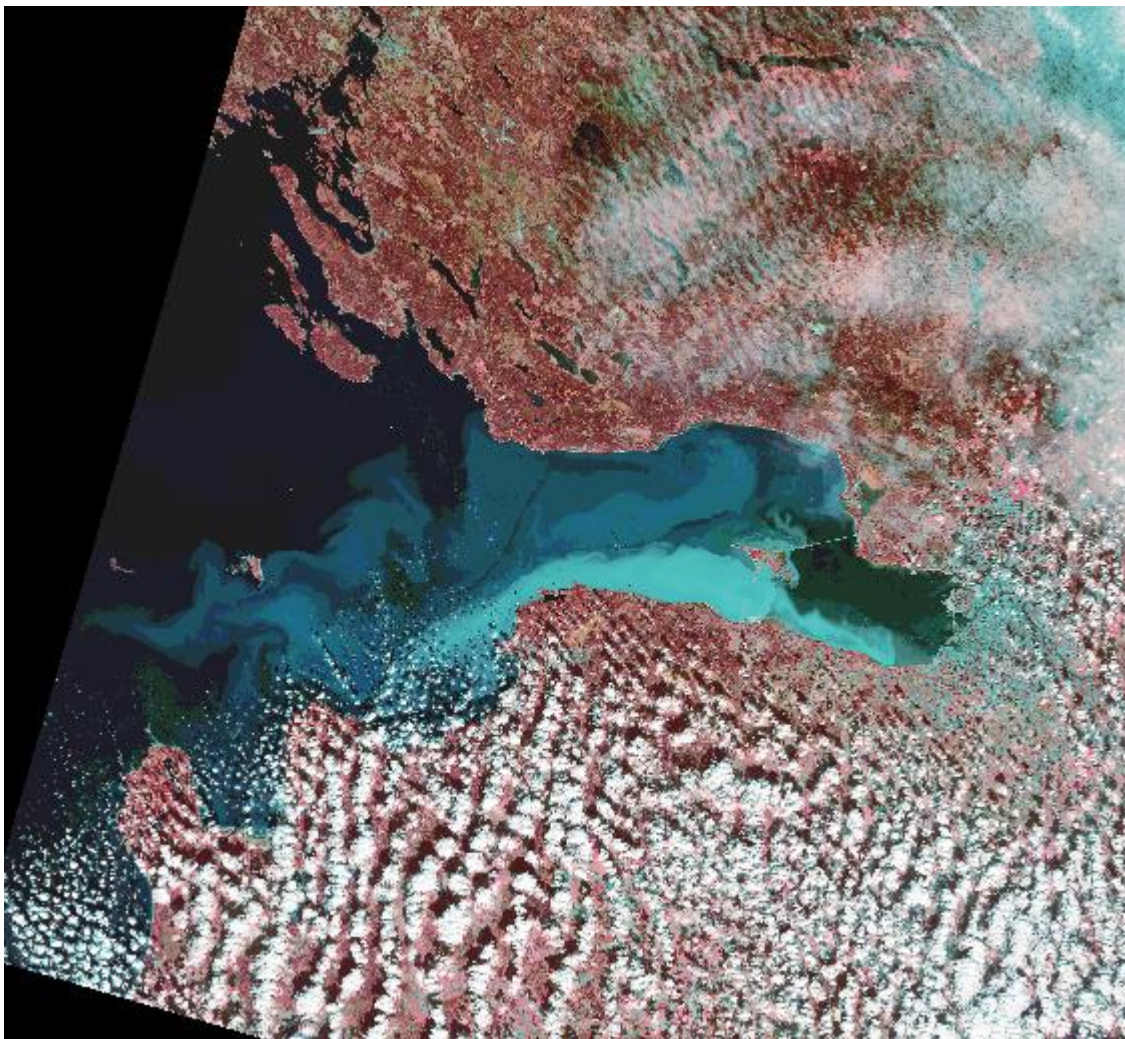


Рисунок 32 - Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по обработанным спутниковым данным, 11 октября 2015 г. (5+4+3)

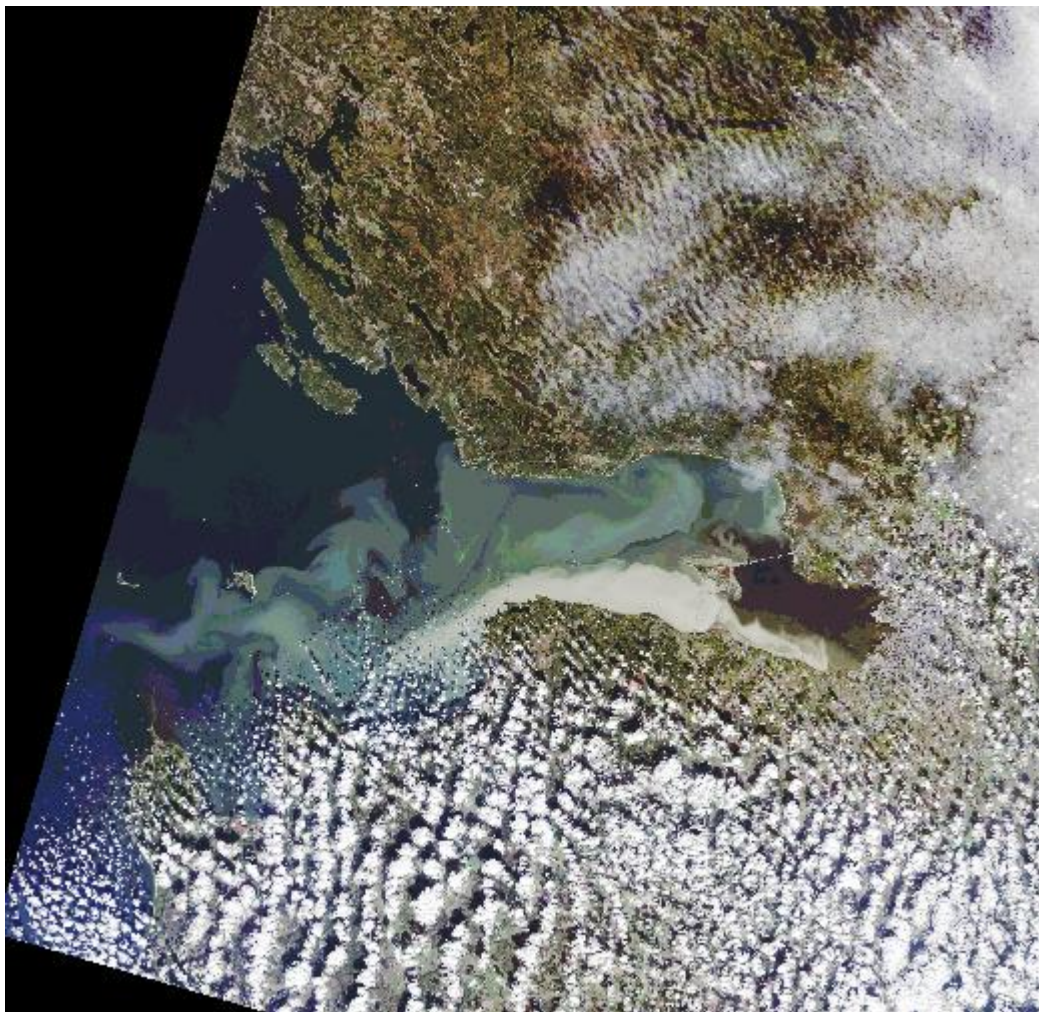


Рисунок 33 - Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по обработанным спутниковым данным, 11 октября 2015 г. (4+3+2)

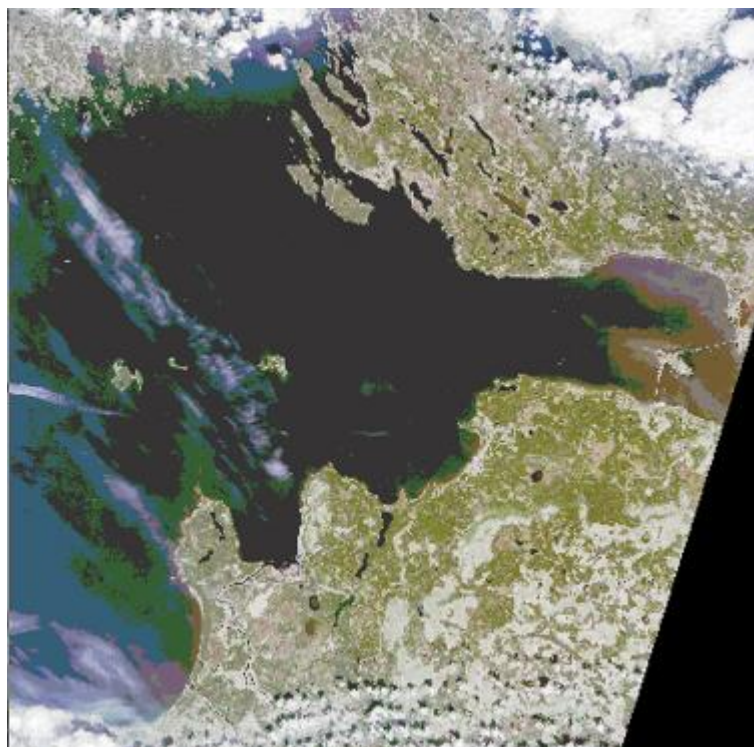


Рисунок 34 - Распределение взвешенного вещества в Финском заливе по обработанным спутниковым данным, 14 мая 2022 г. (4+3+2)

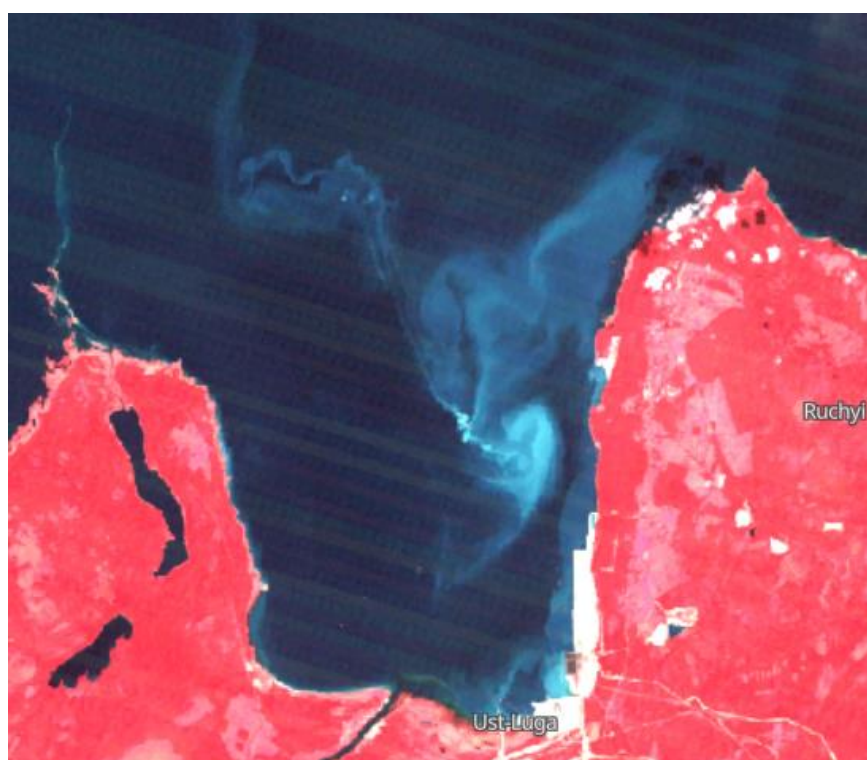


Рисунок 35 - Распределение взвешенного вещества в Финском заливе (район Усть-Луга) по обработанным спутниковым данным Ландсата 5, 5 сентября 2011 г.

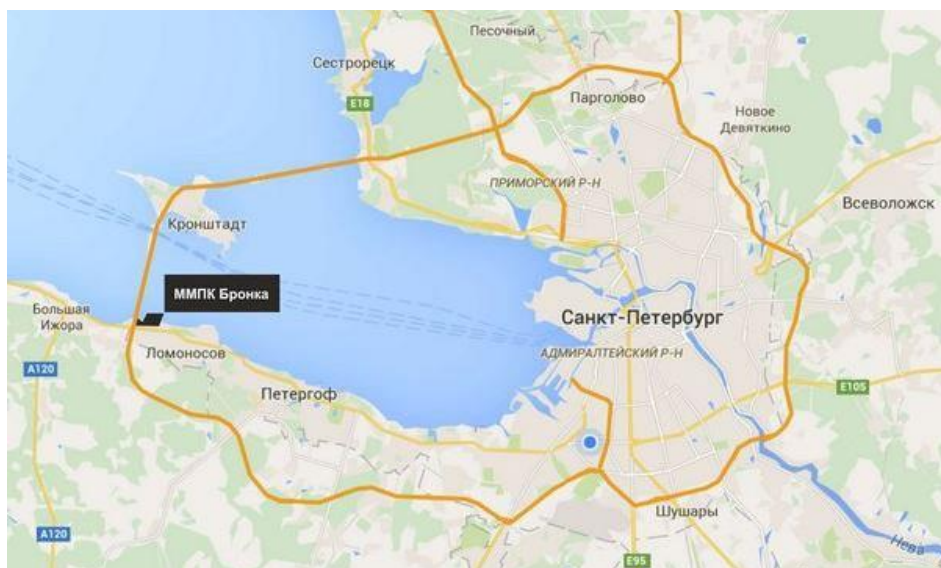


Рисунок 36 – Расположение ММПК «Бронка»

Анализируя графики 31-35 можно сделать вывод, что основные источники загрязнения в исследуемом районе – это порты Усть-Луга и многофункциональный морской перегрузочный комплекс «Бронка» (расположение порта на рис. 36)

К значительному взмучиванию вод привели дноуглубительные работы при строительстве перегрузочных комплексов и подходного канала в районе Усть-Луга (рисунок 35). С пятнадцатого мая и до конца две тысячи одиннадцатого года значительная область сильно взмученных вод (>6 г/м³) наблюдалась в Лужской губе (между $28^{\circ}10'$ и $28^{\circ}30'$ в. д.), площадью 50–200 км², 31 мая — 200 км², 3 июня — 200 км², 7 июня — 200 км², 2 августа — 150 км², 26 августа — 150 км². В зависимости от направления ветра и течений поток взмученных вод часто распространялся на запад, северо-запад, север, северо-восток или на восток на расстояния 30–70 км от берега Лужской губы. Таким образом, техногенное воздействие на окружающую морскую среду, связанное со строительством морского порта Усть-Луга, на два порядка (по площади взмученных вод) превышало воздействие от строительства морского газопровода “Nord Stream”. Общая площадь взмученных вод в Лужской губе и за её пределами достигала 1000 км². Для сравнения, в 2011 г. в ФЗ площадь вод с повышенным содержанием взвеси (в результате

естественных факторов) в отдельных местах составляла от сотен до нескольких тысяч квадратных километров. Например, 26 мая — 1000 км², 3 июня — 1200 км², 4 июня — 1800 км², 29 июня — 2000 км², 13 августа — 2200 км², 27 сентября — 2000 км², 2 октября — 2400 км². [15]

Что касается ММПК «Бронка», то это июнь, август, октябрь 2015, когда проводились дноуглубительные работы. Потом уже такой взвеси не было. Конечно, естественное взмучивание присутствует в прибрежных районах, но не в таких объёмах. Однако, стоит отметить, что концентрация взвеси в непосредственной близости к району работ по дноуглублению может быть настолько высока, что стандартные алгоритмы NASA, разработанные для построения карт TSM (Total Suspended Matter) по данным сенсора MODIS, не определяют данный район, как морскую среду, считая его сушей. [15]

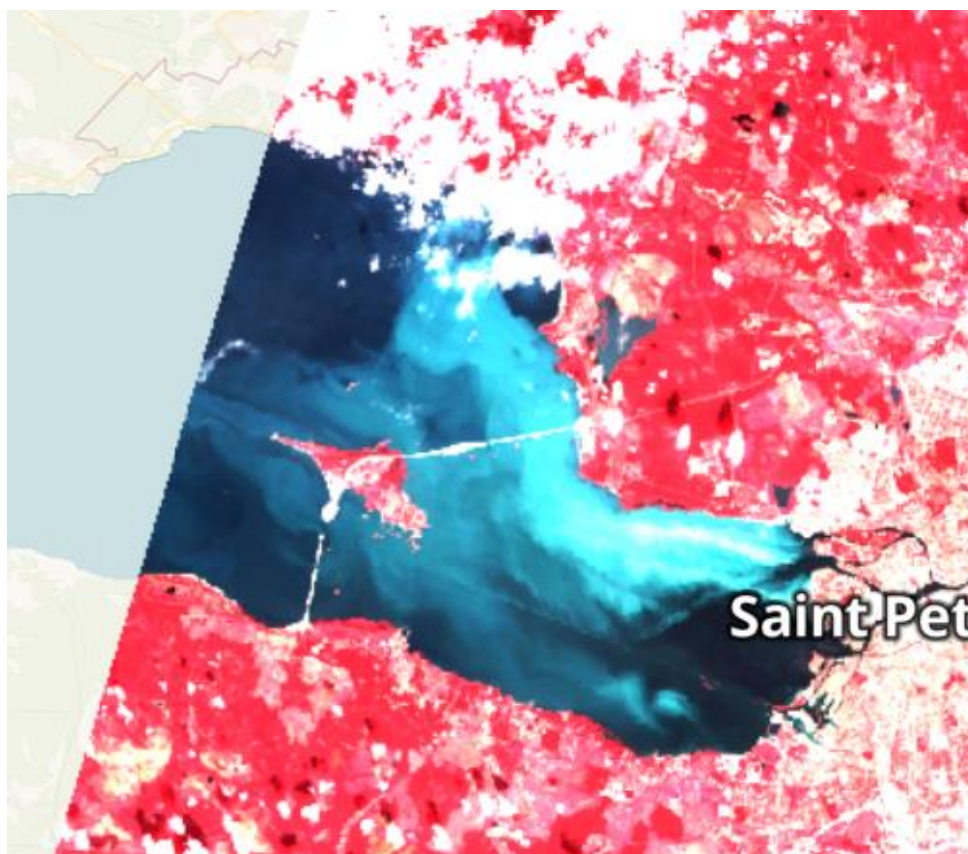


Рисунок 37 - Распределение взвешенного вещества вдоль всего побережья Курортного района Санкт-Петербурга, поступающие из Невской губы (данные спутника Ландсат 5, 8 августа 2006 г.)

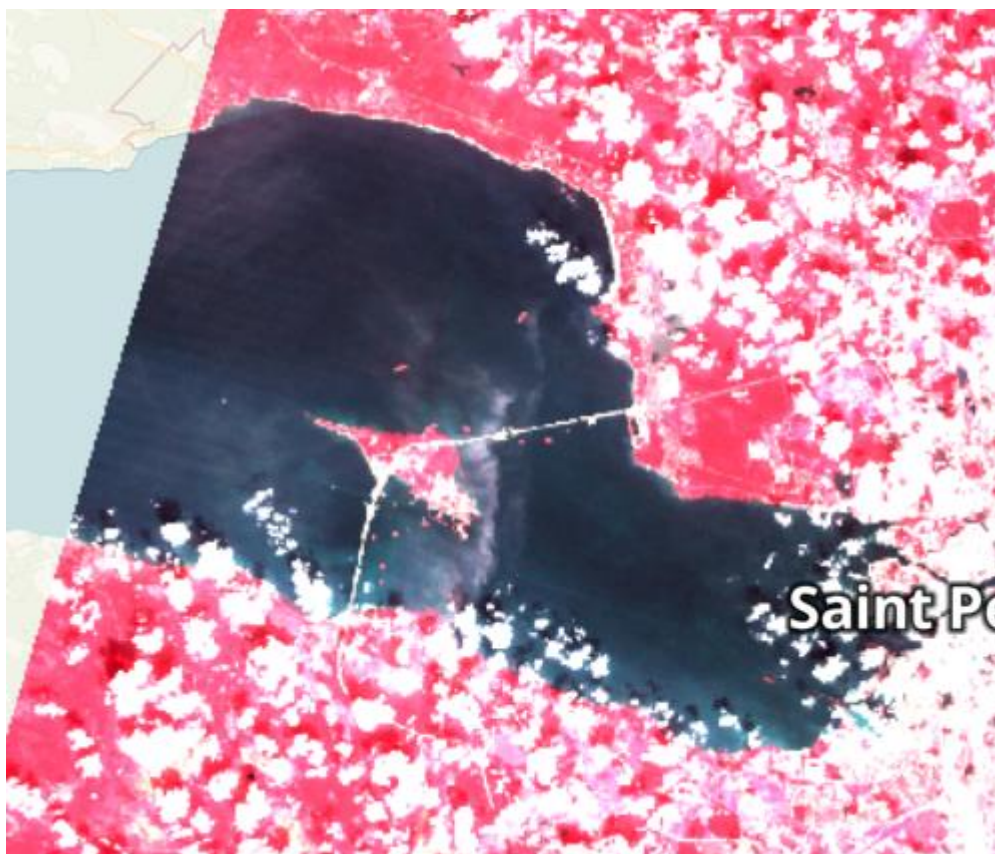


Рисунок 38 - Распределение взвешенного вещества в районе КЗС по обработанным спутниковым данным Ландсата 5, 21 июля 2021 г.

В 1974 году начались предварительные работы по возведению комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, а 1 октября 1980 года был заложен первый камень КЗС. В 1987 году стройка была остановлена. Только в 2001 году, строительство дамбы, находящейся в 60% готовности, возобновляется. 12 августа 2011 года защитная дамба Санкт-Петербурга была введена в эксплуатацию.

На рисунке 37 видно, что при проведении дноуглубительных работ (проект «Морской фасад Санкт-Петербурга») и при различных направлениях течений, разносящих взвешенные наносы видно наибольшее количество распространения взвешенных веществ. А так же, в это время строительство КЗС усугубило техногенное воздействие на экологическое состояние акватории Невской губы и восточной части Финского залива.

Рисунок 38. На распределение взвешенных веществ скорее влияет маневрирование затворами водопропускных сооружений. Наиболее заметные изменения при полном перекрытии затворов: в северных воротах, перед КЗС, со стороны Невской губы.

Заключение

Многие причины влияют на состояние акватории Невской губы и восточной части Финского залива. Для исследования изменения тенденции концентрации хлорофилла «а» и наличия взвешенных веществ в различных природных условиях, в зависимости от происходящих климатических изменений и антропогенного воздействия, актуально использование спутниковых данных. К применению методов оценки концентрации хлорофилла «а» относится дистанционное зондирование в оптическом диапазоне спутниковыми спектрорадиометрами.

По полученным результатам можно сделать выводы:

1. Фитопланктон «цветет» весной – с конца апреля по начало мая и летом – в первой декаде июля.

2. Повышение температуры воды происходит в июле, так как залив нагревается за лето, интенсивность цветения каждый год разная. Показатели концентрации хлорофилла «а» имели высокие показатели в апреле 2019 года, так же высокие показатели наблюдаются в прибрежных районах, наименьшие в центральной части ФЗ.

3. Что касается взвешенных веществ, наиболее высокие показатели загрязнения в исследуемом районе – это порты Усть-Луга, многофункциональный морской перегрузочный комплекс «Бронка» и комплекс защитных сооружений в период проведения строительных работ до 2011 года. Кроме этого, можно отметить период реализации крупномасштабного проекта «Морской фасад Санкт-Петербурга» (2005–2008 гг.), в рамках которого осуществлялись работы по намыву территории в западной части Васильевского острова.

Список использованных источников

1. Шишкин Б.А. Современное состояние экосистемы Невской губы и восточной части Финского залива. - Исследования водной экосистемы Ладожское озеро - р.Нева - Невская губа и восточная часть Финского залива. Л.: Труды ГГИ, вып. 1, 1988
2. Некрасов А.В., Еремина Т.Р., Провоторов П.П. Гидрофизические процессы. В кн.: Финский залив в условиях антропогенного воздействия. Отв. ред. В.А. Румянцев и В.Г. Драбкова. СПб.: Институт озераедения РАН, Северо-Балтийский морской фонд, 1999, с. 5-47.
3. Глинка М.И. (Финский залив // Фидер — Фурьеризм. — М. : Советская энциклопедия, 1956. — (Большая советская энциклопедия : [в 51 т.] / гл. ред. Б. А. Введенский ; 1949—1958, т. 45)
4. Под ред. И.Н. Давидана, О. П. Савчука СПб Экосистемные модели. Оценка современного состояния Финского залива. Вып. 5, часть 2. Гидрометеорологические, гидрохимические, гидробиологические, геологические условия и динамика вод Финского залива /Гидрометеоздат, 1997. - 450 с.
5. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2013 г. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. 136 с.
6. Гл. ред. О. В. Петров. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря, СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 78 с.
7. Ю. Е. Сает, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. М. Недрa Геохимия окружающей среды, 1990. 335 с.
8. Сборник рекомендаций Хельсинкской комиссии: Справочно-методическое пособие. СПб.: Диалог, 2008. 712 с.
9. В. А. Шахвердов, М. В. Шахвердова Типы и факторы загрязнения восточной части Финского залива и его береговой зоны.

10. <https://rcpod.ru/about/kosmicheskie-apparaty/detail.php?ID=159>
11. <https://www.scanex.ru/data/satellites/terra-aqua-modis/>
12. <https://innoter.com/sputniki/landsat-8/>
13. <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>
14. Евтушенко Н.В., Шеберстов С.В. Использование данных спутникового сканера MODIS-Aqua для исследования циклов цветения фитопланктона в Балтийском море. 2016.
15. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. — М.: ИКИ РАН, 2016.— 334 с. : табл., ил., цв. ил. ISBN 978-5-00015-004-7
16. Романкевич Е. А., Айбулатов Н. А. (2004) Геохимическое состояние морей России и здоровье человека // Вестн. Отделения наук о Земле РАН. 2004. № 1(22).
17. Сухачева, Л. Л. Экологические и другие аспекты дреджинга при реализации крупных инженерных проектов в Восточной части финского залива - обобщение данных многолетних аэрокосмических наблюдений / Л. Л. Сухачева // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2014. – № 35. – С. 124-132.
18. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
19. Копелевич О. В., Вазюля С. В., Шеберстов С. В., Буканова Т. В. (2016) Взвешенное вещество в поверхностном слое вод Юго-Восточной Балтики по спутниковым данным // Океанология. 2016. Т. 56. № 1. С. 51–59.
20. Darecki M., Ficek D., Krezel A., Ostrowska M., Majchrowski R., Wozniak S. B., Bradtke K., Dera J., Wozniak B. (2008) Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM): Pt. 2: Empirical validation // Oceanologia. 2008. V. 50. No. 4. P. 509–538.