



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра прикладной океанографии и комплексного управления
прибрежными зонами

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

«Исследование распределения микропластика в Охотском море»

Исполнитель: Прощакова Валерия Александровна

Руководитель: кандидат физико-математических наук, доцент,

Ерёмина Татьяна Рэмовна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

Кандидат географических наук

(ученая степень, ученое звание)

Хаймина Ольга Владимировна

(фамилия, имя, отчество)

« 04 » 06 2024 г.

г. Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОХОТСКОГО МОРЯ.....	5
1.1 КЛИМАТ.....	7
1.2 СОЛЕННОСТЬ.....	9
1.3 СТРУКТУРА ТЕЧЕНИЙ.....	10
1.4 ВОДНЫЕ МАССЫ.....	12
ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ.....	14
2.1 ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ.....	14
2.1.1 НЕФТЕПРОДУКТЫ	15
2.1.2 ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ.....	17
2.1.3 СТОЧНЫЕ ВОДЫ	19
2.1.4 РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ	20
2.2 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МОРСКИМ МУСОРОМ ОХОТСКОГО МОРЯ	20
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МИКРОПЛАСТИКОМ ОХОТСКОГО МОРЯ.....	24
3.1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	24
3.2 ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА Н АКВАТОРИИ ОХОТСКОГО МОРЯ.....	26
3.3 ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОД КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК ПОСТУПЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ОХОТСКОЕ МОРЕ.....	33
3.4 СРАВНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОПЛАСТИКА С ДРУГИМИ ТИХООКЕАНСКИМИ АКВАТОРИЯМИ	38
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	41
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	42

ВВЕДЕНИЕ

Охотское море, одно из крупнейших и богатейших морских экосистем в мире, сталкивается с возрастающей угрозой загрязнения микропластиком. Актуальность исследования распределения микропластика в этом регионе обусловлена несколькими ключевыми факторами:

1. Экологические последствия:

А) Микропластик попадает в пищевую цепь, начиная с зоопланктона и заканчивая крупными хищниками, включая промысловые виды рыб и морских млекопитающих, что может приводить к физическим повреждениям, нарушению пищеварения, накоплению токсинов и даже изменению поведения животных.

Б) Накапливающийся в морепродуктах микропластик, может попадать в организм человека, вызывая различные проблемы со здоровьем.

2. Экономические последствия:

А) Загрязнение микропластиком может привести к снижению популяции промысловых видов рыб, что негативно скажется на экономике региона, зависящей от рыбной промышленности.

Б) Загрязненные пляжи и морская среда могут отпугнуть туристов, что приведет к уменьшению доходов от туризма.

3. Научная значимость:

А) Исследование поможет определить уровень загрязнения микропластиком в Охотском море, выявив наиболее загрязненные районы.

Б) Анализ распределения микропластика позволит лучше понять пути его переноса в морской среде, что поможет разработать эффективные меры по предотвращению загрязнения.

В) Способствование в разработке и совершенствовании методов мониторинга микропластика в морской среде.

В свете вышеперечисленных факторов, исследование распределения микропластика в Охотском море является актуальной и неотложной задачей. Результаты исследования помогут оценить масштабы проблемы, разработать эффективные стратегии управления отходами и защитить уникальную экосистему Охотского моря.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Собственноручно полученные значения концентрации микропластика в Охотском море в 2019 году;
2. Проведение анализа полученных результатов;
3. Оценка влияющих факторов на распределения микропластика в Охотском море.

Исследование распределения микропластика в Охотском море имеет высокую практическую значимость. На основе полученных данных можно разработать модели распространения микропластика в морской среде, что поможет прогнозировать его накопление в будущем и разрабатывать превентивные меры. Результаты исследования помогут глубже понять механизмы переноса микропластика, определить основные факторы его распространения.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОХОТСКОГО МОРЯ

Охотское море ($54^{\circ}16'07''$ с.ш. $148^{\circ}33'26''$ в.д.) – это полузамкнутая океанская акватория, отделенная от северной части Тихого океана и Японского моря о. Хоккайдо, о. Сахалин и Курильскими островами. Площадь составляет 1603 тыс. км², а объём воды – 1316 тыс. км³. Среднее значение глубины моря 821 м, а наибольшее – 3521 м (в Курильской котловине) и находится в зоне муссонного климата умеренных широт. Оно является одним из самых холодных и нестабильных водоемов в мире [1]. Основным источником поступления морской воды в Охотское море является теплое течение (Soya Warm Current) из Японского моря через Соевый пролив, однако большую роль имеет и приток пресной воды из реки Амур на северо-западе. С другой стороны, предполагается, что основной маршрут потока проходит через пролив Немуро, а также каналы и проливы между Курильскими островами, которые впадают в северную часть Тихого океана. [2]

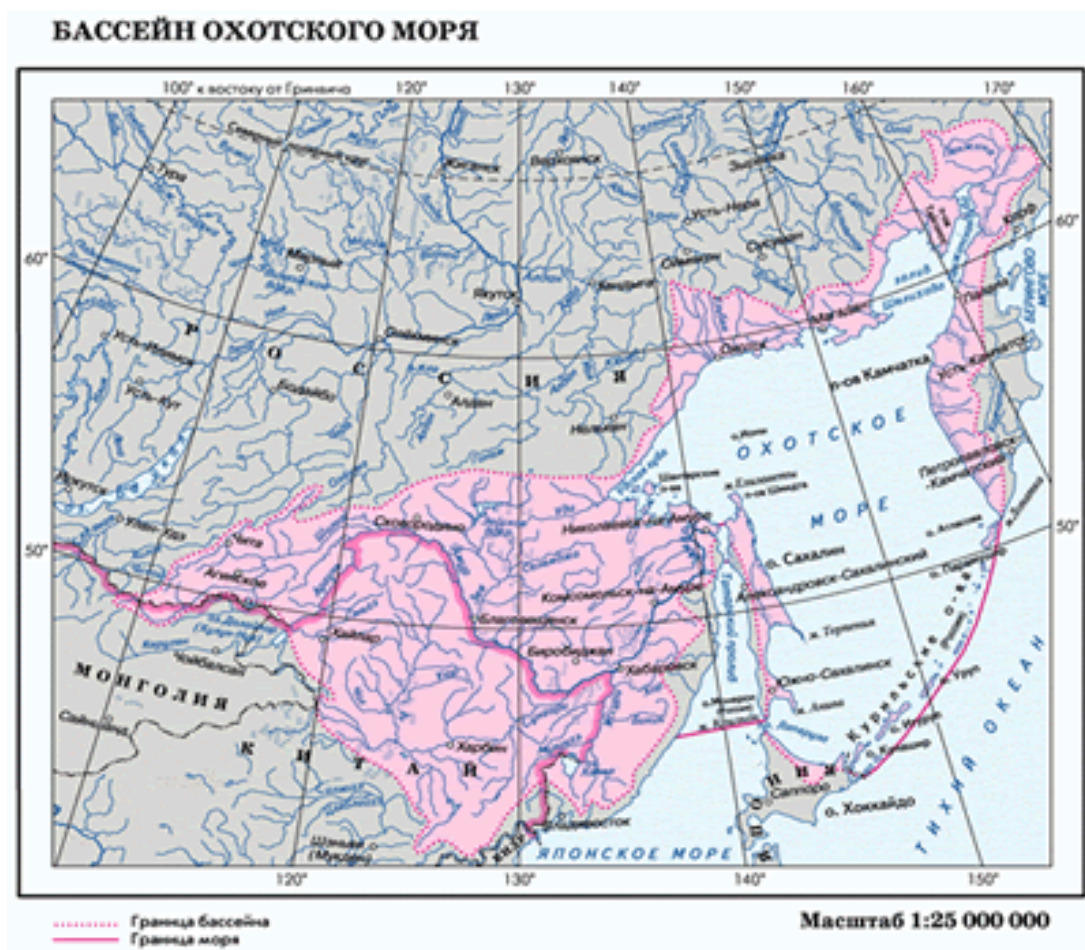


Рисунок 1. Бассейн Охотского моря [3]

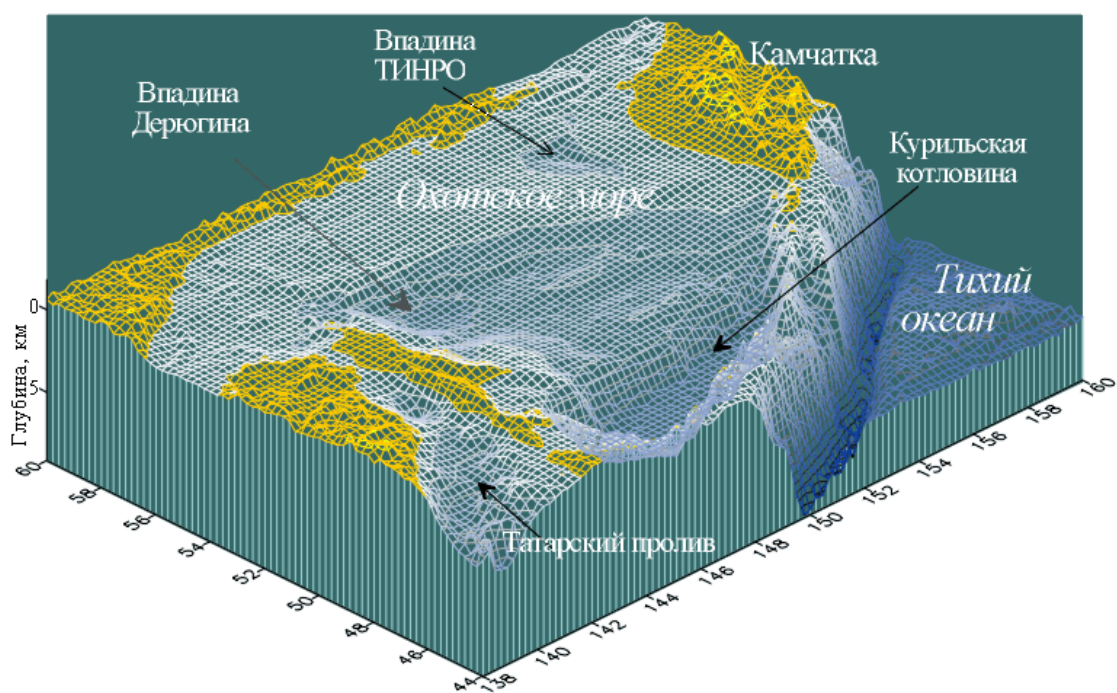


Рисунок 2. Батиметрия Охотского моря [4]

1.1 Климат

Фактические характеристики поля горизонтального распределения температуры воды на поверхности и глубинных горизонтах Охотского моря складываются и постоянно меняются под действием физических процессов различного масштаба и интенсивности, текущих на поверхности и в толще вод моря. Колебания данных характеристик, как и в прочих дальневосточных морях, особенно четко выражены в поверхностном, деятельном слое моря, где понятно отслеживается их короткопериодная и суточная изменчивость, сезонный внутригодовой и межгодовой климатический ход, непериодические колебания различной природы. Физика этих процессов и региональные специфики термического режима акватории относительно неплохо изучены, а ассимиляция информации многолетних гидрологических наблюдений позволяет выстроить общие схемы пространственного распределения температуры на всевозможных горизонтах для всех месяцев года. [5] По характеру вертикального распределения температуры стратификация вод Охотского моря причисляется к субарктическому типу, в котором большую часть года отлично выражены холодный промежуточный (подповерхностный – зимой) и более теплый глубинный слои. При более детализированном разглядывании здесь выделяют три основных разновидности этой структуры: охотоморскую, тихоокеанскую и курильскую, имеющие количественные отличия в характеристиках водных масс. [3]

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

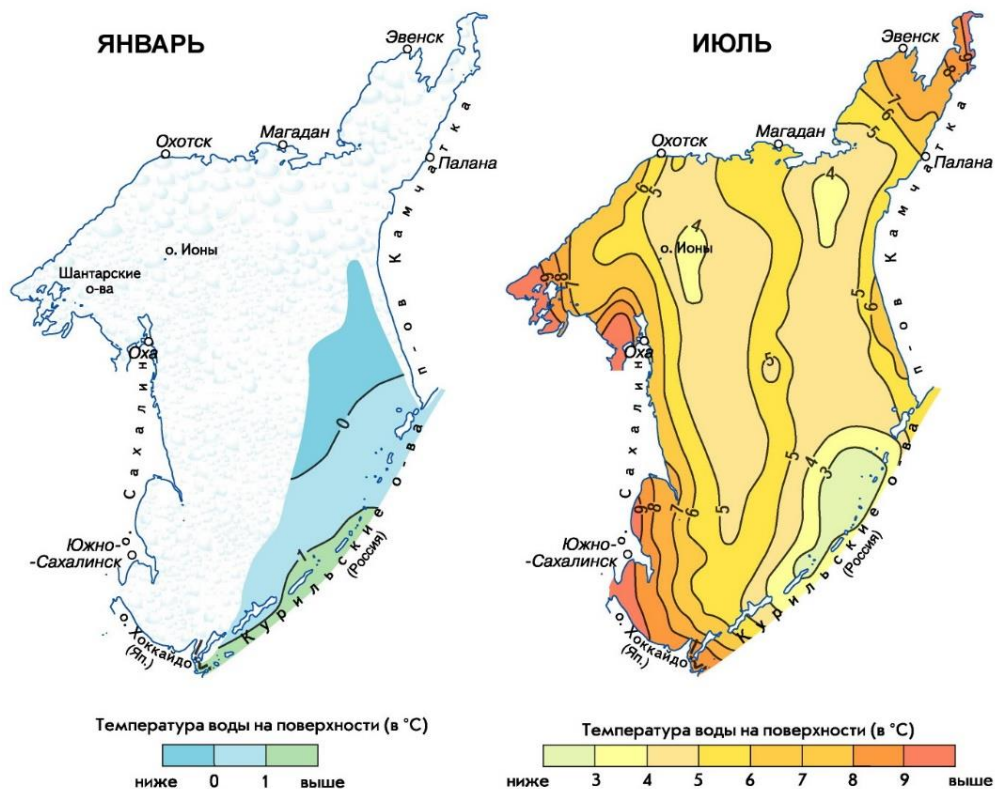


Рисунок 3. Средняя температура воды на поверхности Охотского моря [3]

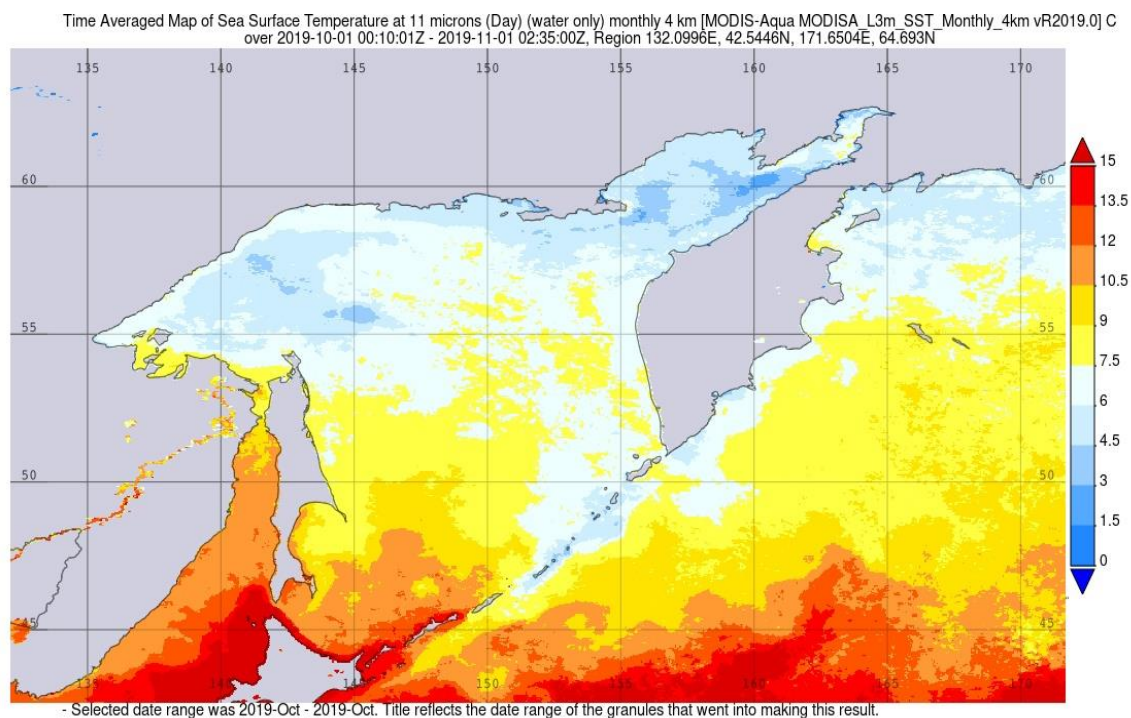


Рисунок 3.1. Температура воды в Охотском море в октябре 2019 года

1.2 Соленость

Крупномасштабные характеристики поля солености обуславливаются спецификами влагооборота на поверхности Охотского моря (соотношением числа осадков и испарения, воздействием процессов льдообразования и таяния льда), континентальным стоком в прибрежных районах, а также водообменом сквозь проливы и переносом течениями вод из сопредельных районов. За счет совокупного воздействия этих процессов схемы пространственного распределения солености значительно неоднородны и значительно изменяются от сезона к сезону. С глубиной соленость, как в поверхностном, так и в нижележащих слоях, неизменно увеличивается в пределах всей акватории моря во все сезоны года. Профили солености практически схожи во все сезоны года и в целом характеризуются монотонным возрастанием солености от поверхности до дна. Как и в поле температуры сезонные изменения проявляются, главным образом, в пределах верхнего 50-100 метрового слоя. [6]

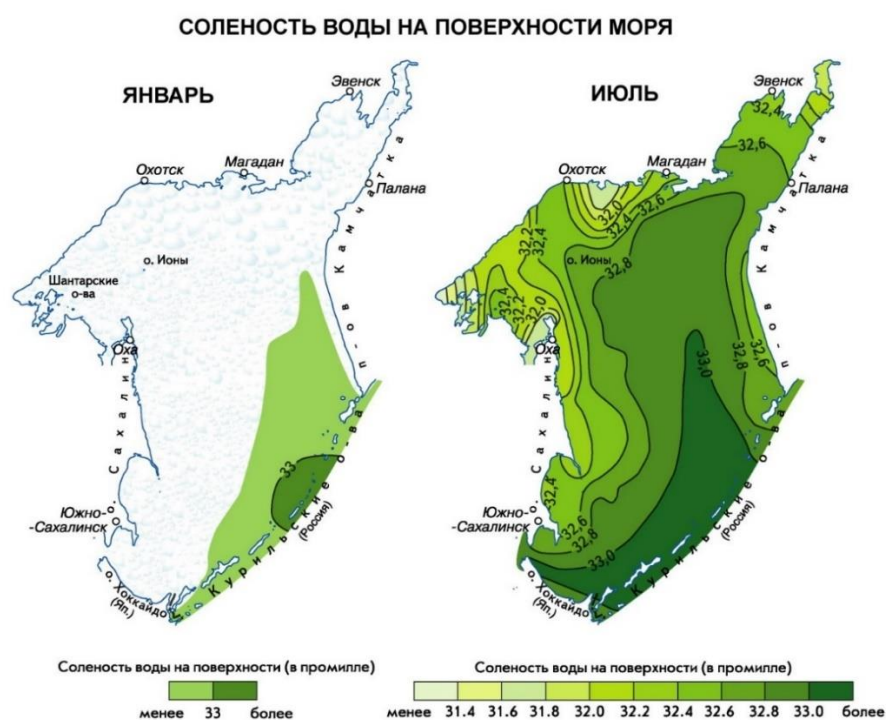


Рисунок 4. Средняя соленость воды на поверхности Охотского моря [3]

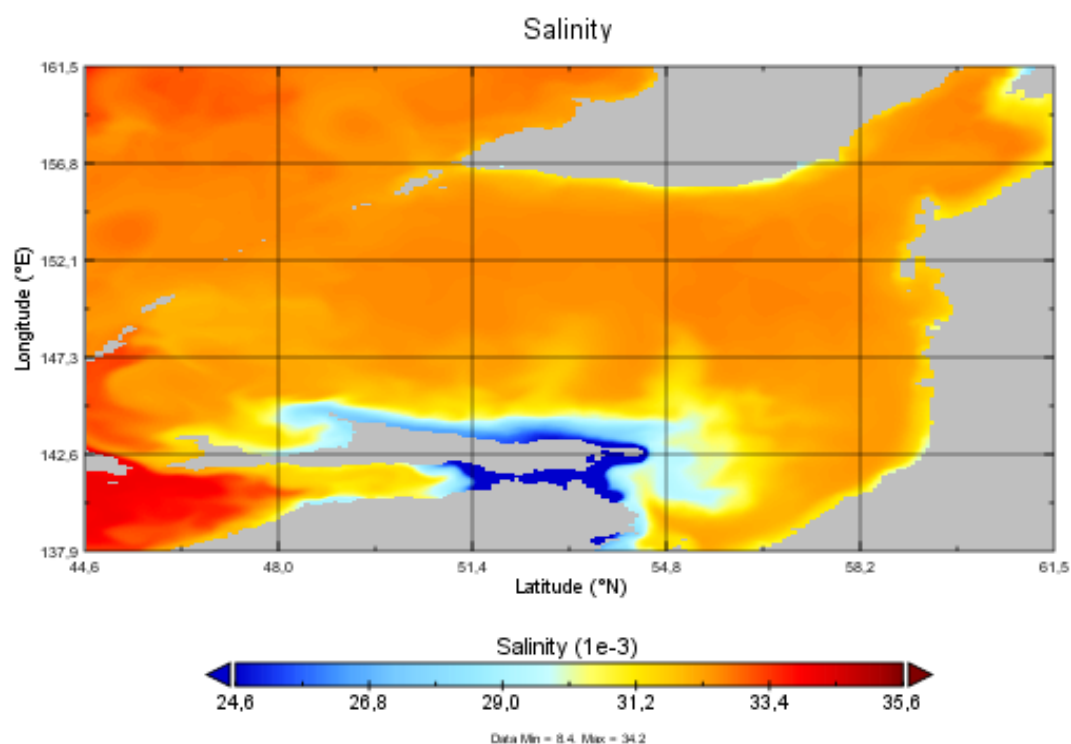


Рисунок 4.1. Соленость в Охотском море в октябре 2019 года

1.3 Структура течений

Основные региональные течения обозначены стрелками [7]. Желтые – относительно теплые, голубые – холодные и сокращения: Аляскинский поток (AS), Восточно-Камчатское течение (ЕКС), Охотский круговорот (OG), Соевое теплое течение (SC), Восточно-Сахалинское течение (ESC), Оясио (Oy), Западный субарктический круговорот (WSAG), Северо-Тихоокеанское течение (NPC). Красная стрелка указывает отток пресной воды Амуром в северо-восточную часть Охотского моря. Синий эллипс показывает основную современную повторяющуюся систему Северной Шельфовой Полынии (NSP), а эллипсы меньшего размера обозначают второстепенные системы: Сахалинскую полынью (СП), полынью залива Терпения (ТБП).

Охотское море обладает сложной системой циркуляции вод, на которую влияют различные факторы. Муссонные ветры играют

значительную роль в формировании поверхностных течений. Зимой преобладают северо-западные ветры, которые приводят к образованию циклонического круговорота в центральной части моря. Летом юго-восточные ветры способствуют возникновению антициклонического круговорота. Сложный рельеф дна Охотского моря, включающий глубоководные котловины, подводные хребты и шельфовые зоны, оказывает влияние на направление и скорость течений.

В Охотском море происходит интенсивный вертикальный обмен водными массами. Зимой охлаждение поверхности приводит к образованию плотной воды, которая опускается на глубину и распространяется по дну. Летом нагрев поверхности и приток речных вод создают менее плотную воду, которая остается в верхних слоях. Также циркуляция вод в Охотском море подвержена значительным сезонным изменениям. Зимой преобладает циклонический круговорот, а летом – антициклонический. Также изменяется интенсивность и направление течений, а также степень вертикального перемешивания вод. [8]

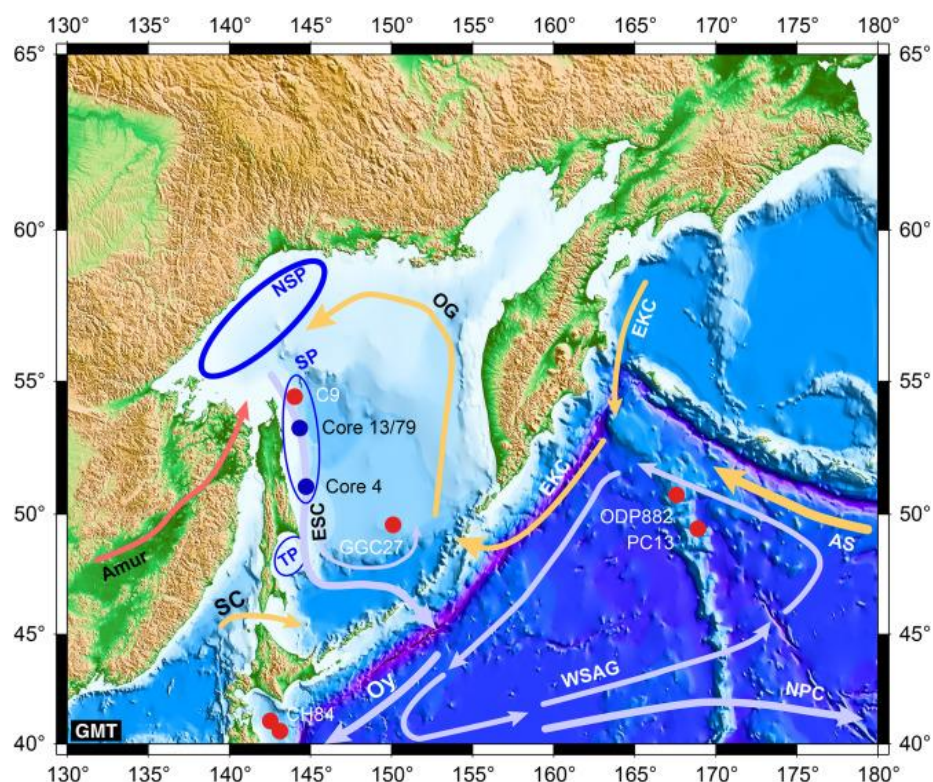


Рисунок 5. Структура течений Охотского моря [8]

1.4 Водные массы

Ядро охотоморской водной массы максимально заглублено – 135 м. Поверхностная водная масса Охотского моря образуется под действием радиационного прогрева поверхности моря, материкового стока, адвекции вод из соседних регионов и атмосферных осадков. Ее распространение на нижележащие горизонты осуществляются в основном за счет ветроволнового перемешивания, вертикального и бокового приливного обмена характеристик. Одна из основных характеристик структуры вод моря – охотоморская водная масса (ее ядром является холодный подповерхностный слой). В теплый период над ней формируется незначительный по вертикали верхний прогретый и распресненный слой вод, а также слой максимальных сезонных градиентов температуры и солености. Более того, по значениям температуры в ядре море можно разделить на две части, границей между которыми является изотерма 0°C . [9] В сравнительно теплом секторе максимальные значения температуры воды выделяются в крайней южной части моря. Хорошо также прослеживается понижение температуры воды в ядре охотоморской водной массы по мере распространения и трансформации тихоокеанских вод и их смешения с переохлажденными водами Охотского моря. Распределение температуры воды в ядре охотоморской водной массы хорошо отражает звенья существующей схемы течений южной и восточной частей Охотского моря: течения Соя, Западно-Камчатское, Восточно-Сахалинское. Самые низкие значения температуры воды в ядре охотоморской водной массы наблюдаются на шельфе северной и северо-западной частей Охотского моря ($-1,0 \dots -1,8^{\circ}\text{C}$). Отличительная черта полей солености в ядре охотоморской водной массы за рассматриваемый период (август) – это сохранение главных особенностей ее пространственного распределения. Максимальные значения (до $33,2\text{‰}$ – $33,4\text{‰}$) выделяются на акватории Курильских проливов и в прилегающих к ним районах моря. Повышенные значения солености у склона южной части

западной Камчатки свидетельствует о перемещении на север трансформирующихся тихоокеанских вод. Пространственное распределение солености и кислорода в ядре глубинной тихоокеанской водной массы хорошо согласуется с направлениями вертикальных движений вод в крупномасштабных круговоротах. Отметим, что для вертикального распределения солености в море характерен ее рост в направлении дна. В пределах Курильской котловины наблюдается антициклонический круговорот с соответствующим опусканием вод. [10]

ГЛАВА 2. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

Охотское море, в отличие от Чёрного, Азовского, Балтийского, Средиземного, Яванского, Японского и Карибского морей не находится в списках самых экологически проблемных акваторий. Однако, его биологическая исключительность важна для сохранения многих видов гидробионтов и требует самого неотрывного внимания к состоянию этого района. Нелегко найти на Земле ещё одно море, где бы был столь насыщен и биопродуктивен подводный мир [11]. Главными источниками загрязнения промысловых районов Охотского моря в настоящее время являются морские транспортные средства, преимущественно суда рыбопромыслового и транспортного флота. Несмотря на значимость Охотского моря для добычи гидробионтов, до настоящего времени не произведена его таксация, т.е. для моря установлена категория, согласно которой определены особые условия сброса загрязняющих веществ. Используемый «Водный кодекс» регламентирует вредные выбросы, включая отходы горюче-смазочных материалов только для стационарных объектов, что не применимо для судов флота рыбной промышленности и прочих транспортных средств, которые в течение промысловых рейсов, неоднократно меняют своё местоположение. В этой связи судовладельцы получают лицензию на водопользование вообще, а не для какого-то конкретного района. [12]

2.1 Источники загрязнения

Охотское море, несмотря на свою удаленность и относительную малонаселенность прибрежных районов, сталкивается с проблемой загрязнения, которая оказывает негативное воздействие на его экосистему. Основные источники загрязнения и их последствия:

2.1.1 Нефтепродукты

Основным источником загрязнения нефтепродуктами в Охотском море являются разливы нефти и нефтепродуктов, происходящие в результате аварий на морских нефтеналивных платформах, нефтепроводах и танкерах. Также загрязнение может возникать из-за неправильного обращения с нефтепродуктами на берегу или на морских судах. Последствия загрязнения нефтепродуктами для морской среды Охотского моря могут быть катастрофическими. Нефтяные пятна на поверхности моря могут привести к гибели рыбы, морских млекопитающих, птиц и других морских организмов. Кроме того, загрязнение нефтепродуктами может вызвать деструктивные изменения в морской фауне и флоре, а также повлиять на экономику рыболовства и туризма. Нефтяная пленка на поверхности воды препятствует газообмену, негативно влияет на морских птиц и млекопитающих, нарушает развитие планктона и рыб. Токсичные компоненты нефти накапливаются в пищевой цепи. Прогнозные ресурсы углеводородов Охотского моря оцениваются в 6,56 млрд т в нефтяном эквиваленте, разведанные запасы – свыше 4 млрд т. Наиболее крупные месторождения на шельфах (вдоль побережья острова Сахалин, полуострова Камчатка, Хабаровского края и Магаданской области). [13]

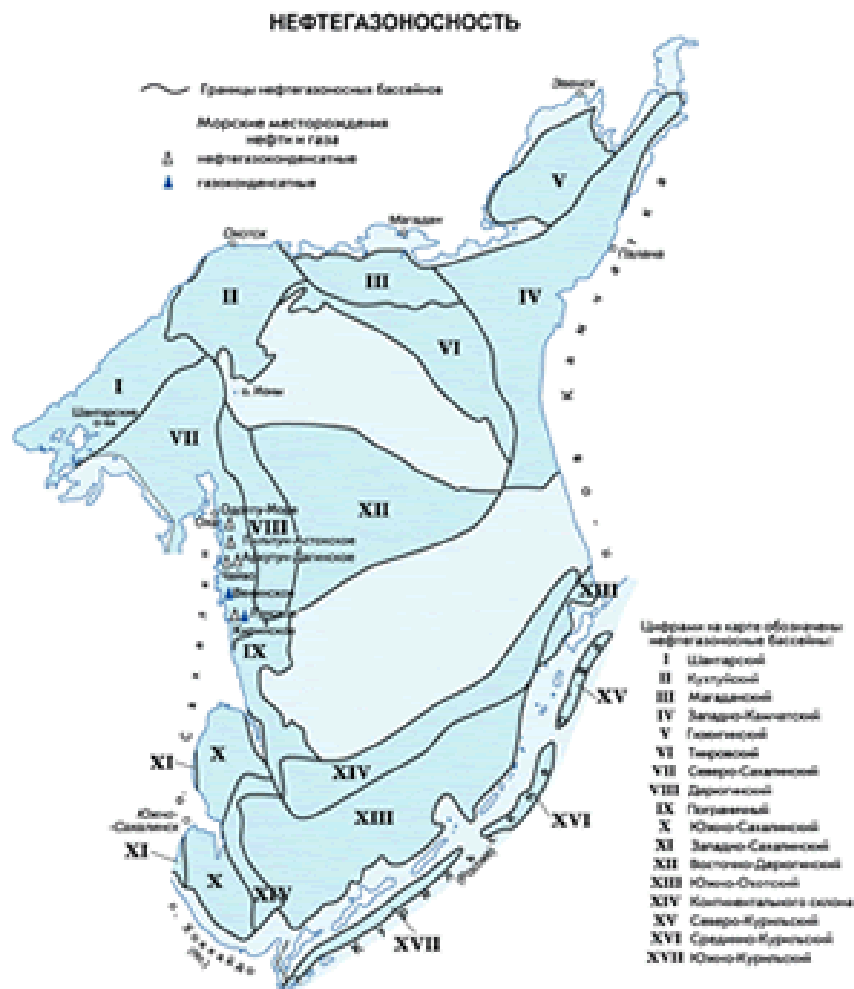


Рисунок 6. Месторождения нефти и газа в Охотском море [1]

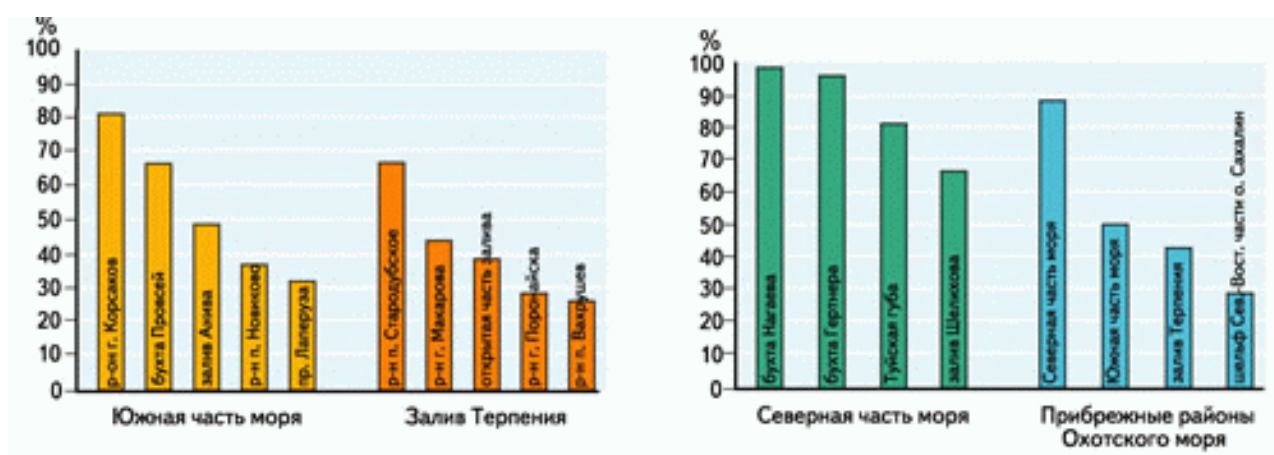


Рисунок 7. Сравнительный уровень загрязнения различных районов Охотского моря нефтепродуктами [1]

2.1.2 Тяжелые металлы

Загрязнение тяжелыми металлами в Охотском море обусловлено преимущественно человеческой деятельностью, такой как промышленность, судоходство и добыча ресурсов. Тяжелые металлы, такие как ртуть, кадмий, свинец и цинк, могут попадать в морскую среду из различных источников, таких как выбросы в атмосферу, стоки из промышленных предприятий и нефтяных участков, а также сбросы отходов из судов. Токсичные свойства тяжелых металлов приводят к серьезным последствиям для морской биоты и экосистемы в целом. Они могут накапливаться в тканях рыб, морских водорослей и других организмов, что отравляет их и в конечном итоге может привести к исчезновению определенных видов. Помимо воздействия на морскую жизнь, загрязнение тяжелыми металлами также может оказывать вредное воздействие на здоровье людей, особенно тех, кто потребляет рыбу из загрязненных вод. Тяжелые металлы, такие как ртуть, свинец и кадмий, накапливаются в морских организмах, вызывая отравление, нарушение репродуктивной функции и другие проблемы со здоровьем. [14]

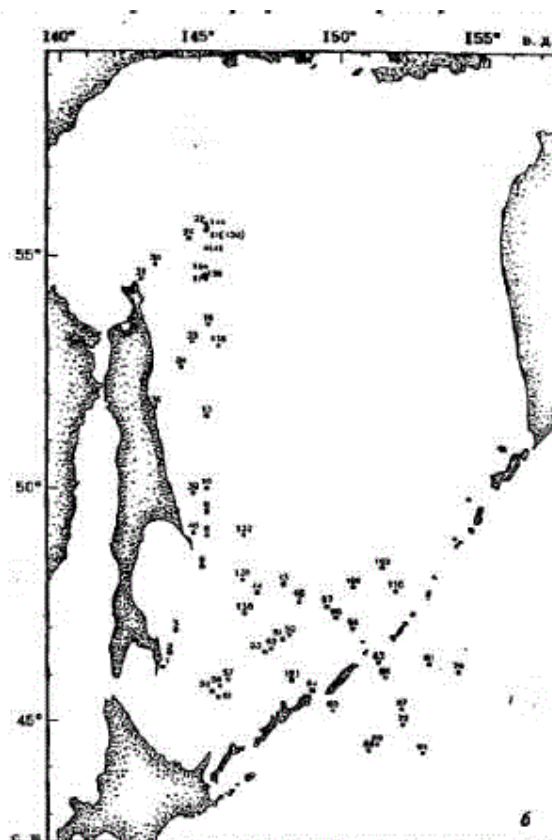


Рисунок 8. Схема расположения станций, где определялись тяжелые и переходные металлы и нефтяные углеводороды 1993-1994 гг. [15]

Таблица 1. Средние концентрации тяжелых и переходных металлов, растворенных в воде поверхностного слоя различных районов Охотского моря, мкг/л (1993-1994 гг.) [15]

Район, подрайон	Год	n*	Fe	Cu	Mn	Ni	Pb	Cd	Co	Cr
Северо-восточная часть шельфа	1993	31	4,89	1,08	0,97	0,39	3,43	0,07	0,1	0,04
Банка Кашеварова	1993	1	5,75	1,36	0,62	0,19	2,76	0,09	0,22	0,05
1 - 2 августа	1994	3	36,73	4,9	5,08	2,78	2,74	1,46	-	-
23 - 24 августа	1994	3	5,96	0,77	1,27	1,23	1,20	0,28	-	-
Сахалинский залив	1993	14	8,13	1,80	4,06	0,93	3,99	0,09	0,08	0,09
Восточный шельф Сахалина	1993	20	6,34	2,57	1,65	0,47	3,28	0,28	0,04	0,12
(северная и центральная части)	1994	6	12,85	2,68	2,8	0,91	2,74	0,2	-	-
Залив Терпения	1994	5	13,46	2,98	3,34	0,51	4,68	1,07	-	-
Курильская котловина	1993	12	5,01	1,29	0,03	0,60	3,11	0,18	0,12	0,09
	1994	17	11,95	2,49	2,13	0,76	1,5	0,3	-	-
Тихоокеанские воды	1993	25	10,82	1,77	0,17	0,83	3,39	0,95	0,14	0,16
(Прикурильский район)	1994	10	12,93	1,22	1,77	0,22	1,22	0,31	-	-
Средние концентрации в водах Тихого океана			5,0	1,4	0,4	0,5	0,07	0,07	0,3	0,25
Средние концентрации в водах Мирового океана			5,0	1,6	0,43	1,5	0,23	0,71	0,152	-

*n - количество проб.

2.1.3 Сточные воды

Неочищенные или недостаточно очищенные сточные воды с прибрежных городов и поселков содержат органические вещества, патогенные микроорганизмы, питательные вещества (азот и фосфор) и химические загрязнители. Также стоит отметить про сбросы сточных вод с предприятий рыбной промышленности, горнодобывающей промышленности и других отраслей содержат специфические загрязняющие вещества, такие как тяжелые металлы, нефтепродукты и химические реагенты. С сельскохозяйственных угодий, содержащие удобрения, пестициды и органические вещества, могут попадать в реки и далее в море, вызывая загрязнение. И главное – это сбросы с судов, включая сточные воды, бытовой мусор и нефтепродукты, также вносят свой вклад в загрязнение моря. Последствия загрязнения сточными водами: избыточное поступление питательных веществ (азот и фосфор) приводит к бурному развитию водорослей, что нарушает баланс экосистемы, снижает прозрачность воды и приводит к дефициту кислорода в придонных слоях. Сточные воды могут содержать бактерии, вирусы и паразиты, которые представляют угрозу для здоровья человека и животных. Тяжелые металлы, нефтепродукты и другие химические загрязнители накапливаются в морских организмах, вызывая отравление, нарушение репродуктивной функции и другие проблемы со здоровьем. Загрязнение сточными водами приводит к ухудшению условий обитания морских организмов и может вызвать сокращение численности или исчезновение чувствительных видов. [16]

2.1.4 Радиоактивные отходы

Охотское море, к сожалению, не избежало проблемы радиоактивного загрязнения, которое представляет серьезную угрозу для его экосистемы и здоровья человека. В прошлом Советский Союз использовал Охотское море для захоронения радиоактивных отходов, включая отработавшее ядерное топливо, реакторные отсеки атомных подводных лодок и другие радиоактивные материалы. Эти объекты находятся на дне моря и представляют потенциальную угрозу утечки радиоактивных веществ. В истории Охотского моря происходили аварии на атомных подводных лодках, которые приводили к выбросу радиоактивных веществ в морскую среду. В период холодной войны проводились ядерные испытания в атмосфере, что привело к глобальному загрязнению, включая Охотское море. Радиоактивные изотопы, такие как цезий-137 и стронций-90, могут сохраняться в морской среде в течение длительного времени. [17]

2.2 Современное состояние изученности загрязненности морским мусором Охотского моря

Микропластик – это крошечные частицы пластика размером менее 5 мм, которые образуются в результате разложения пластиковых отходов. Они являются серьезной угрозой для морской жизни, поскольку могут поглощаться рыбами, моллюсками или другими морскими организмами, что в конечном итоге приводит к поступлению микропластика в пищевую цепь. Касательно Охотского моря, данный регион не является исключением и также испытывает проблемы с загрязнением микропластиком. Пластиковые отходы могут достигать Охотского моря из близлежащих территорий через реки. Амур – река, играющая значительную роль в формировании стока Охотского моря, является одной из крупнейших рек в России и имеет обширный водосборный бассейн. [18]

Река Амур может быть источником загрязнения микропластиком (Рис. 9). Это может происходить как за счет промышленных и домашних отходов, которые могут попадать в реку и затем в море, так и за счет сбросов из населенных пунктов вдоль берегов, а также в результате неправильной утилизации пластиковых продуктов на берегу.

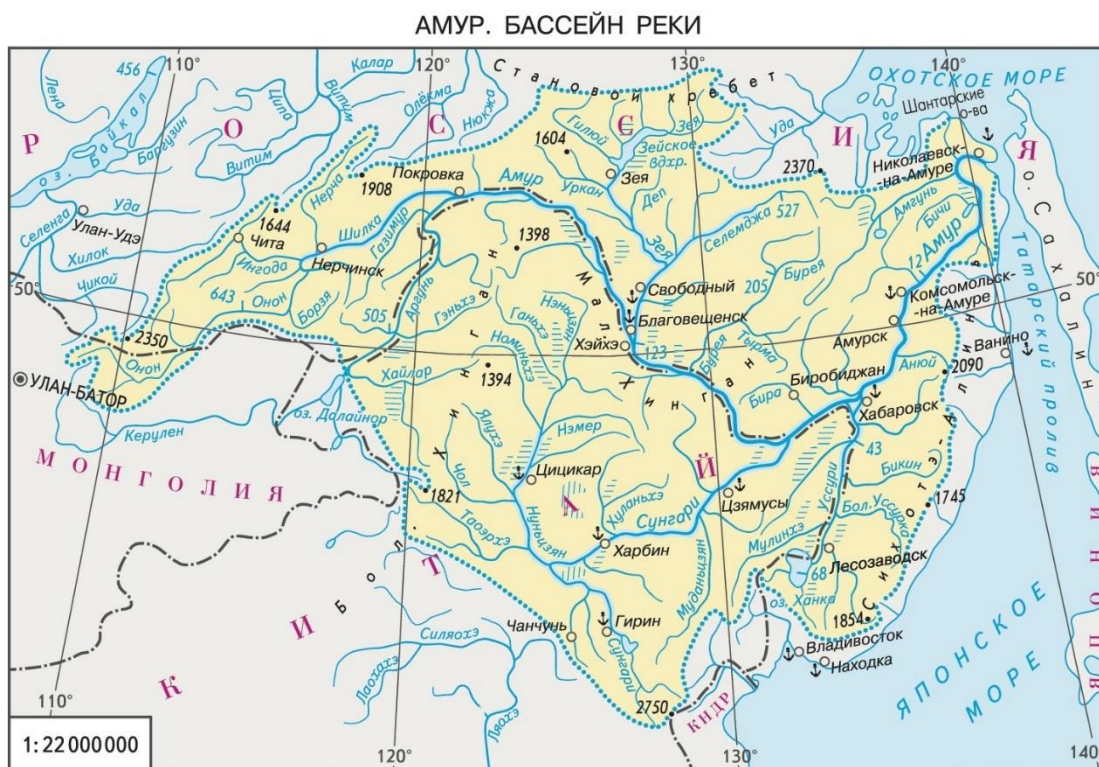


Рисунок 9. Бассейн реки Амур [19]

Исследования образцов воды из Охотского моря показали [20] наличие микропластика в различных формах, таких как крошки, волокна. Этот вид загрязнения может иметь негативные последствия для морской фауны и флоры, включая угрозу здоровью и выживаемости различных видов.

Таблица 2. Содержание и характеристика микрочастиц в
подповерхностном слое морской воды в 2019 г. [21]

Станция	Число найденных частиц в пробе всего, шт.	Концентрация, шт./м³	Размерный диапазон, мкм		Форма		Цвет частиц (серый = прозрачный)		
			От	До	Волокна	Фрагмент			
Охотское море									
1	9	120	450	3000	9	0			
2	10	357	200	1700	9	1			

Изучение морского мусора в Охотском море началось сравнительно недавно. Первые исследования были посвящены в основном макромусору, такому как пластиковые бутылки, рыболовные сети и другие крупные объекты. В последние годы внимание ученых все больше привлекает проблема микропластика, который представляет серьезную угрозу для морской экосистемы. Для изучения микропластика в Охотском море используются различные методы. Пробы собираются с помощью специальных сетей, фильтров и других устройств. Полученные результаты анализируются под микроскопом для определения количества, размера, формы и типа микропластика. Проводится спектроскопия для идентификации полимерного состава микропластика. Разрабатываются модели распространения микропластика в морской среде для оценки его накопления и переноса.

Концентрация микропластика варьируется в зависимости от района, глубины и времени года. Наиболее распространенными типами микропластика являются: фрагменты (мелкие кусочки пластика, образовавшиеся в результате разложения крупных объектов), волокна (микроскопические волокна, которые отделяются от синтетических тканей при стирке и носке), гранулы (первичный микропластик, используемый в производстве пластмасс).

Несмотря на значительный прогресс в изучении микропластика в Охотском море, остаются ряд проблем:

1. Отсутствие стандартизированных методов: различные исследовательские группы используют разные методы сбора и анализа проб, что затрудняет сравнение результатов.
2. Недостаток данных: исследования микропластика в Охотском море проводились в ограниченном количестве районов и в течение коротких периодов времени.

Проблема микропластика в Охотском море является актуальной и требует дальнейших исследований. Полученные данные позволят оценить масштабы загрязнения, разработать эффективные меры по его снижению и защитить уникальную экосистему Охотского моря.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МИКРОПЛАСТИКОМ ОХОТСКОГО МОРЯ

3.1 Материалы и методы исследования

Исследование в Охотском море проводилось в его южной и юго-восточной части в октябре 2019 г. Было отобрано 5 проб (Рис.10) морской воды с подповерхностного горизонта (4,5 м) пробоотборником-фильтром HydroPuMP (разработка лаборатории ПластикЛаб РГГМУ).

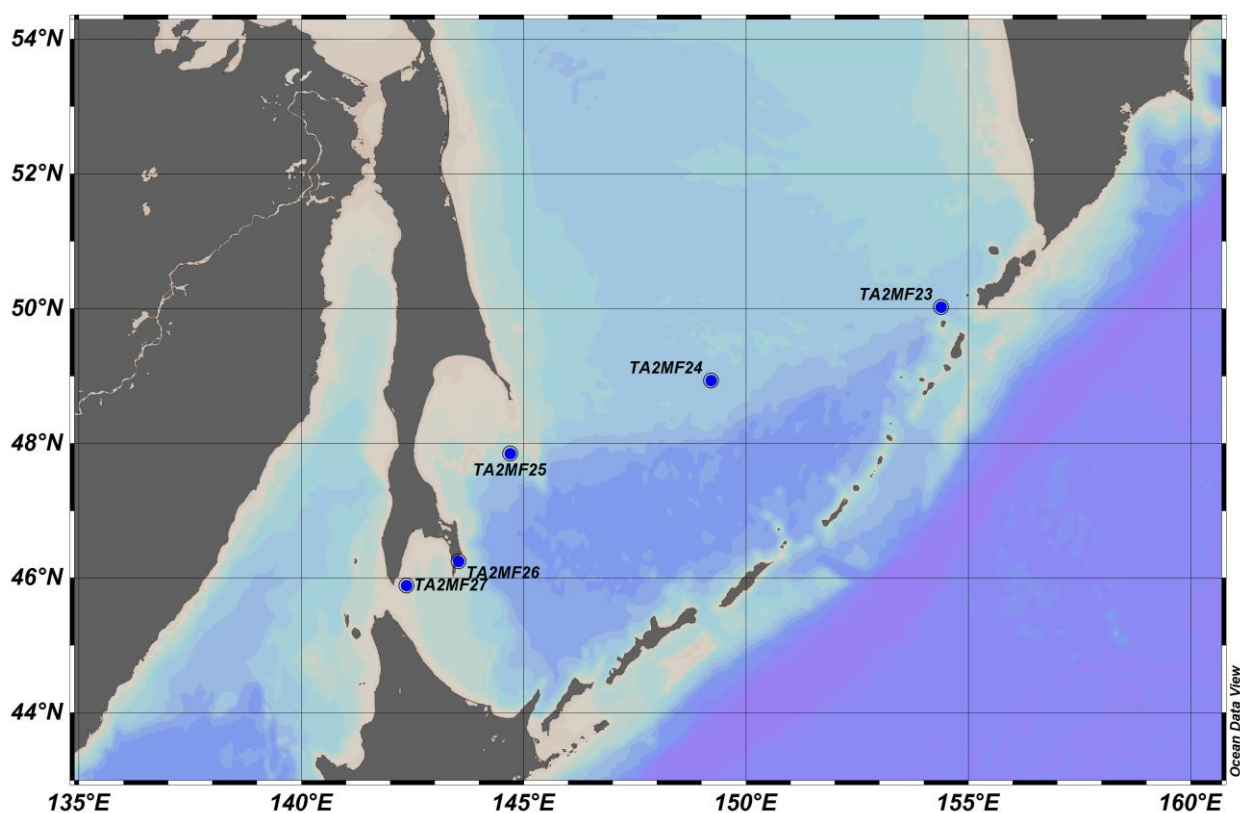


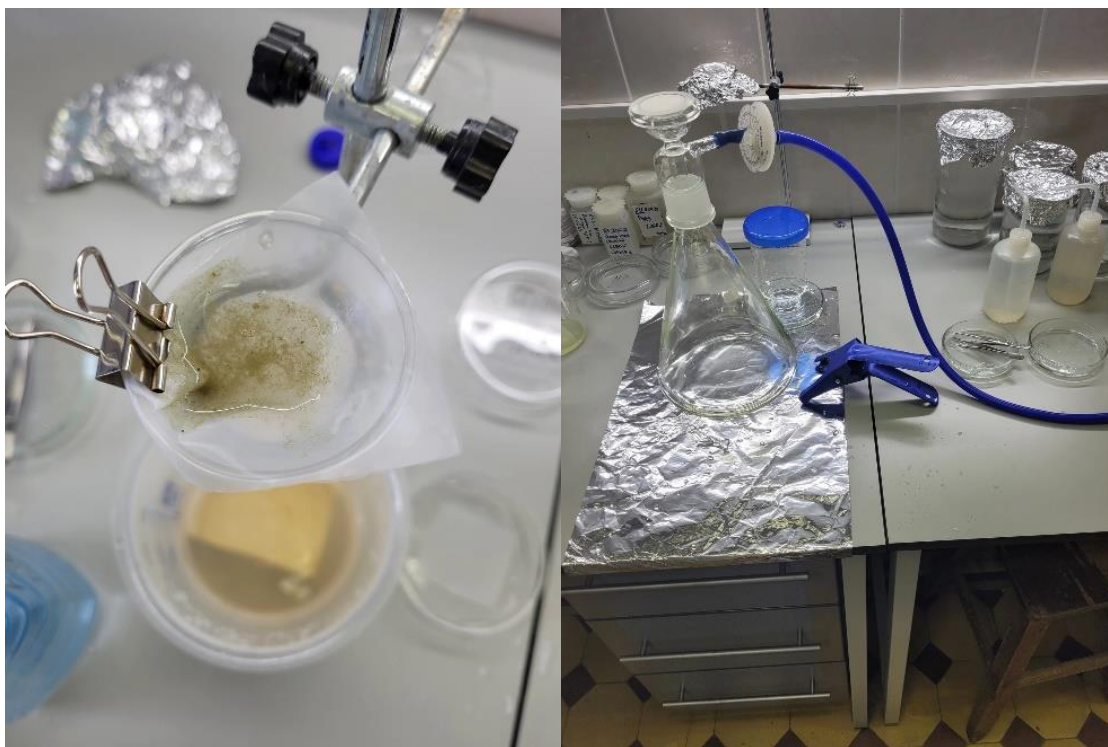
Рисунок 10. Точки отбора проб в Охотском море в 2019 г.

Отбор проб происходил по ходу НИС «Профессор Мультиановский» с помощью проточной системы в килевой части судна. HydroPuMP (HydroPuMP for MicroPlastics) – фильтровальная система, которая содержит минимальное количество пластиковых частей, минимизирует воздушную контаминацию образца в связи с замкнутой конструкцией системы фильтрации, а съемные фильтры из нержавеющей стали имеют размер ячеек от 50 до 100 мкм. Объем

профильтрованной воды составлял минимум 1000 л для одной пробы. Осажденное на фильтр вещество смывалось в судовой лаборатории в стеклянную колбу и фиксировалось реактивом на основе формалина, а проба в дальнейшем доставлялась в лабораторию ПластикЛаб для последующей обработки. Также в зависимости от объема всей пробы производится анализ либо всей пробы в целом, либо ее аликвотных частей с последующим пересчетом на весь объем. [21]

Лабораторный анализ состоял из нескольких этапов: удаление (растворение) органического вещества (термохимическая обработка образцов с помощью реактива Фентона (30%-ой H_2O_2 и катализатора $Fe(II)$, с дополнительной обработкой 10%-ной соляной кислотой). Осаждение полученной очищенной взвеси проводилось с помощью вакуумной установки на мембранные стекловолоконные фильтры с диаметром пор 0,7 мкм. Все этапы отбора проб, пробоподготовки и обработки образцов проводятся при тщательном соблюдении контроля воздушной контаминации (процедурные бланки, фильтрация реактивов, специальная одежда и т.п.) с последующей коррекцией результатов. Была выполнена визуальная идентификация, морфологический анализ и подсчет микропластиковых частиц с помощью светового стереомикроскопа (увеличение 40x) и тестирование частиц методом «горячей иглы» с целью подтверждения синтетического происхождения. Выборочно в дальнейшем частицы проходят полимерную идентификацию методом КРС.

Также полученные данные были обработаны с помощью программного обеспечения Microsoft Excel где проводилась статистическая обработка данных.



Рисунки 11 и 12. Лабораторная обработка проб

3.2 Пространственное распределение частиц микропластика на акватории Охотском море

Охотское море, будучи одним из крупнейших и наиболее продуктивных морских экосистем мира, сталкивается с проблемой загрязнения микропластиком, которое представляет серьезную угрозу для его биоразнообразия и здоровья человека. Микропластик, представляющий собой мелкие частицы пластика размером менее 5 мм, попадает в окружающую среду в результате разложения пластиковых изделий, промышленного производства и других источников. Изучение пространственного распределения микропластика в Охотском море является важным шагом для оценки масштабов загрязнения, определения источников и разработки эффективных мер по его снижению.

Исследования микропластика в Охотском море начались сравнительно недавно и характеризуются рядом особенностей:

- трудно-исследуемая территория. Информация о загрязнении микропластиком в открытых водах и удаленных районах остается ограниченной.
- разрозненность данных. Существуют различные методы сбора и анализа проб, что затрудняет сравнение результатов и получение общей картины загрязнения.
- недостаток долгосрочных данных. Разовые замеры не позволяют оценить динамику загрязнения микропластиком и его влияние на морские экосистемы в долгосрочной перспективе.

Для изучения пространственного распределения микропластика в Охотском море используются различные методы, такие как: отбор проб воды и донных отложений (пробы собираются с помощью специальных сетей, фильтров и других устройств в различных точках моря), дистанционное зондирование (спутниковые снимки и аэрофотосъемка используются для выявления скоплений макропластика и оценки его распространения) [22], моделирование (разрабатываются математические модели, которые учитывают течения, ветры и другие факторы, влияющие на распространение микропластика в морской среде).

Изучение пространственного распределения микропластика в Охотском море сталкивается с рядом вызовов. Один из них – это большая площадь акватории. Охотское море входит в крупнейшие моря мира, что затрудняет проведение масштабных исследований. Также стоит отметить сложные гидрологические условия. Течения, ветры и ледовая обстановка оказывают значительное влияние на распространение микропластика, что усложняет моделирование и интерпретацию результатов. Изучение микропластика требует значительных финансовых затрат на оборудование, экспедиции и лабораторные исследования.

Несмотря на эти вызовы, существуют перспективные направления развития исследований: международное сотрудничество (объединение усилий исследовательских групп из разных стран позволит проводить более масштабные и комплексные исследования), стандартизация методов (разработка и внедрение единых протоколов сбора и анализа проб обеспечит сопоставимость данных и облегчит их интерпретацию), использование новых технологий (развитие дистанционного зондирования, автоматизированных систем сбора проб и методов анализа позволит получать более точные и обширные данные о загрязнении микропластиком).

Изучение пространственного распределения микропластика в Охотском море является важным шагом для понимания масштабов проблемы и разработки эффективных мер по ее решению. Несмотря на вызовы, с которыми сталкиваются исследователи, существуют перспективные направления развития, которые позволяют надеяться на успешное решение этой проблемы.

По полученным результатам (рисунок 13) концентрация МП варьировалась от 0 до 1,42 шт/м³ (в двух пробах частиц МП не обнаружено), преобладающий тип частиц – волокна синего цвета. Размер частиц варьировался от 206 до 1621 мкм. Самые высокие показатели микропластика были зафиксированы возле о. Парамушир, а в проливе Лаперуза МП в водной среде отсутствовал. Две станции с максимальными концентрациями микрочастиц (в юго-восточной части Охотского моря и у южной оконечности Камчатского полуострова) характеризовались также обилием органической взвеси (в связи с высокой продуктивностью моря в этом районе). Однако, среднее содержание частиц в этом районе не превышает концентрации микропластика в таких морях Арктики, как Лаптевых и Восточно-Сибирское, что говорит о невысокой степени загрязнения микропластиком региона Охотского моря. [21] Частицы типа «волокна» чаще всего являются компонентами синтетических и

полусинтетических материалов, подтверждающих их антропогенное происхождение. Наиболее вероятным источником этих частиц в морских водах являются сточные воды судов. Большое разнообразие биоресурсов и внушительные нефтегазовые запасы Охотского моря делают данный район Тихого океана регионом с развитым судоходством и активной хозяйственной деятельностью, однако нельзя исключать возможное влияние на перенос микропластика тихоокеанских течений из более загрязненных областей Тихого океана.

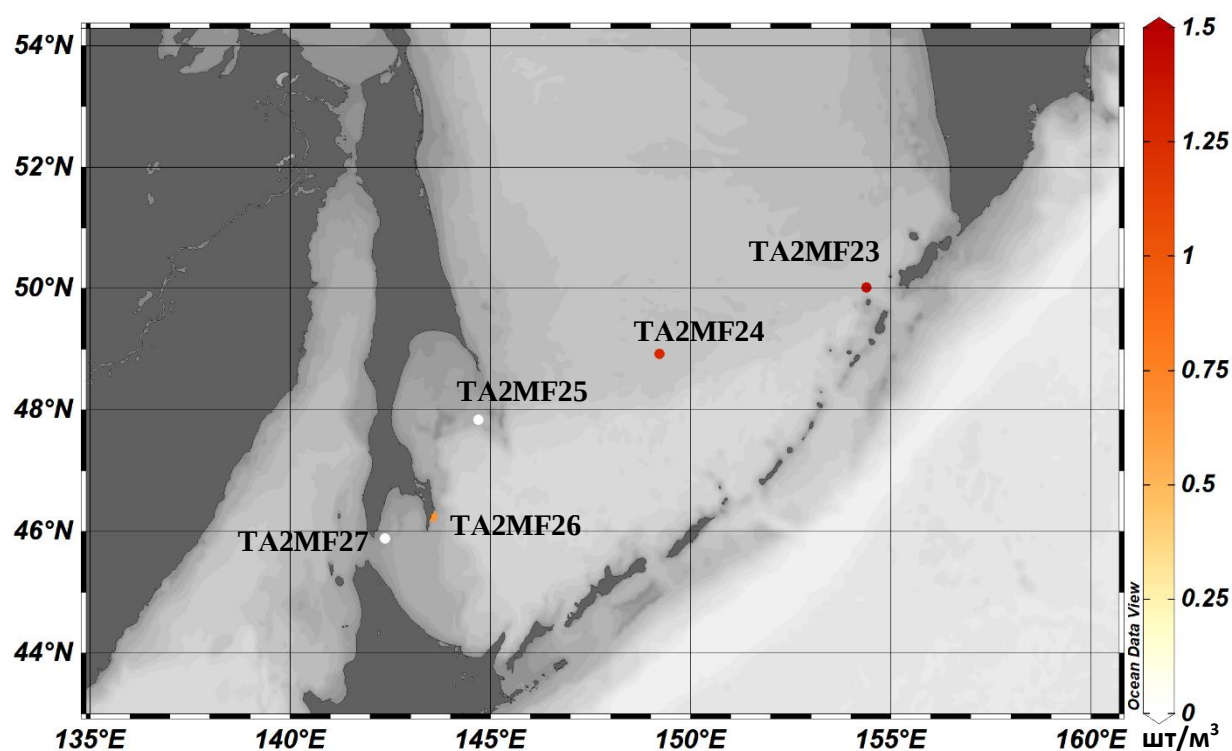


Рисунок 13. Концентрация распределения микропластика в Охотском море

Таблица 3. Найденные частицы микропластика

TA2MF23	Размер, мкм	Цвет	Тип	Сектор
1	1621	зеленый	волокно	D2
TA2MF24	Размер, мкм	Цвет	Тип	Сектор
1	531	синий	фрагмент	C4
2	438	синий	волокно	D2
TA2MF26	Размер, мкм	Цвет	Тип	Сектор
1	206	красный	волокно	

Таблица 3.1. Полученная концентрация микропластика

	Концентрация				
Проба	TA2MF23	TA2MF24	TA2MF25	TA2MF26	TA2MF27
Объем, м3	0,71	1,58	0,76	1,52	1,37
Шт	1	2	0	1	0
Шт/м3	1,42	1,27	0,00	0,66	0

Таблица 3.2. Статистические характеристики

Стандарт. отклон. конц. шт/м3
0,67
Средн. конц. шт/м3
0,67
Всего пролито, м3
5,93



Рисунок 14. Форма частиц, найденного микропластика



Рисунок 15. Цвет частиц, найденного микропластика



Рисунок 16. Размеры частиц, найденного микропластика



Рисунок 17. Пример найденной частицы в пробе TA2MF23



Рисунок 18. Пример найденной частицы в пробе TA2MF26

3.3 Циркуляция вод как возможный источник поступления микропластика в Охотское море

Большое Тихоокеанское мусорное пятно (GPGP) – крупнейшая из пяти прибрежных зон накопления пластика в Мировом океане. Он расположен на полпути между Гавайями и Калифорнией. По оценкам, ежегодно из рек в океан попадает от 1,15 до 2,41 миллиона тонн пластика. Более половины этого пластика менее плотны, чем вода, а это означает, что он не утонет, попав в море. Более прочный и плавучий пластик демонстрирует устойчивость в морской среде, что позволяет транспортировать его на большие расстояния. Они сохраняются на поверхности моря, продвигаясь к морю, переносятся сходящимися течениями и, наконец, накапливаются на участке. Попав в круговорот, эти пластики вряд ли покинут эту территорию, пока не разложатся на более мелкие микропластиковые частицы под воздействием солнца, волн и

морской жизни. Поскольку все больше и больше пластика выбрасывается в окружающую среду, концентрация микропластика в Большом Тихоокеанском мусорном пятне будет только увеличиваться. [23] Предполагаемая площадь GPGP составляет 1,6 миллиона квадратных километров. Из-за сезонной и межгодовой изменчивости ветров и течений расположение и форма GPGP постоянно меняются. В пределах участка, скорее всего, останутся только плавающие объекты, на которые преимущественно влияют течения и в меньшей степени ветер. Центр GPGP имеет наибольшую плотность, а дальнейшие границы – наименьшую. [24]

Свалки мусора, особенно Большое Тихоокеанское мусорное пятно, расположены далеко посреди океана, куда люди почти никогда не заходят. Поскольку они настолько удалены, их может быть трудно изучать. Ученым редко удастся своими глазами увидеть влияние мусорных пятен на животных. На данный момент мы знаем, что морской мусор, обнаруженный на мусорных участках, может воздействовать на дикую природу несколькими способами:

- ✚ Запутывание и призрачная рыбалка: морские обитатели могут быть пойманы и ранены или потенциально убиты определенными типами мусора. Особенно опасны потерянные рыболовные сети. На самом деле их часто называют сетями-призраками, потому что они продолжают ловить рыбу, даже несмотря на то, что они больше не находятся под контролем рыбака. Сети-призраки могут поймать или обернуть животных, опутывая их. Пластиковый мусор с петлями также может зацепиться за диких животных — например, упаковочные ремни, кольца для шести упаковок, ручки пластиковых пакетов и т.д. [25]

- 1) Проглатывание: Животные могут по ошибке съесть пластик и другой мусор, что может нанести вред здоровью рыб, морских птиц и других морских животных. Эти предметы могут занимать место в желудке, заставляя животных чувствовать себя сытыми и мешая им есть настоящую пищу.

- 2) Неместные виды: Морской мусор может переносить виды из одного места в другое. Водоросли, ракушки, крабы и другие виды могут прикрепляться к мусору и переноситься через океан. Если вид является инвазивным и может поселиться и обосноваться в новой среде, он может вытеснить местные виды или вытеснить их, нарушая экосистему. [26]

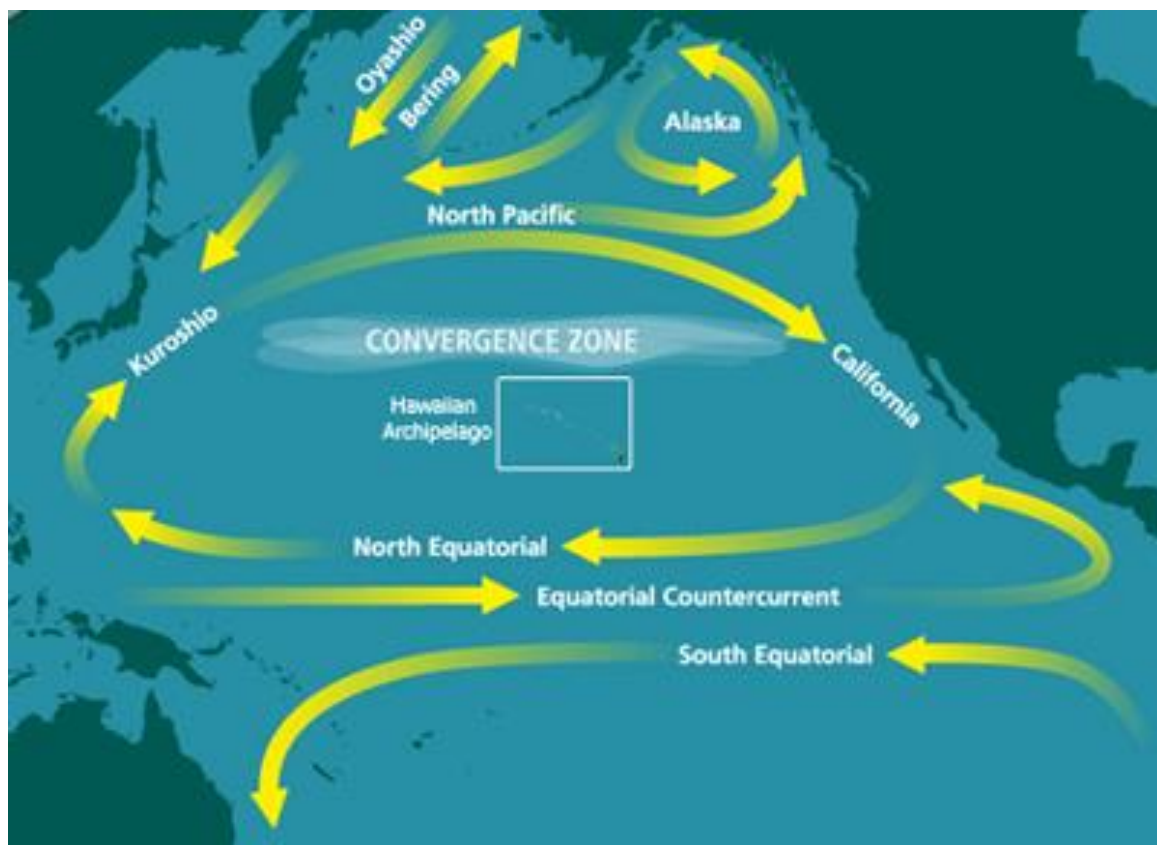


Рисунок 19. Зона расположения мусорного пятна в Тихом океане [27]

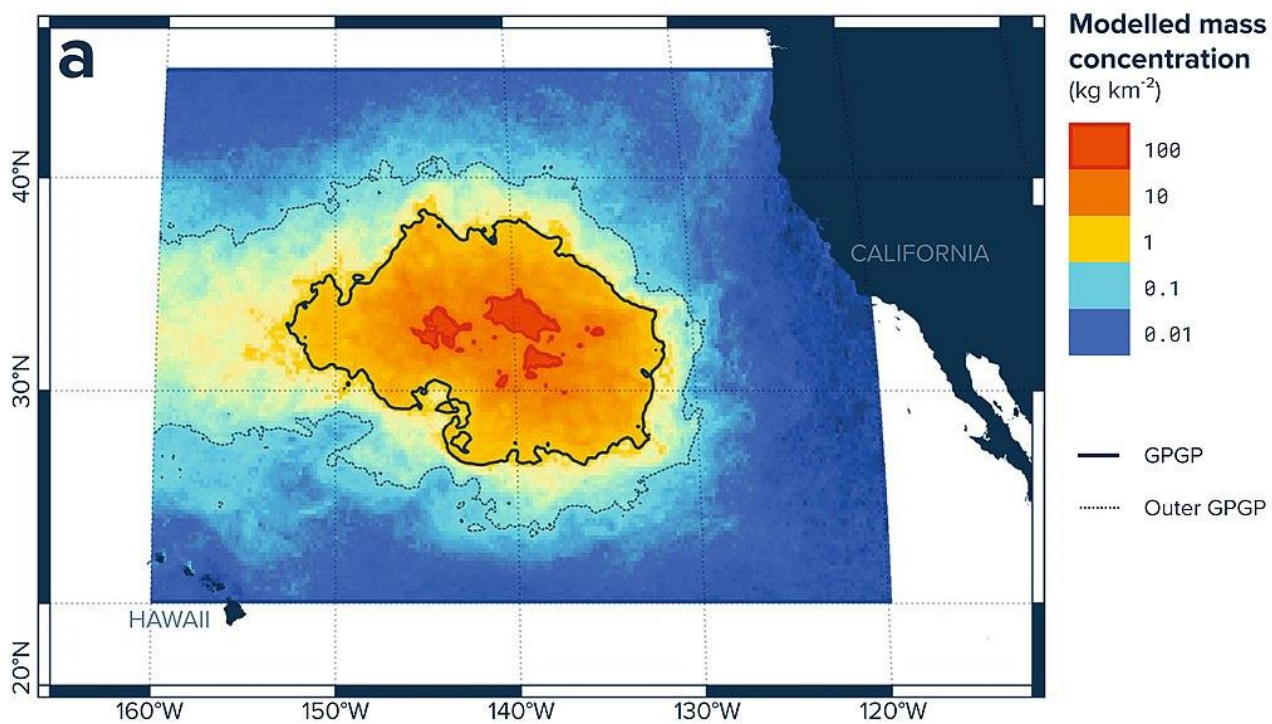


Рисунок 20. Смоделированная концентрация по размерным массам тихоокеанского пятна (август 2005), кг/км^2 [24]



Рисунок 21. Фрагмент мусорного пятна в Тихом океане [28]

Такое распределение МП можно объяснить влиянием теплого течения Кюросио, которое направлено вдоль Курильской гряды и беспрепятственно проникает в Охотское море в проливе Крузенштерна (рисунок 21).

Течение Кюросио – это крупное западное пограничное течение, контролируемое Северо-Тихоокеанским круговоротом. Оно является главным западным пограничным течением в западной части Тихого океана. Играет ключевую роль в распространении тепла от тропиков к средним широтам и на протяжении миллионов лет играл важную роль в регулировании климата Северо-Восточной Азии. Приносит теплые субтропические воды из Индо-Тихоокеанского теплого бассейна в Японию, оказывая серьезное влияние на азиатский климат. Стратиграфическое распределение показателей предполагает, что течение Кюросио достигло своей нынешней широты (35° с.ш.) примерно на 3 млн

лет тому назад, когда температура была на 1–2°C ниже. Начало более сильных межледниковых/ледниковых циклов, примерно, 1 млн лет назад было связано с усилением Северо-Тихоокеанского круговорота и интенсивности течения Куроисио. Моделирование океана и геохимические данные показывают, что течение Куроисио сохранилось как во время ледниковых, так и межледниковых периодов, однако в ледниковый период сохранение течения остается спорным. [29]

Куроисио означает «черный поток». Его «чернота» связана с тем фактом, что поток воды происходит из субтропических вод северной части Тихого океана с дефицитом питательных веществ и осадков. Течение движется на север по узкой полосе (шириной <100 км и толщиной <1 км), которая в конечном итоге заканчивается в северной части Тихого океана. [30]

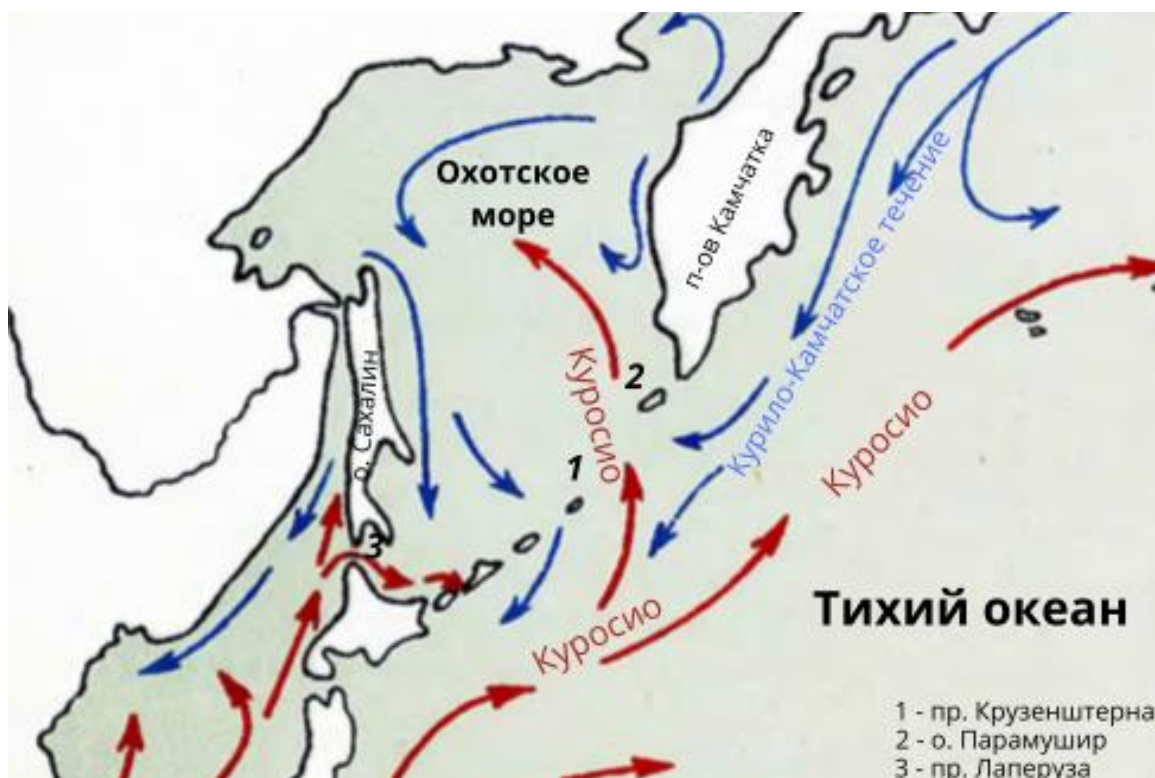


Рисунок 22. Схема течений в северо-западной части Тихого океана [31]

Несмотря на интенсивное рыболовство, в целом, среднее содержание частиц в исследованных районах Охотского моря не превышает содержание микропластика в таких морях, как море Лаптевых и Восточно-Сибирское, что говорит о невысокой степени загрязнения акватории моря. [21]

3.4 Сравнение концентрации микропластика с другими Тихоокеанскими акваториями

На станциях, находящихся в Японском море ТА2МF29 концентрация отсутствовала, в то время как на точке ТА2МF30 присутствовала одна единица микропластика – синее волокно размером 1302 мкм, а концентрация равнялась 1,072 шт/м³ (рисунок 22). Различия в значениях концентрации в разных точках западной части острова Сахалин могут быть связаны с различными факторами, такими как направление и скорость циркуляции воды, температура, соленость и прочие физико-химические параметры. [32]

Также была зафиксирована концентрация микропластика возле Авачинского залива. На станции ТА2МF22 – 5,181 шт/м³ (рисунок 23). Такие высокие показатели можно объяснить наличием вблизи крупного города – Петропавлоск-Камчатского: центра рыбохозяйственной деятельности.

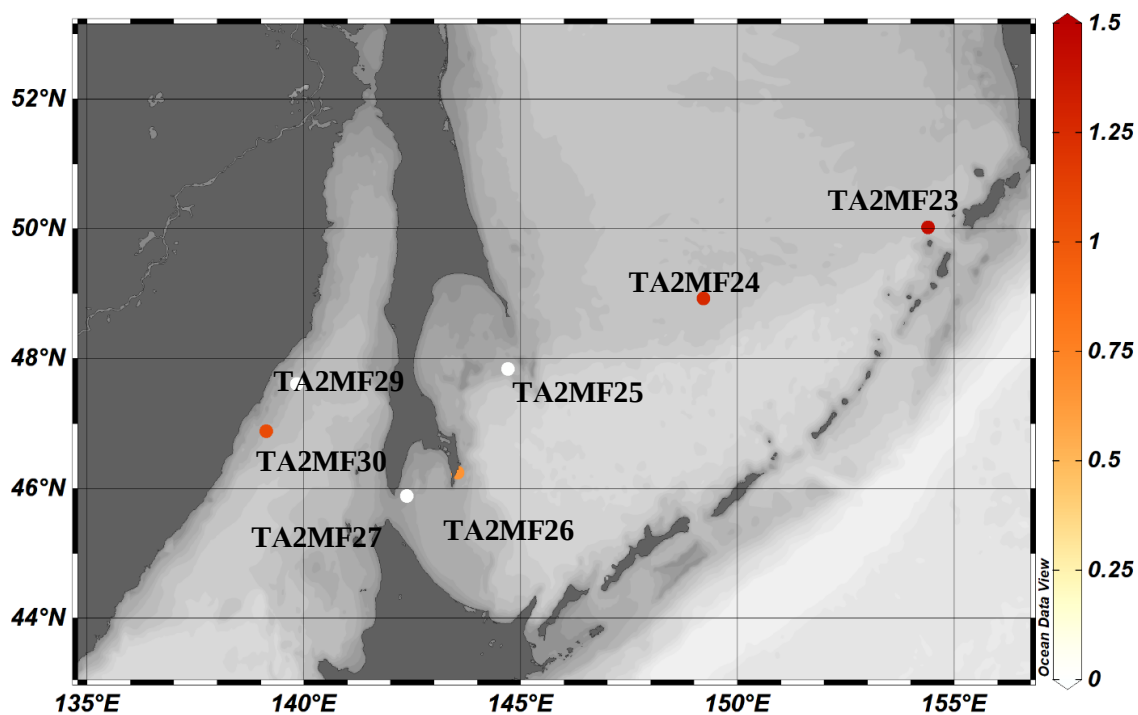


Рисунок 23. Распределение концентрации микропластика на станциях в Японском море шт/м^3

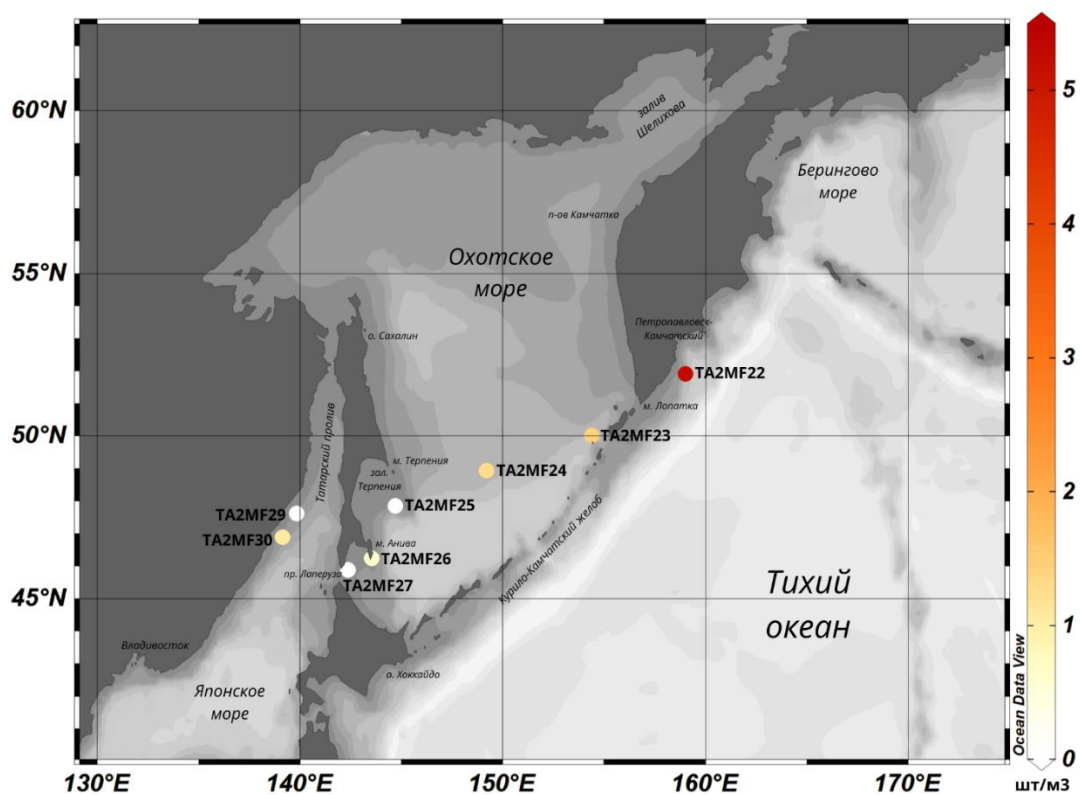


Рисунок 24. Распределение концентрации микропластика с учетом станции возле Авачинского залива

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе выполненной работы были получены следующие результаты:

1. Была выполнена обработка проб в лабораторных условиях;
2. Произведена оценка типа, размера и цвета частиц, а также получена концентрация, которая варьировалась от 0 до 1,42 шт/м³, преобладающий тип частиц – волокна синего цвета. Размер частиц варьировался от 206 до 1621 мкм;
3. Пространственное распределение по акватории показало, что самые высокие показатели микропластика были зафиксированы возле о. Парамушир, а в проливе Лаперуза микропластик в водной среде отсутствовал вовсе;
4. Анализ структур течений показал, что с восточной части Охотского моря, вдоль Курильской гряды, проходит и беспрепятственно проникает в проливе Крузенштерна течение Куроисио, которое, возможно, является источником высоких показателей концентрации микропластика. Но ввиду отсутствия данных нельзя утверждать, что река Амур не вносит свой вклад со сточными водами.
5. Сравнивая с прилегающими акваториями тихоокеанского региона можно отметить, что на станциях, находящихся в Японском море концентрация была незначительная или отсутствовала вовсе, в то время как зафиксированные показатели микропластика возле Авачинского залива превышали значения Охотского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Электронный ресурс URL: [<https://nationalatlas.ru/tom2/289-293.html>]
2. Kasai Hiromi. Subarctic Marine, Environment Department Biological. – 2007.
3. Электронный ресурс URL: [<https://geographyofrussia.com/morya-rossii-oxotskoe-more/>]
4. Электронный ресурс URL: [http://www.wdcb.ru/sep/lithosphere/Okhotsk_Sea/datab.ru.html]
5. Pavel Ushakov. Sea of Okhotsk. - 1940.
6. Электронный ресурс URL: [<http://portal.esimo.ferhri.ru/portal/portal/poi/okhot>]
7. Bubenshchikova N., Nakatsuka T. Deglacial variability in Okhotsk Sea Intermediate Water ventilation and biogeochemistry: Implications for North Pacific nutrient supply and productivity. – 2004.
8. Daisuke Simizu, Kay I. Ohshima A model simulation on the circulation in the Sea of Okhotsk and the East Sakhalin Current. – 2006.
9. Ушаков П.В. Система вертикальных зон Охотского моря // ДАН СССР. —1949.
10. Лучин В.А., Круц А.А. Характеристики водных масс Охотского моря. – 2016.
11. Израэль Ю.А., Цибань А.В. Антропогенная экология океана. Гидрометеиздат. – 1989.
12. Исаков А.Я., Касперович Е.В. О загрязнении нефтепродуктами Охотского моря. – 2007.
13. A. Leonov. Oil and Gas Development on the Sakhalin Island. Shelf: An Assessment of Changes in the Okhotsk Sea Ecosystem. – 2000.

14. Шулькин В.М., Чернова Е.Н., Христофорова Н.К. Влияние горнорудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем. – 2014.
15. Горюнова В.Б., Соколова С.А., Сторожук Н.Г. Содержание и распределение тяжелых металлов и нефтяных углеводородов в Охотском море. – 1998.
16. Tchobanoglous, George; Burton, Franklin L.; Stensel, H. David; Metcalf & Eddy. Wastewater engineering: treatment and reuse. – 2003.
17. Bogatov, Dr. S. A. Significant Radiological Problems of Russian Pacific Navy Nuclear Waste Disposal and their Solution. – 1995.
18. Николаева А.Н. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученностью Дальний Восток. Амур. – 2005.
19. Электронный ресурс URL: [<https://old.bigenc.ru/geography/text/1819205>]
20. Gill, Victoria. Plastic rubbish blights Pacific Ocean. – 2017.
21. Ершова А.А., Еремина Т.Р., Дунаев А.Л., Макеева И.Н., Татаренко Ю.А. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока // Арктика: экология и экономика. — 2021.
22. Young-Je Park, Shungudzemwoyo P. Garaba, Bruno Sainte-Rose. Detecting the Great Pacific Garbage Patch floating plastic litter using WorldView-3 satellite imagery. – 2021.
23. Qiqing Chen. Pollutants in Plastics within the North Pacific Subtropical Gyre. Environmental Science and Technology. – 2017.
24. Laurent C. M. Lebreton. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. – 2018.
25. Frias, J.; Nash, Roisin. Microplastics: Finding a consensus on the definition". Marine Pollution Bulletin. – 2019.
26. Lebreton, Laurent; Royer, Sarah-Jeanne; Peytavin, Axel; Strietman, Wouter Jan; Smeding-Zuurendonk, Ingeborg; Egger, Matthias. Industrialised fishing nations largely contribute to floating plastic pollution in the North Pacific subtropical gyre. – 2022.

- 27.L. Lebreton, B. Slat, F. Ferrari, B. Sainte-Rose, J. Aitken, R. Marthouse, S. Hajbane, S. Cunsolo, A. Schwarz, A. Levivier, K. Noble, P. Debeljak, H. Maral, R. Schoeneich-Argent, R. Brambini, and J. Reisser. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. – 2005.
- 28.Электронный ресурс URL: [<https://april.kg/ru/article/musornoe-pyatno-v-tihom-okeane-dostiglo-ogromnih-razmerov>]
- 29.Stephen J. Gallagher, Akihisa Kitamura, Yasufumi Iryu, Takuya Itaki, Itaru Koizumi & Peter W. Hoiles. The Pliocene to recent history of the Kuroshio and Tsushima Currents: a multi-proxy approach. Progress in Earth and Planetary Science. – 2015.
- 30.Koizumi I, Sakamoto T. Synchronous Td'-derived SSTs (°C) off Japan with climatic events in the northern hemisphere. – 2010.
- 31.Электронный ресурс URL: [<https://www.octe.ru/article/2.html>]
- 32.Arnold L. Gordon. Causes of ocean currents. – 2010.