

Влияние антропогенного загрязнения на водоросли-макрофиты Авачинской губы (Юго-восточная Камчатка)

Кашутин А. Н., Егорова Е. В., Кашутина И. А., Розалева Н. Л.

Камчатский государственный технический университет

Петропавловск-Камчатский, Россия

Egorova_bam@rambler.ru, kashutinaia@yandex.ru

Приводятся результаты оценки источников и степени антропогенного загрязнения Авачинской губы (юго-восточная Камчатка). Основными источниками антропогенного загрязнения акватории губы и прилегающей местности являются города и посёлки, расположенные на её берегах, а также её притоки – реки Авача и Паратунка. Отмечено хроническое загрязнение бухты: нефтепродуктами, фенолами, детергентами, солями тяжелых металлов, радиоактивными веществами. В прибрежных водах полуострова Камчатка сосредоточены самые значительные запасы бурых водорослей, главным образом представителей порядка ламинариевых, в том числе *Fucus distichus* subsp. *evanescens* и *Eualaria fistulosa*. В Авачинской губе микропопуляции некоторых видов водорослей претерпели изменения, так бурые водоросли *Eualaria fistulosa* в настоящее время встречаются только в горле Авачинской губы. По последним данным *E. fistulosa* присутствует в губе в очень малом количестве, в штормовых выбросах она присутствует единично и только в виде отдельных частей. По совокупности признаков к наиболее загрязненным, гипертрофическим участкам побережья можно отнести весь берег от сопки Никольской, бухту Раковую, куты бухт Моховая и Сероглазка, Петропавловский ковш, где практически уничтожен весь пояс фукоидов. Обращается внимание на необходимость постоянного экологического мониторинга Авачинской губы, а также проведение технологических реконструкций канализационных стоков и очистных сооружений, а также подъем затонувших судов и другого крупного металлического мусора.

Ключевые слова: Авачинская губа, окружающая среда, экологический мониторинг, источники антропогенного загрязнения, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, *Eualaria fistulosa*.

ВВЕДЕНИЕ

Рост народонаселения, интенсификация хозяйственной деятельности, появление многих отсутствующих ранее технологий в последние десятилетия неизмеримо усилили антропогенный пресс на биосферу по сравнению с его уровнем, сложившимся на протяжении всей предшествующей истории цивилизации.

Современное понимание экологической безопасности морей РФ включает комплекс фундаментальных научных знаний, высокоэффективных технологий и технических средств, действенных мероприятий и научно-обоснованных государственных решений. Этот комплекс направлен на сохранение и эффективный мониторинг продукционного потенциала и биологического разнообразия морских акваторий в условиях реальных климатических изменений, активной промышленно-хозяйственной деятельности в прибрежных зонах и на шельфе, антропогенного загрязнения прибрежных акваторий (Альтернативный маршрут..., 2010).

В одном из наиболее основательных аналитических трудов о современном состоянии окружающей среды в России утверждается, что «человечество уже живёт в разрушающемся мире в условиях всё нарастающего жестокого экологического кризиса, который превращается в кризис всей цивилизации» (Лосев и др., 1993).

Водные пространства морей и океанов – конечные вместилища для подавляющего большинства отходов. Миллионы лет в моря и океаны поступали вещества, приносимые речными водами. К измельченным горным породам и частичкам почвы, переносимым водными потоками и за счет атмосферных явлений с континентов в Мировой океан, после появления человечества присоединились продукты его жизнедеятельности. Морские экосистемы подвергаются антропогенному воздействию химических токсикантов. Среди них

выделяют нефтяные углеводороды, пестициды, радионуклиды и токсичные элементы (мышьяк, свинец, кадмий), которые негативно влияют на существование гидробионтов (Огородников, 2003; Гусарова, 2005; Ковековдова, 2006).

Не стала исключением и Авачинская губа (Юго-восточная Камчатка). На ее берегах расположены базы военно-морского флота, торгового, нефтеналивного и рыбного флотов, нефтехранилища, судоремонтные и рыбоперерабатывающие предприятия, и она многие десятилетия служит естественным приемником всех хозяйственно-бытовых и производственных стоков Петропавловско-Елизовского-Вилучинской агломерации, где проживает три четверти населения края.

В связи с усилением хозяйственного освоения территории Камчатского края в последние десять лет все больше вопросов возникает у различных органов власти и природопользователей об особенностях определения размера вреда водным биологическим ресурсам при осуществлении хозяйственной и иной деятельности. В городе Петропавловск-Камчатском 4–8 октября 2010 года на совместном выездном заседании Комитета Совета Федерации по природным ресурсам и охраны окружающей среды и Комиссии Совета Федерации по национальной морской политике рассмотрен вопрос «Об экологическом состоянии припортовых морских акваторий России и мерах по их оздоровлению».

До сих пор обобщающих факторов влияющих на экологическое состояние Авачинской губы не существует, так как до настоящего времени на акватории губы проводились только гидрохимические исследования. Однако наиболее полную и объективную картину можно получить только по совокупности данных гидрохимических и гидробиологических исследований, охватывающих как собственно водную среду, так и обитающих в ней водорослей-макрофитов.

Поскольку водоросли реагируют на токсические воздействия среды, извлекая из морской воды и концентрируя многие элементы, в том числе и токсичные, данные свойства макрофитов позволяют рекомендовать их в качестве организмов-мониторов (Shiber, 1978; Саенко, 1992). В связи с этим необходимо проведение регулярного мониторинга. Проведённый анализ научной литературы показал, что в Авачинской губе такими объектами могут служить бурые водоросли, такие как *Fucus distichus* subsp. *evanescens* и *Eualaria fistulosa*, обладающие наиболее адекватными и информативными ответными реакциями на действие антропогенного фактора. Они, как литоральные и сублиторальные организмы, в большой степени способны переносить изменения условий среды и стресс, чем виды открытого моря (Герлах, 1985). Поэтому они более резистентны к действию многих загрязняющих веществ.

Начало альгологическим исследованиям в Авачинской губе положила Вторая Камчатская, или Великая Северная экспедиция Витуса Беринга 1737–1743 годах. Специальные гидробиологические исследования стали проводиться лишь с 30-х годов прошлого века. В 1934–1939 годах изучением литорали этого района занимался сотрудник Камчатской морской станции Государственного гидрологического института Гидрометслужбы, позднее Камчатского отделения ТИНРО Н. Н. Спасский (1961). В 1982–1989 годах, бентос Авачинской бухты интенсивно изучался группой сотрудников Камчатского отдела ИБМ ДВО АН СССР и Камчатского отдела ТИГ ДВО АН СССР под руководством В. В. Ошуркова (Ошурков и др., 1989; Ошурков, 2000).

Нами в 2016–2019 годах были проведены круглогодичные наблюдения всего побережья губы, что позволило дать более полное представление о распространении бурых водорослей *F. distichus* и *E. fistulosa* в районах губы подверженных антропогенному загрязнению.

Экологические исследования Авачинской губы проводили лишь эпизодически и бессистемно, а имеющиеся данные по гидрохимическому фону, содержанию загрязняющих веществ и состоянию водного населения губы сейчас в значительной мере устарели.

Цель наших исследований – провести анализ современного экологического состояния Авачинской губы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы литературные данные и результаты собственных исследований. Методологический подход к научному и экспериментальному обоснованию исследования заключался в изучении экологической обстановки в Авачинской губе полуострова Камчатка в период с 2016 года по 2019 год. В 2019 году в Аккредитованном испытательном лабораторном центре Центра гигиены и эпидемиологии в Камчатском крае проведен контроль за соблюдением требований СанПин 2.1.5.2582-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения». Для проведения анализа произведен забор морской воды напротив Театральной площади (бухта Култучная, омывающая центральный городской пляж), куда поступают стоки Мехзавода, из озера Култучное и из одного из городских коллекторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже представлены физико-географическая характеристика Авачинской губы и сведения об антропогенном влиянии на обитателей Авачинской губы, в частности, на водоросли-макрофиты.

Физико-географическая характеристика Авачинской губы. Происхождение водоёма – вулканотектоническое – примерно 600 тыс. лет (верхнеалейское время) (Дмитриев, Ежов, 1977). Авачинская губа расположена на восточном (океанском) побережье, в южной половине Камчатского полуострова, представляет собой грубоизометричный водоём, соединённый узким (3 км) проходом в океан.

Губа почти целиком расположена на юго-восточном окончании грабенообразной впадины долины реки Авача. Побережье губы изрезано множеством удобных бухт, полуостровов, мысов, подводных и надводных скал. Берега в большинстве скалистые, либо крутосклонные, за исключением северо-западной и западной части, где в дельте рек Авача и Паратунка они низменные, песчаные или пологосклонные, как в районе бухты Крашенинникова.

Морское дно преимущественно песчаное, в центральной части чёрные илы покрывают 45 % площади дна на глубинах более 22–23 м. У городского берега илы доходят до глубин 14–21 м, что, видимо, связано с антропогенным влиянием. Коричневые илы (более 25 %) опоясывают полосой различной ширины всю бухту на глубине 5–20 м, слабо представлены у городского берега. Наибольшие площади заняты в южной части у выхода в горло и опускаются до глубины 23 м, и видимо, является результатом воздействия открытого океана. Серый ил сходный с чёрным илом, расположен на небольших глубинах 3–5 м (Чуян, 2001).

Для губы характерны неправильные полусуточные приливы с сильно выраженным суточным неравенством полных вод, имеющих небольшие колебания по высоте. Средняя продолжительность стояния полных вод около 14 ч. Одним из таких факторов, заметно влияющих на состояние уровня, является атмосферное давление, при понижении давления уровень моря повышается, а при повышении наоборот понижается. В летний период, во время прилива, поступающая из Тихого океана вода солёностью 31–32 ‰ распространяется вдоль восточного побережья губы, а по западной половине губы скатываются опреснённые до 2–5 ‰ (в июне, июле) воды эстуариев рек Паратунка, Авача и других водоемов. Суммарные течения «горла» захватывают всю толщу воды, с уменьшением максимальной скорости в придонном слое (Кашутин, 2019). Температура воды у поверхности летом 6–13 °С. Сплошной ледяной покров образуется редко, обычно он взламывается ветром и судами.

Источники загрязнения вод Авачинской губы и их влияние на бурые водоросли, в том числе *F. distichus* subsp. *evanescens*, *E. fistulosa*. Авачинская губа является естественным приемником всех хозяйственно-бытовых и производственных стоков Петропавловско-Елизовского-Вилучинской агломерации. В 2018 году в губу с вышеуказанных поселений было сброшено в общей сложности сточной, транзитной и другой воды 0,48 км³/год, и общее количество загрязняющих веществ в сточных водах относительно

2017 года возросло на 8,0 %. В 2018 году относительно данных 2017 года несколько увеличился объем нормативно-очищенных сточных вод (на 6,7 %). Связано это с увеличением сброса сточной воды от населения и абонентов КГУП «Камчатский водоканал», поступающей на канализационные очистные сооружения (КОС) «Чавыча».

В настоящее время в городе Петропавловск-Камчатский нет единой канализационной схемы, так как система канализации выполнена фрагментарно. В результате такого расположения районов водоотведения, значительная часть стоков (из 49 выпусков) вообще не поступает на очистные сооружения. Так на сегодняшний день 46,57 % хозяйственно-бытовых сточных вод города сбрасываются в водные объекты без очистки через выпуски, находящиеся в различных районах города, 53,43 % сточных вод проходят механическую и биологическую очистку.

Система водоотведения Елизовского муниципального района является децентрализованной, и водоотведение производится в изолированные системы, собирающие сточные воды отдельных предприятий, групп жилых зданий и жилых районов и через выпуски сбрасываются в реки, протекающие на территории города и пригородной зоны: реки Авача и Паратунка (табл.1). Очистке подвергается лишь небольшая часть стоков (около 10 % общего объема водоотведения из 20 выпусков).

Таблица 1

Общая характеристика стока загрязненных вод в реки Авача и реки Паратунка

Река-приемник сточных вод	Количество выпусков	Общий сброс, тыс. куб. м/год
Авача	12	3660,9
Паратунка	23	7656,1

В городе Вилючинск очистка стоков не осуществляется, водоотведение производится через три выпуска. Дренажные, талые и ливневые воды, на территории жилого района Рыбачий (Вилючинского городского округа), в централизованные сети хозяйственно-бытовой канализации не попадают, отвод осуществляется по рельефу за счет уклонов поверхности. Основными показателями канализационных сбросов в воды Авачинской губы являются: сульфат-анион (сульфаты SO₄), БПКполн, ОП-10, СПАВ, смесь моно- и диалкилфеноловых эфиров полиэтиленгликоля, нефти и нефтепродуктов. По сравнению с данными 2017 года в 2019 году произошло увеличение сбросов детергентов от 20 до 30 %, а нефти и нефтепродуктов – на 45 %.

Загрязнение нефтепродуктами. Важнейшие антропогенные источники нефтяного загрязнения Авачинской губы морские – морской транспорт, военные корабли, рыбодобывающие и суда различного назначения, трубопроводы, установки и устройства, для перекачки нефтепродуктов используемые во время бункеровки судов (Бескдид, Дурягина, 2010.).

В ряде участков побережья Авачинской губы наблюдаются относительно регулярные разливы нефтепродуктов, обусловленные спецификой производственной деятельности береговых предприятий. К этому необходимо добавить почти ежегодные аварийные залповые сбросы нефтепродуктов с разной локализацией. Наибольшее загрязнение нефтепродуктами наблюдается у северо-восточного берега в районе морского порта и нефтебаз. По остальной акватории губы нефтепродукты распределяются относительно равномерно, так приливно-отливные течения и ветер разносят их по поверхности всей губы.

С конца 70-х и до начала 90-х годов концентрация нефтепродуктов в воде оставалась примерно одинаковой и составляла в среднем 0,45–0,70 мг/л (9–14 ПДК) на поверхности и 0,30–0,70 мг/л у дна. Их максимальные значения на поверхности в этот период, без учета залповых выбросов, достигали 4,1 мг/л (82 ПДК), а у дна – 3,6 мг/л (72 ПДК). В этот период в Авачинской губе постоянно содержалось около 1000 т нефтепродуктов (Березовская, 1988).

В последние годы количество нефтепродуктов загрязняющих губу, снизилось. Максимальное значение – 3,6 ПДК было зафиксировано на выходе из Авачинской губы (придонный горизонт). Содержание растворенных нефтяных углеводородов, по сравнению с 2017 года, в целом по Авачинской губе снизилось в 2 раза и составило 1 ПДК, однако в 2018 году превысила санитарную норму в 37 % (Доклад об экологической..., 2018).

У рассматриваемого нами вида бурой водоросли *F. distichus* при малой концентрации в воде машинного масла наблюдается даже некоторая стимуляция фотосинтеза, а при тех же концентрациях дизельного топлива он снижается. Влияние нефтепродуктов на развитие макроводоросли *E. fistulosa* ещё только предстоит изучить, так как анализ литературных данных не дает полного представления о воздействии на неё углеводов.

В связи с постоянным загрязнением вод губы нефтепродуктами, пояс фукоидов городского побережья испытывает негативное воздействие нефтяных пленок. Во время отливов на отдельных участках растения *F. distichus* полностью покрыты нефтепродуктами, что хорошо видно по характерному блеску слоевища. Все это приводит к аномалиям морфологического развития (Копылов, Павлова, 1998). В тоже время *E. fistulosa* более устойчива к влиянию нефтепродуктов, но точные данные о воздействии отсутствуют.

Загрязнение фенолами. Соединения фенольной природы широко распространены в растительном мире. Фенол, как и нефтепродукты, относится к токсическим веществам с неспецифическим действием (Гапочка, 1981). У водорослей фенол кроме неспецифического воздействия проявляет некоторые элементы специфического действия. При исследовании влияния фенолов на рост морских водорослей установлено, что их токсичность зависит от уровня проявления клеточного лизиса, обусловленного денатурацией белковых соединений протеинов, входящих в состав их клеток. Как антиоксиданты они препятствуют процессам окисления и тем самым подавляют клеточное дыхание и фотосинтез водорослей. Замедление дыхания вызывает у растений снижение обмена веществ, препятствует передвижению ассимилянтов, экскреции, делению клеток и так далее. Доходя до определенного уровня, оно определяет состояние, близкое к анабиозу (Ерохин, Карнаухов, 1981). Как известно, реки выносят в губу до 29 т фенола, образующегося в основном в результате разложения животных и растительных остатков. Значительное количество фенолов попадает в губу со стоками городских канализационных вод.

С середины 70-х до начала 90-х годов концентрация фенолов в воде колебалась в широких пределах – от 0 до 0,135 мг/л. В среднем она составляла 0,010–0,020 мг/л (10–20 ПДК), как на поверхности, так и у дна. Максимальные значения на поверхности в этот период достигали 0,127 мг/л (127 ПДК), а у дна – 0,135 мг/л (135 ПДК). Средняя концентрация фенолов по всей толще воды за этот период равнялась 0,015 мг/л (15 ПДК) (Очеретяна, 2017). С начала 90-х по 2019 содержание фенолов изменялось от 0 до 0,09 мг/л (90 ПДК) при среднем значении 0,01 мг/л (10 ПДК). Наибольшее загрязнение акватории губы фенолами наблюдается в прибрежной полосе у северо-восточного берега.

Загрязнение синтетическими поверхностно-активными веществами (СПАВ). Синтетические поверхностно-активные вещества в отличие от нефти и фенолов в естественных условиях в природе не встречаются. Они стали поступать в окружающую среду с 70-х годов XX столетия.

В результате своей высокой поверхностной активности синтетические моющие вещества способны вызывать растворение белков, липидов, каротиноидов, а также диссоциацию белковых комплексов, инактивацию нефтеокисляющих и других микроорганизмов. Многие СПАВ токсичны по отношению к фито- и зоопланктону, поскольку они способны увеличивать проницаемость, клеточных мембран и включаться в белки (Вербина, 1980).

В Авачинской губе гибели макроводорослей под воздействием СПАВ не наблюдалось, поскольку их концентрации незначительно превышают ПДК. С середины 70-х годов и до настоящего времени концентрация СПАВ в воде губы колебалась от 0,0 до 0,01 мг/л. В среднем по всей толще воды она составляла 0,13 мг/л. Это не намного превышает ПДК, которая по этому поллютанту составляет 0,1 мг/л (Постановление Правительства..., 2012). В 2018 году ни в одной из отобранных проб не обнаружено нарушения критерия качества по

СПАВ. Наиболее загрязненным является участок берега, находящийся между бухтой Сероглазка и мысом Сигнальный.

Загрязнение тяжелыми металлами. В 1990–1993 годах по заказу Государственного комитета по охране окружающей среды в Камчатской области (Камчатоблкомприрода) Всероссийский научно-исследовательский институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ) провел работу по оценке состояния загрязнения акватории Авачинской губы токсичными элементами и радионуклидами (Копылов, Павлова, 1998).

Было установлено, что доля чистых, относительно чистых и слабо загрязненных грунтов составляет около 70 % обследованной территории. Остальные 30 % площади губы являются умеренно-, повышено- и высокозагрязненными. В тоже время в прибрежье и у самой верхней границы шельфа доля загрязненных грунтов достигает почти 100 %.

Наиболее загрязненные участки почти целиком располагаются в верхних отделах шельфа и характерны для районов порта, СРМЗ, бухт Раковой, Сероглазка и Завойко. Эти концентрации настолько велики, что делают практически невозможными обитание многоклеточных донных организмов.

Вопросу взаимодействия тяжелых металлов и морских макрофитов посвящено довольно много исследований, в большей части из которых водоросли-макрофиты, преимущественно фукусовые, рассматриваются как объекты мониторинга, способные улавливать изменения в содержании тяжелых металлов в различных биотипах эстуариев и прибрежных вод моря (Bryan, 1971; Fuge, 1973; Bohn, 1979).

В отечественной литературе данная проблема наиболее подробно обсуждается в обзорах и оригинальных работах К. С. Бурдина с коллегами (Бурдин, 1990), Н. К. Христофоровой (Христофорова, 1989, 2012), В. А. Березовской (Березовская, 2002).

В процессе эволюции у водорослей выработалась способность накапливать некоторые металлы в 1000–10000 раз больше по сравнению с их содержанием в воде (Bailey, Stokes, 1985).

На представителях фукусовых была показана способность обмениваться некоторыми элементами с водой даже мертвыми водорослями, что говорит о наличии как биологических, так и физико-химических механизмов концентрирования – биоаккумуляционного и биосорбционного усвоения металлов (Гавриленко, 1988).

Из всех тяжелых металлов одним из наиболее токсичных является ртуть (Hg). Не менее опасен для макрофитов свинец (Pb). О воздействии свинца на морские водоросли известно пока мало. Ряд макрофитов способен к его накоплению, не демонстрируя при этом сильных отклонений от нормы. К числу таких видов относится, например, *Fucus vesiculosus*, который накапливает до 135 мкг/г свинца.

Интоксикация фукуса медью (Cu) выражается в ингибировании их ферментативных систем. При ее концентрации 301 мкг/г от сухой массы наблюдается отмирание слоевищ у представителей фукусовых.

Цинк (Zn) в малых дозах стимулирует рост. На живые организмы Авачинской губы он, скорее всего, не оказывает сильного воздействия, поскольку из-за повышенного природного фона этого элемента (сульфидная минерализация пород, слагающих берега губы) и способности к накоплению, например, у *F. distichus* до 2207 мкг/г.

Не смотря на то, что Авачинский залив подвержен большой антропогенной нагрузке, содержание токсичных веществ не превышает ПДК, это лишний раз свидетельствует о ценности водорослей, произрастающих в районе их возможного активного лова.

Одним из источников поступления тяжелых металлов в губу являются затонувшие суда, которые негативно влияют на безопасность судоходства, на экологическую обстановку в акватории бухты и сохранение её рыбопромыслового значения. По состоянию на июль 2019 года в Авачинской губе находится более 68 корпусов кораблей, судов и их фрагментов общим весом около 220 тыс. тонн. Наибольшее количество находится в бухтах Южная, Крашенинникова, Сельдевая и акватории в районе мыса Санникова. Более того, учитывая тот факт, что полного обследования Авачинской губы никем не осуществлялось, можем предположить, что в затопленном состоянии находятся и другие неучтенные объекты

(Трямкина, Бородина, 2014).

Радиоактивность морской воды Авачинской губы. Вода Мирового океана содержит природные радиоактивные вещества, среди которых наибольшие средние концентрации имеют следующие радионуклиды, Бк/кг (в порядке снижения их удельной активности): ^{40}K – 12; ^{87}Rb – 0,14; ^{14}C – 0,052; ^{238}U – 0,037; ^{210}Po – 0,002; ^{226}Ra – 0,001.

Гидрофлора приобретает радиоактивность в основном за счет адсорбции радионуклидов из воды на покровных тканях водорослей. Дозы, влекущие за собой 50 % гибель, для водорослей – выше 80–500 Гр (Сивинцев и др., 2005).

Испытания ядерного оружия, приведшие к загрязнению морской воды техногенными радионуклидами ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$ и другими, затопление в морях отходов, не учитывали, казавшийся практически безграничным объем воды в Мировом океане и его разбавляющую способность, привели к ухудшению свойств окружающей среды.

Источниками потенциальной радиационной опасности на южном берегу Авачинской губы являются расположенные на территории ЗАТО Вилючинского городского округа - база атомных подводных лодок ВМФ России, завод по их ремонту, а также хранилище твердых и жидких радиоактивных отходов. Предполагалось, что в 2014–2015 годах накопленные отходы будут вывезены с территории края (Яблоков, 2012). На сегодняшний день информации о вывозе твердых и жидких радиоактивных отходов нет.

Анализ радиоэкологической обстановки в пунктах базирования, отстоя и обеспечения АПЛ в Дальневосточном регионе показал, что техногенные радионуклиды, эпизодически поступаая в морскую воду, локализируются в пределах внутренних акваторий и не выходят за их внешние границы. Это подтверждается результатами исследований и во втором по значимости узле сосредоточения ядерных и радиационных объектов флота в бухтах Крашенинникова и Сельдевая на полуострове Камчатка (Арутюнян, Большов, Боровой, Велихов, 2018).

Из данных, приведенных в таблице 2, следует, что вдоль береговой черты и на границах раздела акватории, которые отделяют пункт базирования и отстоя, выведенных для утилизации АПЛ от береговой технической базы и выход из бухты Крашенинникова, содержание ^{137}Cs соответствует фону (2–6 Бк/кг).

В. В. Потаповым и С. В. Мурадовым (2013), 11 декабря 2012 года были отобраны два образца поверхностных вод Авачинской губы и проанализированы в Аккредитованном испытательном лабораторном центре Центра гигиены и эпидемиологии в Камчатском крае. Проба 1 – вода из «грязной» акватории вблизи СРМЗ, проба 2 – вода из «чистой» акватории вблизи Трех Братьев, бухта ЖБФ. Результаты представлены таблице 2.

Таблица 2

Радиологические показатели проб Авачинской губы (по Потапову, Мурадову, 2013)

Определяемые показатели	Проба 1, Бк/кг	Проба 2, Бк/л	Гигиенический норматив
Суммарная альфа-активность	не опр.	0	0
Суммарная бета-активность	не опр.	0	1,0
Цезий-137	0,4	0	11,0
Цезий-134	0	0	7,2
Йод	0	0,8	6,2
Калий-40	233,17	не опр.	-
Радий-226	13,3	не опр.	-
Торий-232	2,5	не опр.	-

Анализ данных таблицы 2 показал, что определяемые показатели не превышают гигиенические нормативы.

Санитарно-микробиологическое состояние Авачинской губы. Обзор экологической изученности Авачинской губы показал, что, несмотря на важное рекреационное и рыбохозяйственное значение этого водоема, его экологические исследования проводили лишь эпизодически и бессистемно (за исключением макрофитобентоса), а имеющиеся данные по гидрохимическому фону, содержанию загрязняющих веществ и состоянию водного населения губы сейчас в значительной мере устарели. Результаты комплексных исследований КамчатНИРО в 2013 году позволили получить новые данные по сезонной динамике гидрологических, гидрохимических, гидробиологических (фито- и зоопланктон) и санитарно-микробиологических характеристик Авачинской губы (Лепская и др., 2014).

По санитарно-микробиологическим показателям наиболее неблагополучной акваторией Авачинской губы в 2013 году оказалась бухта Култучная, омывающая центральный городской пляж, куда поступают стоки Мехзавода, из озера Култучное и из одного из городских коллекторов. Именно здесь отмечена повышенная концентрация микроорганизмов, кишечной палочки и патогенов, опасных для рыб - патогена –*Pseudomonas* spp (Лепская и др., 2014).

Максимум содержания кишечной палочки приходится на весну и приурочен к прибрежным станциям, граничащим с населенными берегами. Потенциально опасный патоген *Vibrio* spp. был найден только летом и осенью и только в придонном слое. *Pseudomonas* spp., напротив, был обнаружен в основном весной, как на прибрежных станциях, так и в центральной части бухты, в поверхностных и придонных водах (рис. 1). Причины такого распределения еще предстоит выяснить (Лепская и др., 2014).

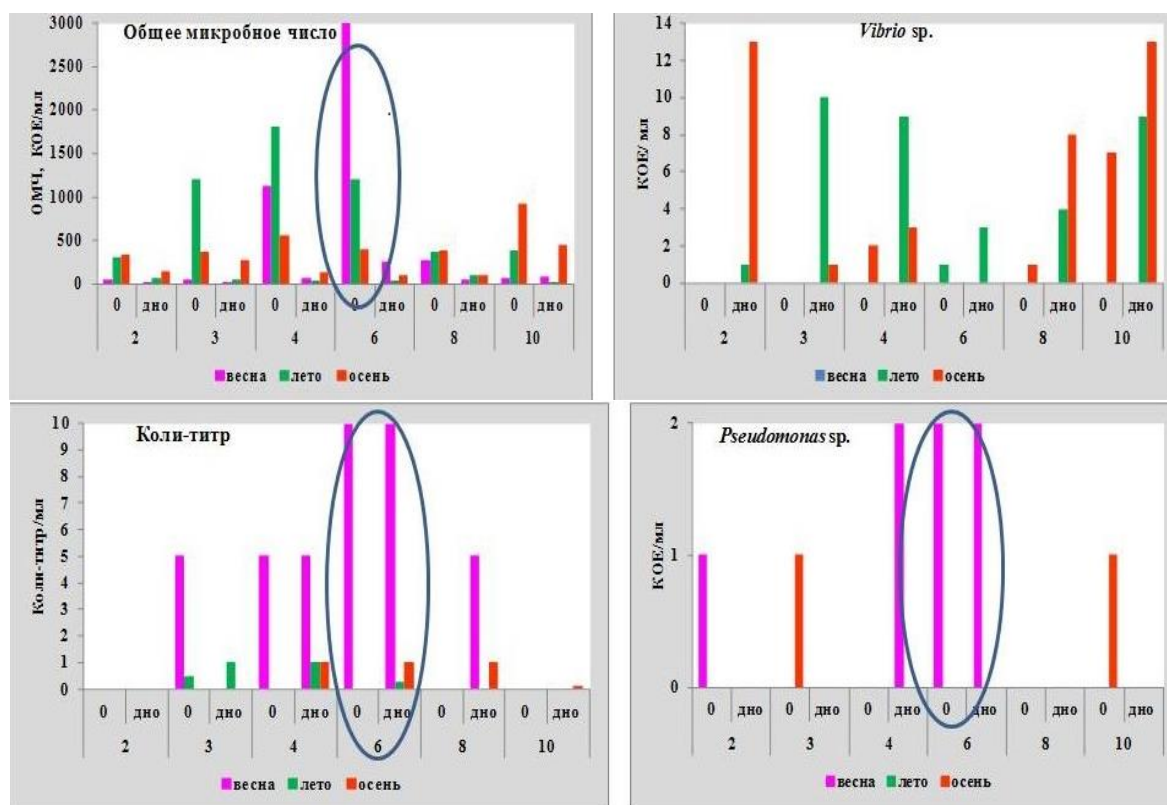


Рис. 1. Сезонная изменчивость микробиологического состояния Авачинской бухты в 2013 году

В целом по результатам исследований, можно сделать вывод, что большая часть бухты пребывает в удовлетворительном состоянии и имеет значительный потенциал для самоочищения. Но если распространить исследования на литораль и бентосные сообщества,

прибавить определение поллютантов, то картина сложится далеко не такая оптимистичная.

В 2019 году авторами в Аккредитованном испытательном лабораторном центре Центра гигиены и эпидемиологии в Камчатском крае был проведен контроль за соблюдением требований СанПин 2.1.5.2582-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения» в бухте Култучная, омывающей центральный городской пляж, куда поступают стоки СРМЗ. Из озера Култучное и из одного из городских коллекторов взяты образцы воды. Результаты молекулярно-биологических исследований прибрежной воды городского пляжа бухты Култучная представлены в таблице 3. По результатам исследований, проведенным в центре Центра гигиены и эпидемиологии в Камчатском крае в 2019 году можно сделать вывод, что определяемые показатели (РНК Rotavirus группы А, РНК Norovirus 2 генотип, РНК Astrovirus, РНК Enterovirus) в водах, омывающих центральный городской пляж, напротив Театральной площади (бухта Култучная), отсутствуют.

Таблица 3

Результаты молекулярно-биологических исследований прибрежной воды городского пляжа бухты Култучная в 2019 году

Запись в реестре	Определяемые показатели	Результаты исследования	Допустимый уровень	НД на методы исследований
Регистрационный № 87	РНК Rotavirus группы А	Не обнаружено	Не допускается	Инструкция по применению т-с «Амплисенс ОКИ – скрин-FL» МУК 4.2.2746-10
	РНК Norovirus 2 генотип	Не обнаружено	Не допускается	Инструкция по применению т-с «Амплисенс ОКИ – скрин-FL» МУК 4.2.2746-10
	РНК Astrovirus	Не обнаружено	Не допускается	Инструкция по применению т-с «Амплисенс ОКИ – скрин-FL» МУК 4.2.2746-10
	РНК Enterovirus	Не обнаружено	Не допускается	Инструкция по применению т-с «Амплисенс Enterovirus FL 4.2.2746-10

Считаем, что такие исследования в дальнейшем необходимо распространить на все учтенные и неучтенные сточные канализационные воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, следует сказать, что экологическая обстановка в Авачинской губе и прилегающим к ней районам значительно благополучнее, чем в большинстве других субъектах РФ. Однако следует отметить, что, несмотря на это, анализ размещения источников загрязнения показал следующие:

1. По санитарно-микробиологическим показателям наиболее неблагоприятной акваторией Авачинской губы в 2013 году оказалась бухта Култучная, омывающая центральный городской пляж, именно здесь была отмечена повышенная концентрация микроорганизмов, кишечной палочки и патогенов, опасных для рыб (Лепская и др., 2014) – патогена – *Pseudomonas* spp. По результатам исследований в 2019 году показатели (РНК Rotavirus группы А, РНК Norovirus 2 генотип, РНК Astrovirus, РНК Enterovirus) в водах, омывающих центральный городской пляж, напротив Театральной площади (бухта Култучная), отсутствуют;

2. Радиационная обстановка на территории Камчатского края и Авачинской губы существенно не изменяется и остается в целом удовлетворительной;

3. Анализ размещения источников загрязнения и воздействия загрязняющих веществ в восточном и юго-восточном побережье Авачинской губы показывают, что наибольшему

антропогенному воздействию подвержена литоральная зона шельфа;

4. Среди населяющих шельф гидробионтов особая роль принадлежит водорослям, так как им в этих районах принадлежит основная средообразующая и продукционная роль;

5. В Авачинской губе микропопуляции некоторых видов водорослей претерпели изменения, так бурые водоросли *Eualaria fistulosa* в настоящее время встречаются только в горле Авачинской губы, являясь видом с ограниченным распространением и мезосапробом, расположились в прибойном проточном месте. По последним альгологическим данным *Eualaria fistulosa* присутствует в Авачинской губе в очень малом количестве, в штормовых выбросах в этом районе она часто встречалась, теперь же можно найти отдельные части этой водоросли;

6. В результате постоянного воздействия загрязняющих веществ на гидробионты одни виды макрофитов претерпели адаптивные изменения и мутации, а другие – вообще исчезли из биоты;

7. По совокупности признаков к наиболее загрязненным, гипертоксичным, участкам побережья можно отнести весь берег от сопки Никольской, бухту Раковую, куты бухт Моховая и Сероглазка, Петропавловский ковш. Здесь практически уничтожен весь пояс фукоидов.

Проведенный анализ различных источников показал, что на существование экосистем бурых водорослей-макрофитов юго-восточного побережья Камчатки оказывают влияние различные биотические и абиотические факторы. Воздействие этих факторов зачастую губительно для макрофитов и оказывает на их распространение и распределение в пространстве. Являясь неотъемлемой частью природных экосистем Камчатки, макроводоросли играют важную роль в развитии природы и нуждаются в тщательном изучении и охране. Многочисленные факты свидетельствуют о сильнейшем давлении на них антропогенного фактора. Многолетние наблюдения над флорой водорослей и водными экосистемами демонстрируют высокие темпы сукцессионных процессов в водной среде. Об этом свидетельствует также высокая чувствительность многих стенотопных видов водорослей к воздействию факторов внешней среды, на чем базируется их широкое использование в качестве биологических индикаторов и тест-объектов. Особенно нуждаются в охране морские водоросли-макрофиты, являющиеся объектом промысла или страдающие в результате морской нефтедобычи.

Благодарности. Выражаем благодарность научному руководителю Ключковой Нине Григорьевне, доктору биологических наук, советнику ректора по научно-исследовательской работе и инновациям, а также Климовой Анне Валерьевне, кандидату биологических наук, заведующему сектором коллективного использования научного оборудования отдела науки и инноваций, ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» за помощь в написании статьи.

Список литературы

Альтернативный маршрут транспортирования. [Электронный ресурс] Информ. Агент. «Атомные связи». – 2010. – Режим доступа: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2010/01/18/8152> (просмотрено 19.11.2018).

Арутюнян Р. В., Большов Л. А., Боровой А. А., Велихов Е. П. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1». Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М.: 2018. – 408 с. – ил. – ISBN 978-5-9907220-5-7 (в пер.)

Березовская В. А. Гидрохимический режим Авачинской губы: автореф. дис. ... канд. географ. наук.: спец. 25.00.36 Геоэкология. – Ростов-на-Дону: УПЛ РГУ, 1988. – 25 с.

Бескдид П. П., Дурягина Е. Г. Загрязнение морской среды нефтью и нефтепродуктами // Эксплуатация морского транспорта. Новороссийск. – 2010. – № 4 (62). – С. 51–55

Вербина Н. М. Гидромикробиология. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 283 с.

Гапочка Л. Д. Об адаптации водорослей. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 80 с.

Гавриленко Е. Е. Изучение аккумуляции и токсичности некоторых тяжелых металлов у водных макрофитов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: спец. 03.00.18 Гидробиология, 03.00.12 Физиология и биохимия растений. – Новосибирск, МГУ, 1988. – 24 с.

Герлах С. А. Загрязнение морей. Диагноз и терапия. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 264 с.

Гусарова И. С., Иванова Н. В., Шапошникова Т. В. Адаптивные реакции ламинарии японской *Laminaria*

- japonica* Aresch.) к условиям хронического загрязнения среды тяжелыми металлами // Известия ТИНРО. – 2005. – Т. 143. – С. 140–148
- Дмитриев В. Д., Ежов Б. В. К вопросу о происхождении Авачинской губы // Вопросы географии Камчатки. – 1977. – Вып. 7. – С. 45–48
- Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2017 году. – Министерство природных ресурсов экологии Камчатского края. [Электронный ресурс] – Петропавловск-Камчатский, 2018. – 377 с. Режим доступа: <https://www.kamgov.ru/files/5b4fb19e396630.52633855.pdf> 20.f (просмотрено 19.04.2019).
- Ерохин В. Е., Карнаузов В. Н. Состояние энергетического аппарата макрофитов в норме и при фенольной интоксикации // Экология моря. – 1981. – Вып. 6. – С. 61–66.
- Кашутин А. Н., Климова А. В., Егорова Е. В. Физико-географические условия водного баланса Авачинской губы // Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. – 2019. – №1 (39) – С. 16–21.
- Ковековдова, Л. Т., Симоконов М. В., Кику Д. П. Токсичные элементы в промысловых гидробионтах прибрежных акваторий северо-западной части Японского моря // Вопросы рыболовства. – 2006. – Т. 7, № 1 (25). – С. 185–190
- Копылов Б. И., Павлова В. П. Экология Авачинской губы: источники загрязнения, проблемы, решения, перспективы: Сборник научных трудов по экологии и охране окружающей среды Авачинской бухты. – Петропавловск-Камчатский. – Токио, 1998. – С. 11–18.
- Клочкова Н. Г., Березовская В. А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, – 2001. – 208 с.
- Лепская Е. В., Тепнин О. Б., Коломейцев В. В. и др. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана. – 2014. – № 34. – С. 5–21
- Лосев К. С., Горшков В. Г., Кондратьев К. Я. и др. Проблемы экологии России. Russia in environmental crisis. – М., ВИНТИ, 1993. – 349 с.
- Огородников А. А., Нигматулина Л. В. Оценка антропогенного сброса в Уссурийский залив (зал. Петра Великого, Японское море) // Известия ТИНРО, – 2003. – Т. 133. – С. 256–263
- Очеретяна С. О. Видовой состав и структура альгосообществ «зеленых приливов» в Авачинской губе и устойчивость зеленых водорослей-макрофитов к неблагоприятному воздействию дисс., спец. 03.02.08. [Электронный ресурс] – 2017. <https://www.disscat.com/content/vidovoi-sostav-i-struktura-algosoobshchestv-zelenykh-prilivov-v-avachinskoi-gube-i-ustoichiv> (просмотрено 15.09.2019).
- Постановление Правительства Камчатского края от 24.10.2012 г. № 488-П [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kamgov.ru/document/frontend-document/view-пра?id=16180> (просмотрено 19.04.2019).
- Потапов В. В., Мурадов С. В., Каплина А. М. Водоросли макрофиты как концентраторы тяжелых металлов // Сборник научных трудов: «Экология Камчатки и устойчивое развитие региона». Петропавловск-Камчатский: КамГУ им. Витуса Беринга, 2013. – С. 230–233.
- Саенко Г. Н. Металлы и галогены в морских организмах. – М.: Наука, 1992. – 200 с.
- Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию: Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря («Белая книга-2000»). – М.: ИздАТ, 2005. – 624 с.
- Тряпкина Е. А., Бородина В. В. Экологические проблемы Авачинской бухты // Успехи современного естествознания. [Электронный ресурс] – 2014. – № 8. – С. 79–80. Режим доступа: <https://www.natural-sciences.ru/article/view?id=34029> (просмотрено 07.02.2018).
- Чуян Г. Н. Особенности осадконакопления в Авачинской губе // Сборник научных трудов: Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей, 2001. – Вып. 2. – С. 194–195.
- Яблоков А. В. Фукусима опаснее для России, чем думали. Сайт «Эхо Москвы». – 2012. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.echo.msk.ru/blog/yablokov/832056-echo> (просмотрено 07.02.2018).
- Bailey R. S., Stokes P. M. Evaluation of filamentous as biomonitors of metal accumulation on softwater lakes: A multivariate approach. (Aquat.Toxicol.and Hazard Assessment 7 th symp., Milwaukee, Wis.). – Philadelphia, 1985. – 177 p.
- Shiber J., Washburn E. E. Lead, mercury and certain nutrient element in *Ulva lactuca* (linnaeus) from Ras Beurut, Lebanon // Springer Nature Switzerland AG. Hydrobiologia. – 1978. – Vol. 61, № 2. – P. 187–192. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00018750>

Kashutin A. N., Egorova E. V., Kashutina I. A., Rogalyova N. L. Influence of anthropogenic pollution on macrophyte algae of Avacha Bay (Southeastern Kamchatka) // Ekosistemy. 2020. Iss. 24. P. 130–141.

The results of assessing the sources and degree of anthropogenic pollution of the Avacha Bay (southeastern Kamchatka) are presented. The main sources of anthropogenic pollution of the bay and surrounding areas are towns and villages located on its shores, as well as its tributaries - the Avacha and Paratunka rivers. The Bay is permanently polluted with petroleum products, phenols, detergents, salts of heavy metals, and radioactive substances. The coastal waters of the Kamchatka Peninsula contain the most significant reserves of brown algae, mainly represented by the kelp order, including *Fucus distichus* subsp. *evanescens* and *Eualaria fistulosa*. In the Avacha Bay, micropopulations of some species of algae underwent changes, so the brown algae *Eualaria fistulosa* is currently found only in the estuary of the Avacha Bay. According to the latest data, *E. fistulosa* is found in the Bay in very small amounts, and in storm emissions it is recorded in the form of separate individual parts. The complex of indicators proves that the most contaminated hypertoxic sections of the coast include the shoreline starting from the Nikolskaya hill, coasts of Rakovaya, Mokhovaya, Seroglazka, and Petropavlovskiy Kovsh bays, where the entire furoid belt was almost destroyed. The authors highlight the importance of regular environmental monitoring of the Avacha Bay. Much attention is given to urgency of technological reconstruction of sewage and sewage treatment plants, as well as the lifting of sunken ships and other large metal garbage.

Key words: Avacha Bay, environment, environmental monitoring, sources of anthropogenic pollution, *Fucus distichus* subsp. *evanescens*, *Eualaria fistulosa*.

Поступила в редакцию 22.05.20