

## **ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОДОЁМОВ ГУБЫ КАНДЫ, ОТДЕЛЕННОЙ ОТ БЕЛОГО МОРЯ ФИЛЬТРУЮЩЕЙ ДАМБОЙ**

Демиденко Н.А.<sup>1</sup>, Саввичев А.С.<sup>2</sup>, Савенко А.В.<sup>3</sup>

Губа Канда расположена в западной части Кандалакшского залива Белого моря, имеет длинную, извилистую форму. В губу впадает река Канда и множество ручьев. Губа Канда относится к внутренним морским водам Российской Федерации.

С началом Первой мировой войны резко активизировались работы по созданию железной дороги на Мурман. В ноябре 1914 г. были начаты изыскательские работы по всей трассе будущей дороги, которые завершились к марту 1915 г. Строительство железной дороги велось одновременно на трех участках: Петрозаводск – Сорокская губа, Сорокская губа – Кандалакша и Кандалакша – Кольский залив. Участок от Сорокской губы (ныне г. Беломорск, ранее – Сорока) до Кандалакши строился с сентября 1915 по ноябрь 1916 гг.

Строительство очень затрудняло обилие рек и ручьев. Особая проблема возникла в районе губы Канда. Здесь было решено строить фильтрующую дамбу через морское мелководье. Подобное сооружение возводилось впервые в мире. Проект разработал В.П. Ивашев, начальник строительного участка Сорокская губа – Кандалакша. В основу закладывались крупные валуны, далее по мере наращивания дамбы использовались все более мелкие валуны и камни. В результате, вода в приливы и отливы могла проходить сквозь тело дамбы. Дамба прошла через острова Кривой (другое название Темный), Крекаля и два прилегающих к ним. Для прохода мелких судов и рыбы была оставлена протока, через которую был построен однопролетный мост. Таким образом, в конце 1916 г. была нарушена свободная связь губы Канда с Белым морем [Смирнова..., 1965].

Следующие изменения произошли во время Второй мировой войны – в 1942 г., когда протока, соединяющая губу с морем, была

---

<sup>1</sup> Демиденко Н.А. – Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Москва.

<sup>2</sup> Саввичев А.С. – Институт микробиологии имени С.Н. Виноградского РАН, Москва.

<sup>3</sup> Савенко А.В. – МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, Москва.

засыпана. Связано это было с тем, что во время войны, пытаясь нарушить железнодорожное сообщение, немецкая авиация в первую очередь ожесточенно бомбила мосты. В данном случае было принято решение просто засыпать протоку, чтобы не восстанавливать поврежденный при бомбардировке мост. В результате этих инженерных мероприятий связь водных масс губы Канда с морем стала очень слабой, только при фильтрации через тело плотины. Такая изоляция привела к изменению гидрологического и гидрохимического режимов губы, ранее сходных с условиями прилегающей части Кандалакшского залива, а затем и гидробиологических условий.

В 1959 г. дамба была расширена и построен второй путь железной дороги. Гидротехнические сооружения и железная дорога приобрели свои окончательные размеры — общая длина дамбы 2,1 км, ширина 12 м, высота насыпи от 3 до 8 м [Смирнова..., 1965].

В 1972 г. под давлением «Мурманрыбвода» в теле дамбы был построен рыбоход — водопропускное сооружение. Проход сверху был покрыт двумя металлическими мостовыми пролетами, боковые стенки и дно выполнены из скальной породы. Общая длина сооружения составила 20 м, ширина 12 м, высота 4 м (на 2 м выше уровня дна прилегающей морской акватории). Водообмен Канда-губы с морем немного увеличился, и в губу снова смогли заходить морские и проходные рыбы.

При строительстве автодороги М18 «Кола» (Санкт-Петербург — Мурманск) через центральную часть губы Канда (ширина губы в этом месте 600 м) была построена еще одна фильтрующая дамба и мост (пролет 75 м). Строительство было закончено в 1968 г. Водообмен между кутовой частью и остальной губой был резко ограничен [Смирнова..., 1965]. В настоящее время утвержден проект реконструкции мостового перехода на этом участке, фактически предусматривающий строительство рядом еще одной дамбы и моста с пролетом 97 м (рис. 1).

После строительства второй дамбы водоемы губы Канда по существу превратились в каскад из двух низконапорных водохранилищ: верхнего, аккумулирующего поступающие из р. Канды пресные воды, и нижнего, из которого происходит сброс вод в море. Такие антропогенные преобразования губы, естественно, отразились на изменении ее гидрологического и гидрохимического режимов. По данным института СеврыбНИИпроект (г. Петрозаводск) [Иванов..., 1983], в 1981—1982 гг. в губе Канда уже существовала резко выраженная стратификация вод с пресноводным поверхностным слоем и заполненными соленоватой водой глубоководными застойными

зонами со значительной концентрацией растворенного сероводорода. Наибольшие изменения произошли в той части губы, которая превратилась в верхнее водохранилище.

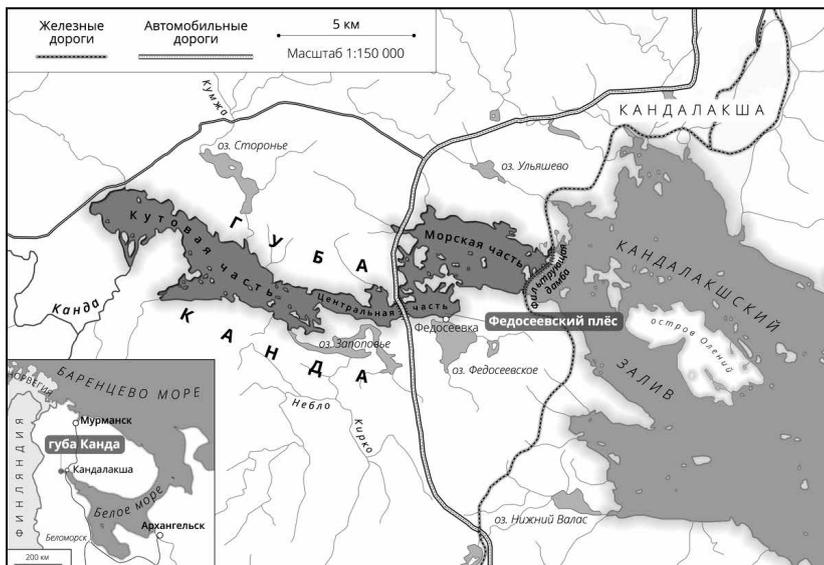


Рис. 1. Карта-схема водоемов губы Канда, дельты р. Канда и прилегающей акватории Кандалакшского залива

Таким образом, в течение последних десятилетий гидрологический режим губы Канда неоднократно изменяли. Строительство дамб многократно снизило водообмен внутри губы, между губой и морем. В настоящее время колебания уровня воды в морской части губы не превышают 0,5 м, хотя до зарегулирования здесь был выражен приливный цикл, характерный для Кандалакшского залива в целом (величина сизигийного прилива в этой части залива составляет 2,8 м). В кутовой и центральной частях губы приливный цикл почти не выражен. Нарушение водообмена приводит к застойным явлениям, которые, видимо, нарастают. Так, при первом обследовании губы в 1959 г. на ряде станций зафиксирован сильный дефицит кислорода в придонных слоях, отмечались застойные явления, но сероводородное заражение в тексте прямо не упоминалось [Смирнова..., 1965]. При повторном обследовании в 1962–1963 гг. в кутовой и центральной частях сероводород появился в наиболее глубоких местах. По данным 1978–79 гг., оказалось, что в кутовой

и центральной частях соленые воды на глубинах более 8–10 м практически лишены кислорода, а придонные слои насыщены сероводородом [Иванов..., 1985].

С целью исследования трансформации гидрологического и гидрохимического режимов, а также экологических условий морского залива, имеющего сложный рельеф дна, при его частичной или полной изоляции от моря, в июле–августе 1984 г. Государственным океанографическим институтом (ГОИНОм) [Друмева..., 1987] было выполнено экспедиционное обследование губы Канда. Основное внимание было обращено на выявление условий стратификации и перемешивания вод, а также на определение состояния застойных зон в этом водоеме.

Губа Канда – довольно глубоко вдающийся в материк небольшой фиорд, расположенный в вершине Кандалакшского залива Белого моря. Губа вытянута в широтном направлении, наибольшая длина – 22,5 км, ширина – 3 км, площадь водного зеркала – 26,0 км<sup>2</sup>. Топография губы и рельеф дна характеризуются большой сложностью. Акватория изобилует островами, узкие мелководные проливы сменяются широкими и глубокими плесами. Максимальная глубина губы составляет 22 м [Иванов..., 1985], средняя – около 6 м. Основным источником пресных вод является р. Канда, дающая до 90% всего годового стока с водосбора. Соленые воды поступают из моря во время приливов, просачиваясь через фильтрующую дамбу и перетекая в губу через проход для лодок и рыбы под насыпью. Проникновение соленых вод вглубь губы ограничено обилием мелководных проливов и автоматической дамбой.

Исходя из особенностей геоморфологии берегов, искусственных транспортных сооружений и гидролого-гидрохимического режима, акватория губы условно разделена на три части: морскую, центральную и кутовую.

В межанный период (при расходах воды в устье р. Канды около 15 м<sup>3</sup>/с) сохранялся устойчивый перепад уровня между верхним водохранилищем и Федосеевским плесом, составляющий 0,10–0,15 м. При этом происходил постоянный перелив воды через водослив разделяющей дамбы с затопленным гребнем шириной 15 м и глубиной 0,3–0,5 м. Поток пресной воды, обходя с севера Федосеевский плес, устремлялся через мелководные проливы у о. Б.Кукин в морской плес нижнего водохранилища. Горизонт уровня воды в нижнем морском плесе был на 0,5 м выше среднего уровня моря. В период прилива в Кандалакшском заливе уровень моря возвышался над уровнем морского плеса губы Канда до 0,7–0,8 м

и в водопропускном сооружении морской железнодорожной дамбы устанавливались обратные перепады уровня и течений. Поток поверхностной морской воды устремлялся в губу Канда. Такой процесс в фазу прилива в Белом море длился в среднем 3–4 ч. В течение этого промежутка времени в нижнем морском плесе наблюдался подъем уровня воды на 0,15–0,20 м, передающийся и на Федосеевский плес в виде приливных колебаний уровня величиной 0,12–0,16 м.

При прохождении дождевого паводка (расход воды в устье р. Канды достигали 100 м<sup>3</sup>/с) максимальный подъем уровня в кутовой части губы и на верхнем водохранилище составил 1,1 м, на нижнем морском плесе составил 0,7 м. В этот период установился односторонний обмен воды губы Канда с морем, так как горизонт уровня воды в период квадратурных приливов в губе Канда был больше приливного уровня воды в Кандакшском заливе. После прохождения речного паводка и понижения уровня воды в нижнем морском плесе до исходных меженных отметок приливные колебания уровня в губе Канда восстановились.

Соленость воды губы Канда изменялась в широком диапазоне: от 0,2 до 22,2‰. В поверхностном опресненном горизонте сумма ионов постепенно увеличивалась от 0,2–0,4 мг/л в кутовой части губы до 3–6‰ у морского плеса. В придонном горизонте соленость вод находилась в интервале от 13,8 до 21,9‰. Для всей губы отмечалось сильное опреснение поверхностных слоев: в центральной и кутовой частях в летний период поверхностная соленость обычно не превышала 1,8‰ и только в июле 1962 г., после очень жаркого и сухого периода, она достигала 3,6‰ [Савенко..., 2015]. В морской части губы поверхностная соленость изменялась от 2,6‰ в западной части до 6,5‰ у фильтрующей железнодорожной дамбы. В придонных слоях соленость достаточно высока, достигая 16,9‰ в отдельных глубоких участках центральной части и 26,5‰ в морской части.

Для вертикального распределения солености было характерно наличие двух основных водных масс: пресноводно-солонатоводного миксолимниона и высокосоленого мнимолимниона, разделенных между собою хемоклином. Толщина слоя опресненных вод изменялась в разных районах губы от 1 до 10 м. Эти воды обильно насыщены кислородом (80–100%), хорошо прогреваются в летний период, содержат много углекислоты и органических веществ. Летом 1963 г. опресненный слой до 4–5‰ в морской части составлял не более 2 м; в центральной части опреснение от 1,8‰ до 4‰ распространялось до четырехметровой глубины.

Ниже расположен слой мощностью 2–4 м с резким возрастанием солёности (гало– или хемоклин), обычно совпадающий с термоклином. Хемоклин характеризуется высоким (иногда до 10‰ на 1 м) градиентом солёности.

Глубже 8–10 м залегают высокосолёные воды, являющиеся в кутовой части и центральных плесах почти застойными. Последние практически лишены кислорода (вплоть до его полного отсутствия), насыщены углекислотой (от 57 до 350 мг/л) и в нижних слоях – растворённым сероводородом (до 7–8 мг/л, иногда до 11,5 мг/л). Температура в придонном горизонте оставалась низкой (3,2–4,5°C) в течение года, а в самых глубоких участках опускалась до 2,7°C. Солёность в морской части губы на глубине 4–6 м составляла 18‰, постепенно увеличиваясь ко дну до 23‰. В центральной части губы с увеличением глубины отмечалось очень резкое возрастание солёности: от 3–4‰ на глубине 4 м до 15,5‰ на глубине 10 м, достигая в самых глубоких участках 19‰ [Савенко..., 2015]. В кутовой части губы в придонном горизонте максимальная солёность наблюдалась весной (5‰) и осенью (9‰) [Галкина..., 1963]. Единственные обитатели этих вод – анаэробные бактерии. Границы между водными массами особенно резко обозначены в период летней стратификации. Осеннее и весеннее перемешивание вод приводит к частичному размыванию галоклина и осолонению нижних горизонтов миксолимниона.

В средней части губы Канда в Федосеевском плесе, отделенного от морского плеса мелководным порогом, также наблюдается двухслойная структура водной массы с пикноклином, залегающем на глубине 7–8 м. Температура воды в верхнем слое около 15°C, концентрация растворённого кислорода – 8–9 мг/л. Под пикноклином температура воды 4°C, солёность 12–14‰, количество растворённого кислорода резко падает, у дна достигая аналитического нуля. В центральной и восточной части Федосеевского плеса в придонном горизонте формируется слой с анаэробными условиями [Друмева..., 1987].

Гидрологическая съёмка, проведенная в морской части губы Канда в зимний период в конце января 2015 г., показала, что толщина льда на акватории составляла в среднем 42 см, высота снежного покрова на льду достигала 15 см. Глубины на гидрологических станциях изменялись от 8 м в западной части плеса до 17 м в центральной части у о. Крокалий. В западной части морского плеса температура воды в поверхностном горизонте, где вода практически пресная, была равной 0°C; в центральной части с повышенной солёностью поверхностных вод составляла –0,2°C [Саввичев..., 2017].

С глубиной температура воды увеличивалась, и в придонном горизонте достигала  $2,8^{\circ}\text{C}$  у западной, более мелководной, части по сравнению с  $2,3\text{--}2,5^{\circ}\text{C}$  в центральной части с глубинами 13–17 м.

Материалы для исследований получены в январе 2015 и февраля-марте 2016 г. Зондирование и отбор водных образцов осуществлялись с поверхности льда. Исследования морской и кутовой акваторий губы Канда показали, что водная толща локальных ям содержит растворенный кислород во всем слое от подлёдного горизонта и до дна, при этом признаки сероводорода отсутствуют в поверхностном слое осадка. Однако в центральной части Федосеевского плёса наблюдались все признаки меромиксии [Саввичев..., 2017].

Опресненный слой водной толщи соответствует подлёдному водному слою. Гало- и термоклин выражены слабо и находятся на глубине 9–10 м. Окислительно-восстановительный потенциал резко изменяется в пределах этого горизонта. Содержание кислорода в подлёдном слое соответствовало  $0,3$  ммоль  $\text{л}^{-1}$ , глубже концентрация  $\text{O}_2$  плавно снижалась до минимальных значений на глубине 10 м ( $0,03$  ммоль  $\text{л}^{-1}$ ) [Саввичев..., 2017]. На глубине 11 м концентрация сероводорода составляла  $0,42$  ммоль  $\text{л}^{-1}$ , а в придонном слое достигала  $1,93$  ммоль  $\text{л}^{-1}$ . Распределение тяжелых металлов по глубине [Саввичев..., 2017] контролируется двумя процессами: 1) окислением двухвалентных форм марганца и железа в миксолимнионе (от поверхности до 8 м) с образованием коллоидных частиц (главным образом, оксигидроксидов железа (III) с захваченными в результате соосаждения и сорбции другими металлами), скорость осаждения которых в слое галоклина резко снижается, приводя к возникновению локального максимума концентраций, и 2) восстановлению окисленных форм  $\text{Mn(IV)}$  и  $\text{Fe(III)}$  в зоне сульфатредукции (ниже 12 м) с образованием менее растворимых соединений, вероятно, сульфидов железа, также захватывающих в качестве примесей металлы, имеющие сродство с железом (Co, Zn, Pb и Cd) [Савенко..., 2015]. Концентрации минерального и органического фосфора (рис. 1-г) в поверхностном горизонте до глубины 8 м были минимальны ( $0,012\text{--}0,014$  мг  $\text{л}^{-1}$ ), увеличиваясь до  $0,12$  на глубине 10 м и резко возрастающая в придонных горизонтах (до  $3,8$  мг  $\text{P}_{\text{мин}} \text{л}^{-1}$  и  $0,19$  мг  $\text{P}_{\text{орг}} \text{л}^{-1}$ ) [Савенко..., 2015].

Общая численность микроорганизмов (ОЧМ) в миксолимнионе Федосеевского плёса ( $450 \cdot 10^3\text{--}650 \cdot 10^3$  кл  $\text{мл}^{-1}$ ) соответствовала значениям обычным для зимнего сезона в олиго-мезотрофных водоёмах. В слое хемоклина величина ОЧМ достигала локального максимума ( $1650 \cdot 10^3$  кл  $\text{мл}^{-1}$ ), что свойственно меромиктическим водоёмам. Результаты экспериментов с добавкой  $\text{Na}_2^{35}\text{SO}_4$  показали, что во всех

пробах сероводородной воды происходит процесс микробной сульфатредукции, суточная скорость которого (до  $3,0 \text{ мкмоль S л}^{-1} \text{ сут}^{-1}$ ) почти на 3 порядка величин ниже, чем содержание сероводорода [Саввичев..., 2017]. Из этого следует, что обнаруженные концентрации сероводорода могли образоваться не за один год, т.е. не только в текущий зимний сезон.

Концентрация растворенного метана в миксолимнионе варьировала от 19 до 29 нмоль  $\text{л}^{-1}$ , что немного превышало его содержание в атмосфере. В слое хемоклина и придонном водном слое концентрация растворённого метана достигала  $2,8\text{--}3,7 \text{ мкмоль л}^{-1}$ , характер распределения содержания указывает на поступление метана из донных отложений. Изотопный состав углерода растворенного метана из придонного водного горизонта ( $\delta^{13}\text{C} (\text{CH}_4) = -79,2\%$ ) свидетельствует о его современном микробном генезисе. При этом содержание лёгкого изотопа углерода метана в слое хемоклина было меньше, чем соответствующие величины в нижележащих горизонтах ( $\delta^{13}\text{C} (\text{CH}_4) = -70,4\%$ ). Такое изменение изотопного состава углерода метана свидетельствует об эффекте фракционирования, возникающего при микробном потреблении преимущественно легкого изотопа углерода.

Гидрологический режим губы Канда – это сложный и сжатый во времени техногенный вариант процесса отчленения от моря системы крупных озер. Большинство больших и малых озер, расположенных вблизи побережья Кандалакшского залива, по происхождению являются участками морских акваторий. Губа Канда – единственный крупный водоем, где этот процесс можно наблюдать в промежуточной стадии, когда устойчиво существуют пресноводные и морские водные массы. Этим губа Канда сходна с широко известным меромиктическим озером Могильным на о. Кильдин, что отмечают все исследователи. Если существующие тенденции изменений сохранятся, то в конечном итоге на месте губы Канда будут меромиктические и пресноводные озера. В связи с хорошо выраженным влиянием антропогенного фактора в формировании современного облика губы Канда возникла идея ее использования в качестве модели антропогенного водоема, формирующегося при отделении от моря залива, имеющего сложный рельеф дна. На примере губы Канда можно показать, в каком направлении будут трансформироваться гидрологические и экологические условия и в целом вся экосистема морского залива при его частичной или полной изоляции от моря.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 16-05-01018) и РНФ (грант 14-17-00155 и 14-37-00038 (экспедиционные исследования)).

## Литература

- [1] *Галкина Л.А., Позднякова Л.Е., Цеев Т.Я.* Губа Канда и ее обитатели // *Океанология*. 1963. т. 3. №5. — С. 898–906.
- [2] *Друмева Л.Б., Лупачев Ю.В., Лучков В.П., Маврина М.В.* Гидрологические и гидрохимические особенности губы Канда // *Химия и биология морей [Сборник статей] / Гос. океаногр. ин-т. Под ред. А.И.Симонова. — М.: Гидрометеиздат: Моск.отд-ние, 1987 (222 с. ил.). — С. 49–53.*
- [3] *Иванов Н.О., Китаев В.П., Чеченков А.В.* Особенности гидрофауны Канда-губы Белого моря // *Итоги и перспективы изучения биологических ресурсов Белого моря. — Л.: ЗИН АН СССР, 1983. — С. 37–44.*
- [4] *Саввичев А.С., Демиденко Н.А., Краснова Е.Д., Калмацкая О.В., Харчева А.И., академик РАН М.В.Иванов.* Микробные процессы в губе Канда — меромиктическом водоеме, искусственно отделенном от Белого моря. // *Доклады Академии наук. — 2017. — Т. 474, №5. — С. 637–641.*
- [5] *Савенко А.В., Демиденко Н.А., Саввичев А.С., Покровский О.С.* Распределение главных ионов и растворенных микроэлементов в меромиктических водоемах Кандакшского залива Белого моря. Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. — М.: ГЕОС, 2015. — С. 271–275.
- [6] *Смирнова Т.С.* Донная фауна губы Канда Белого моря // *Гидробиологич. журнал*. 1965. Т.1. №4. — С. 27–33.
- [7] *Юрченко С.В., Корякин А.С.* Техногенные воздействия на губу Канда, Белое море. // *Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (2–5 октября 2012 г.). — Апатиты, 2012. Ч. 2. — С. 171–173.*