

УДК 551.463/268.52 + 574.55(282.256.1)
DOI: 10.23885/2500-0640-2018-14-2-20-32

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОБСКОЙ ГУБЫ КАК НОВОЙ ОБЛАСТИ МОРСКОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

© 2018 г. Г.В. Ильин¹

Аннотация. Исследованы черты гидрологического режима и характеристики водных масс Обской губы. Этот водоем, исторически занимавший важное место в освоении ресурсов Западной Арктики, вновь становится очагом инновационного развития морского природопользования на трассе Севморпути. Обобщены данные собственных и опубликованных многолетних наблюдений за гидрологическим режимом и характеристиками этого водоема. Отражены главные гидрологические процессы, основные черты термохалинного состояния и природа вод этого водоема. Параметры гидрологического режима пространственно дифференцированы на акватории губы. В обширной южной части губы сохраняется режим, свойственный речным системам арктической зоны. Гидрологический режим меньшей, северной, части характерен для эстуария и взморья арктических шельфовых морей. Морфоструктура Обской губы является главным фактором дифференциации гидрологического режима и гидрофизических характеристик водных масс, разделяемых квазипостоянным гидрофронтом. Подводное поднятие определяет динамику вод в устье реки и тип водообмена с Карским взморьем. Эстуарная часть губы с прилегающим участком Обь-Енисейского взморья выделяется как зона гидродинамического и геохимического смешения вод и характеризуется сложной термохалинной структурой, обилием водных масс и коротко живущих гидрофронтов. В работе показаны основные типы термохалинной структуры вод и распределения гидрофизических параметров на разных участках губы, включая данные уникальных наблюдений в зимний ледовый период. Представленные результаты имеют практическую значимость для развития морехозяйственной инфраструктуры на акватории Обской и Тазовской губ и прилегающего взморья, включая промышленную, судоходную и рекреационную отрасли. Они важны также для проведения фундаментальных научно-экологических исследований в районах нефтегазовых месторождений Обской и Тазовской губ и трассы Севморпути.

Ключевые слова: Обская губа, гидрофронт, водообмен, водная масса, эстуарий, термохалинная структура.

HYDROLOGICAL CONDITIONS OF THE OB BAY AS NEW AREA OF MARITIME WILDLIFE MANAGEMENT IN THE RUSSIAN ARCTIC

G.V. Ilyin¹

Abstract. The features of oceanographic regime of the Ob Bay are investigated. This area occupies an important place in the economic history of the Western Arctic. It becomes again the centre of innovative development of sea management in the Russian Arctic regions and on the track of the Northern Sea Route. The data of own and previously published long-term observations are generalized and the hydrological parameters of water masses of this basin are presented. The main hydrologic processes and thermohaline characteristics of the waters of this basin are reflected. The hydrological mode in the Bay is spatially differentiated. In southern part of this area the mode characteristic for river systems of the Arctic zone remains. Hydrological regime of the smaller, northern part is characteristic for estuary and coastal area of the Arctic shelf seas. Morphometry of the Ob Bay is the main factor of differentiation of the hydrological mode and hydrophysical characteristics of water masses that are separated by semipermanent

¹ Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation), Российская Федерация, 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, 17, e-mail: ilyin@mmbi.info

hydrological front. Underwater lifting determines the dynamics of waters in the estuary and the type of water exchange with the Kara Sea. The estuary part of the Bay with the adjacent section of the Ob-Yenisei seaside is distinguished as a zone of hydrodynamic and geochemical mixing of waters and is characterized by a complex thermohaline structure, an abundance of water masses and short-living hydrofronts. The article shows the types of thermohaline structure of waters in the Bay and distribution of hydrophysical parameters in different parts of the Bay, including the unique observations in the winter ice period. The presented results are of practical importance for the development of a marine economic infrastructure in the Ob and Taz Bays and adjacent coastal area, including industrial, navigable and recreational branches. They are important for fundamental scientifically-ecological researches in areas of oil and gas deposits of Ob and Taz bays and the Northern Sea Route track.

Keywords: Ob Bay, hydrological front, water exchange, water body, estuary, thermohaline structure of water.

ВВЕДЕНИЕ

В стратегии современного освоения ресурсов Арктики Обская губа стала очагом инновационного развития и переустройства арктических экосистем. Благодаря географическому положению на арктическом побережье губа обеспечивает связь морских и внутриматериковых водных коммуникаций в системе Северного морского пути. В условиях новейших промышленных технологий Обская губа приобретает ключевое значение связующего географического элемента нового социально-экономического центра на арктическом побережье России.

Вовлечение акватории губы и прилегающего участка Карского моря в хозяйственную деятельность и в сферу рекреации неизбежно определяет необходимость научного исследования закономерностей природных процессов в этом бассейне как фундаментальной основы устойчивого природопользования. К настоящему времени опубликовано уже немало работ разной направленности, включая справочные материалы Росгидромета и научные анализы РАН и других ведомств. Однако в основном эти работы посвящены ограниченным участкам обширной и разноплановой акватории губы или детализации отдельных специфических процессов. Не хватает достаточно емких и целостных обобщений накопленных знаний о гидрологическом и гидрохимическом режиме Обской губы. Проводившиеся в разное время исследования часто фрагментарны, имеют ведомственную или коммерческую принадлежность и недоступны для широкого использования. Наиболее информативными и полными следует признать работы сотрудников Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) [1–4].

Цель данной работы – обобщить материалы собственных экспедиционных наблюдений и литературных источников; сформировать общее целостное представление об основных закономерностях океанографического режима Обской губы; дополнить распространенные в научной литературе данные материалами оригинальных исследований мало изученных районов губы, в том числе материалами зимних исследований, выполненных Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН (ММБИ).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для анализа использованы материалы научных публикаций, не опубликованные ранее результаты гидрологических съемок разных лет. Привлечены данные ММБИ, полученные в экспедициях 2000–2013 гг. и в ходе мониторинга, проводимого институтом по трассе Северного морского пути, в том числе в зимний период. Исследования выполнены на судах различной ведомственной принадлежности.

Все использованные в работе измерения гидрологических характеристик были осуществлены с помощью гидрологических зондов SEACAT SBE 19plus, CTD48M. Наблюдения в зимний период в прилегающем побережье Карского моря произведены с борта ледокольных судов. В условиях ледовой обстановки измерения гидрологических характеристик выполнены зондирующими системами с отрывными батитермосолонографами ХСТД и батитермографами ХВТ. Гидрометеорологические наблюдения проведены и обработаны по общепринятым методам [5–7].

Методическая часть привлеченных для анализа литературных материалов охарактеризована в соответствующих публикациях, ссылки на которые приведены в данной работе.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

Обская губа это эстуарий, замыкающий водоем бассейна реки. Устье Обской губы открывается в мелководную область шельфа Карского моря, которую называют Обь-Енисейским мелководьем (рис. 1). Весьма изменчивый гидрологический ре-

жим этой морфологически сложной акватории формируется под определяющим влиянием стока этих крупнейших сибирских рек. Изменчивость имеет выраженную цикличность, в основе которой лежат сезонный и климатический циклы.

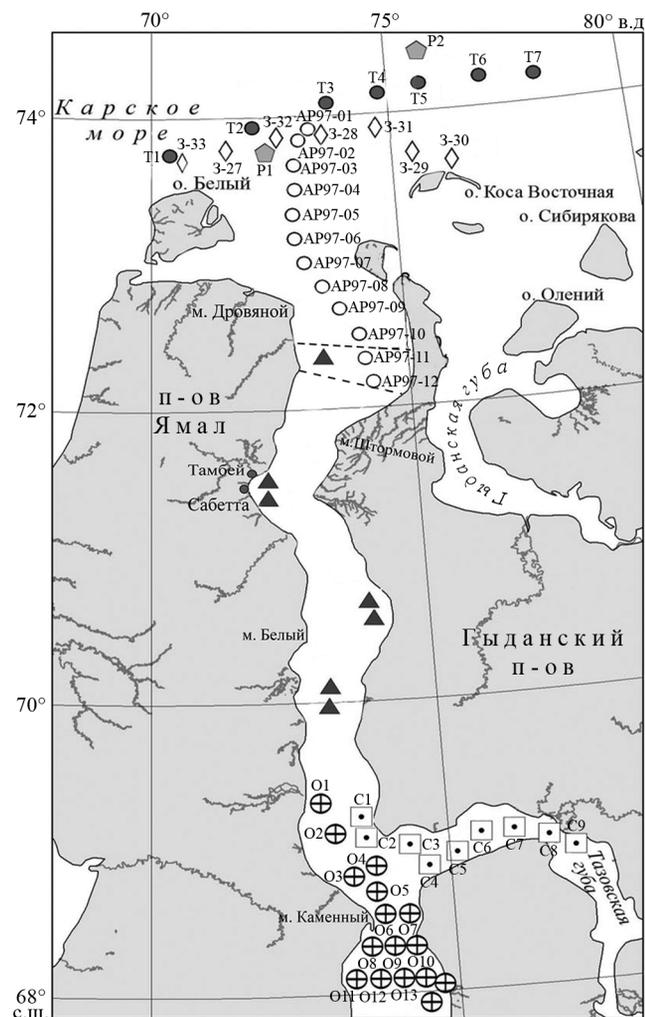
Свой современный облик Обская губа приобрела в результате голоценовой трансгрессии, когда воды Карского моря затопили русло и пойму Оби. Это крупный залив длиной около 800 км, шириной 30–90 км. Максимальная глубина не превышает 28–30 м, но на большей части акватории составляет 10–15 м [8].

Как самостоятельный водоем Обская губа функционирует в динамичном режиме двух подсистем – речной и морской. Каждая подсистема имеет свои характерные особенности, которые скрыты для детальных наблюдений после становления ледяного покрова. Ледовый период на акватории губы в среднем составляет около 9 месяцев в году.

В безледный период на гидрологический режим влияет множество природных факторов. К числу важнейших режимообразующих явлений следует отнести половодье (максимальный речной сток) и метеорологические условия – анемобарические волны, генерируемые циклоном при его движении над морской акваторией, ветры и связанные с ними нагоны и сгоны. Амплитуда сгонных и нагонных колебаний уровня воды достигает 2 м, а по некоторым данным – 3–4 м [9].

Губа отделена от Карского взморья баром примерно по 72° с.ш. Бар препятствует свободному водообмену с морем в глубинных горизонтах и продвижению плотных и соленых вод Карского моря далеко в эстуарий. Этим обеспечивается уникальность экосистемы и гидрологического режима губы. Существование квазипостоянного гидрофронта с динамично меняющимися на протяжении летне-осеннего периода характеристиками показано в работах [2; 10].

При наличии бара формируется сложная система водообмена устьевой части губы с морским бассейном. На основании анализа имеющихся данных по распределению температуры и солености [11] упрощенная схема водообмена может быть представлена следующим образом. В верхних горизонтах поток опресненных стоковых вод направлен в Карское море преимущественно вдоль восточного берега, тогда как вдоль западного берега возможна адвекция поверхностных вод из морского бассейна. В придонном слое формируются противотечения:



Условные обозначения

- зона расположения бара
- AR97-05 научно-исследовательское судно «Академик Борис Петров», сентябрь 1987 г.
- P2 атомный ледокол «Россия», март 2009 г.
- C3 э/с ООО «Арктик-Транзит», сентябрь 2012 г.
- ⊕O2 э/с ООО «Арктик-Транзит», август 2013 г.
- ▲ э/с ООО «Арктик-Транзит», август 2014 г.
- ◇Z-30 э/с «Заполярный», май 2012 г.
- T7 э/с «Талнах», февраль 2013 г.

Рис. 1. Станции океанографических исследований в экспедициях 1997–2013 гг.

Fig. 1. Location scheme of oceanographic stations in the expeditions to the Kara Sea and Ob Bay in 1997–2013.

вдоль левого, ямальского, берега в море выходят зимние эстуарные воды; вдоль правого, гыданского, берега в губе циркулируют зимние морские воды, перевалившие бар. Важную роль в гидрологическом режиме губы играют периодические интрузии соленых вод, связанные с сильными сгонными ветрами [12]. Некоторые результаты наблюдений за влиянием кратковременных погодных изменений на структуру вод в слабо защищенной от ветров северной, эстуарной, части губы описаны в работе С.А. Лапина с соавторами [10].

Область контакта речных вод и соленых вод Карского моря выражена в поле гидрологических характеристик как фронтальная зона (рис. 2). При этом наибольшее обострение градиентов солености и температуры происходит в придонном слое, где и происходит основной приток соленых и холодных вод из морского бассейна. По данным наблюдений, градиент солености на обостренных участках фронтальной зоны в меридиональном сечении составляет около 0,9 ‰ на морскую милю, градиент температуры – около 0,12 °С. На поверхности термический и солевой градиенты сглажены превалянием речного стока и наблюдаются лишь фрагментарно у берегов, что вызвано орографическими эффектами.

Положение фронтальной зоны и ее ширина динамично меняются в сезонном цикле. Этот гидрофронт делит Обскую губу на две области. Значительные различия термохалинных характеристик воды в этих частях и процессов, формирующих эти характеристики, дали основания условно обозначить их как южную, речную, и северную, эстуарную, области. Между ними выделяется некая область смешения, более всего выраженная в поле гидрохимических и гидробиологических характеристик. Эта область идентифицируется как зона наибольшей первичной продукции в Обской губе [1; 2; 4]. Привлечение для анализа дополнительных материалов, полученных в разное время, подтверждает устойчивость различий гидрологических процессов в этих частях и обоснованность дифференциации акватории губы.

В южной, речной, области гидрологический режим определяется главным образом речным стоком. Проникновение соленых морских вод ограничено водообменом через фронтальный раздел. В качестве северной границы этой области можно принять изогалину 0,5 ‰, южнее которой градиент солености практически не обнаруживается.

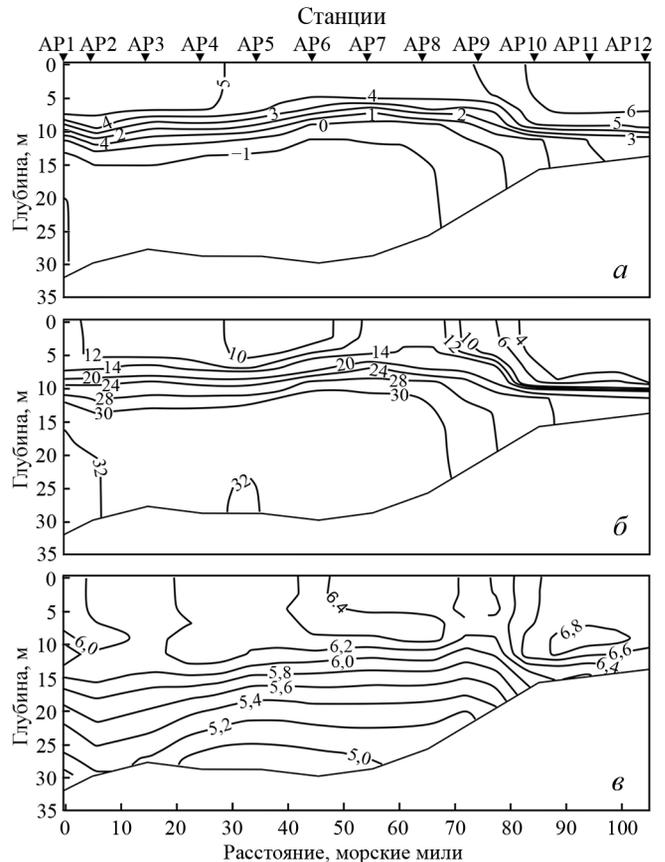


Рис. 2. Характеристики состояния воды на разрезе через взморье и устье Обской губы, сентябрь 1997 г. [11]: а – температура, °С; б – соленость, ‰; в – растворенный кислород, мл/л.

Fig. 2. Hydrological characteristics of the water on transect across the Kara coast and the estuary of Ob Bay, September 1997 [11]: а – temperature, °С; б – salinity, ‰; в – dissolved oxygen, ml/l.

Северная, эстуарная, область представляет собой часть зоны смешения пресной воды речного стока с более солеными водами разного происхождения.

Положение фронтальной зоны и ее характеристики меняются под действием ветровых нагонов и приливов. Соленость вод во фронтальной зоне варьируется в диапазоне 0,5–2 ‰. Осредненное положение границы речной области в безледный период (период открытой воды), как показано С.А. Лапиным [1–3], можно условно обозначить вдоль 71°20' с.ш. Южная граница эстуарной области проходит примерно вдоль 72° с.ш. Нашими исследованиями в целом подтверждается формирование фронтальной зоны в указанной широтной зоне.

СТРУКТУРА ВОД И ВОДНЫЕ МАССЫ

Воды южной части моря и Обской губы неоднородны по происхождению и гидрологическим характеристикам. Многослойная и мозаичная струк-

тура водной толщи формируется под влиянием переменчивой синоптической обстановки, приливов, циклического режима рек и ледовых условий. Устойчиво дифференцируются четыре крупные водные массы, которые тесно связаны между собой, но раз-

личаются по гидрологическим характеристикам и геохимическим процессам. Это воды речного плюма, полярные воды Карского моря, эстуарные воды, речные воды. Границы этих вод разделены разно-масштабными гидрофронтами.

Положение водных масс определено географически и мало меняется в пространстве [13]. Так, воды речного плюма отчетливо дифференцируются на фоне высокой солености карскоморских вод и занимают верхний слой водной толщи в устье Обской губы и прилегающей морской акватории. Северную часть губы до устья занимают эстуарные воды. Воды речного плюма и эстуарные воды имеют местное формирование. Всегда холодные и соленые полярные воды Карского моря распространяются и на Обь-Енисейском мелководье, и в Обской губе под водами речного плюма и под эстуарными водами. Обширную южную часть Обской губы занимает речная водная масса с соленостью меньше 0,5 ‰.

По наблюдениям ВНИРО, в летне-осенний сезон в эстуарии также была отмечена трехслойная структура вод, а сразу после освобождения от ледового покрова – четырехслойная структура с отрицательной, зимней, температурой воды у дна [10].

Водная масса речного плюма. Область Обь-Енисейского мелководья представляет собой область смешения, где происходят основные преобразования пресной речной воды. Образуется множество промежуточных локальных водных рингов – линз разного масштаба, которые отличаются физическими и химическими свойствами в этой части моря и летом, и зимой. Эти линзы разделены локальными гидрологическими фронтами. Их перемещения по акватории на север и северо-восток Карского моря определяются и гидрометеорологическими условиями [14].

Главным свойством этой воды является низкая соленость в летний и зимний периоды. Летом соленость варьируется от 10 ‰ у берегов до 15 ‰ в удалении от берега. Зимой, по наблюдениям ММБИ, соленость вод повышается до 15–25 ‰, а ареал их распространения сокращается до узкой полосы вдоль береговой линии вследствие сокращения речного стока. Воды речного плюма разной степени переработки показаны на рисунке 2, станции АР1–АР8. При устойчивой стратификации вод поток пресных вод речного плюма движется по четко выраженной галоклине.

Зимняя полярная водная масса Карского моря. Эта вода сформирована в Карском море

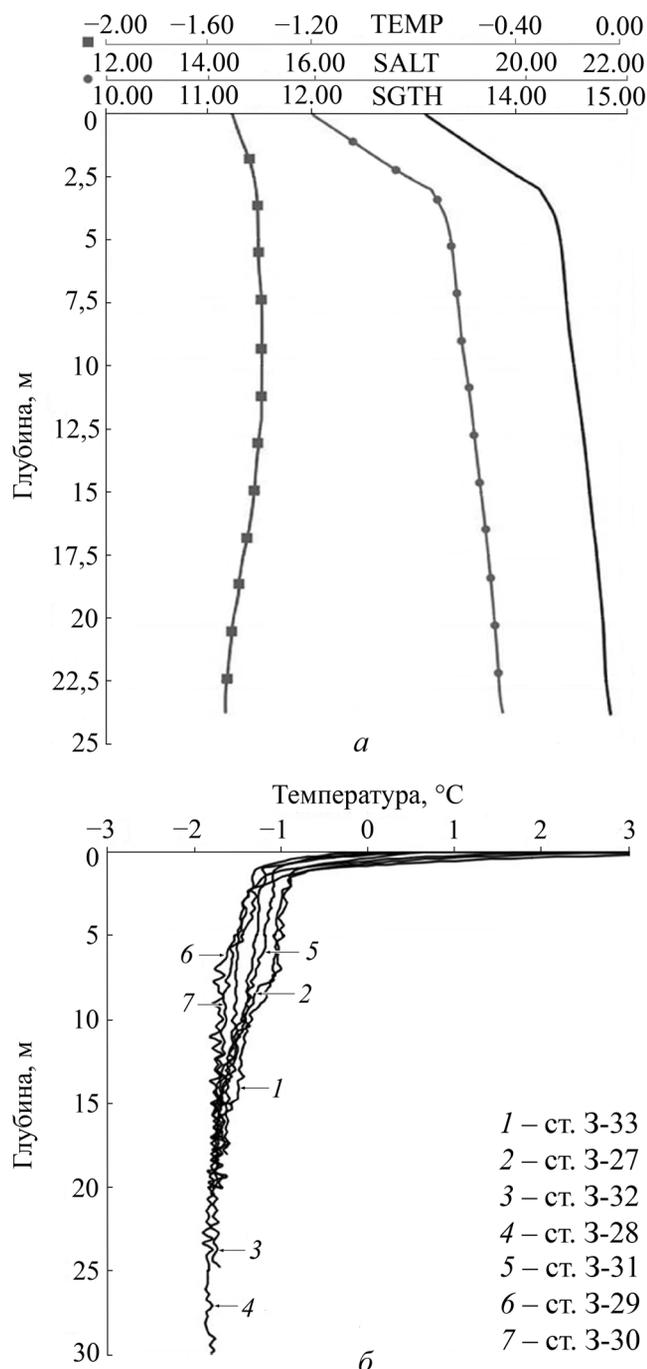


Рис. 3. Профиль температуры воды на Обь-Енисейском мелководье: *a* – в зимний период (март 2009 г., станция P-2); *б* – в весенний период (май 2012 г., станции 3-27–3-33) (база данных ММБИ).

Fig. 3. The temperature profile of water on the Ob-Yenisei shallow waters: *a* – winter (March 2009, station P-2); *б* – spring (May 2012, stations 3-27–3-33) (database from MMBI).

в зимний период. Как правило, зимняя полярная вода отмечается в глубинных горизонтах, глубже 12–30 м, и у дна. Это плотная холодная вода с отрицательной температурой до $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и соленостью до 33 ‰. Полярная зимняя вода Карского моря распространена во всей южной части моря, в том числе в северной части обского эстуария. Ее свободное поступление вглубь Обской губы сдерживается баром, который она преодолевает зимой и при ветровых нагонах. Гидрологическая структура вод южной части Карского моря и эстуария Обской губы показана на рисунках 2–3. Вертикальную структуру водной толщи составляют два слоя.

В области Обь-Есейского мелководья основой верхнего слоя является водная масса речного плюма. Нижний слой заполняют зимние полярные воды моря. Два слоя разделены термоклином и галоклином, совпадающими по глубине залегания от 5 до 15 м и упирающимися в дно на склонах бара. Это свидетельствует о затруднениях интрузии морских вод в южную часть губы без участия анемобарических, ветровых и приливных волн.

Основной гидрологический фронт формируется перед баром в устье губы. Фронт отделяет речную воду с соленостью меньше 3 ‰ от прибрежной смешанной воды с соленостью 10–12 ‰. Градиенты температуры и солености в зоне фронта равны $0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ на морскую милю и $0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ на милю соответственно. Фронт является также границей раздела между двумя типами стратификации.

К северу от фронтальной зоны верхний слой относительно теплый, с температурой $4\text{--}5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, и осолоненный до 10–12 ‰. Это воды речного плюма – смешанная вода стока Оби, атмосферных осадков и соленой поверхностной воды Карского моря. Эту воду в некоторых литературных источниках также определяют как трансформированную воду эстуария Оби. Толщина этого слоя имеет 5–8 м.

В период летней межени, при минимальном стоке реки соленость в пределах речного плюма повышается, однако вертикальная структура водной толщи не изменяется.

Южнее основного фронта в зоне эстуария водная толща почти целиком составлена относительно теплой эстуарной водой Оби с температурой выше $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и соленостью $2,3\text{--}3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В научной литературе можно встретить иное название этой водной массы – метеорическая вода, – данное из-за значимого влияния атмосферных осадков [11].

У дна этот слой эстуарных вод подстилается тонким слоем осолоненных и охлажденных вод с соле-

ностью до 21 ‰ и температурой около $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вода в этом слое была сформирована весной в устье Оби из полярной зимней воды во время таяния морского льда – трансформированная полярная зимняя вода Карского моря.

Эстуарная водная масса. Эстуарная водная масса занимает северную часть Обской губы, севернее 72° с.ш. Границы водной массы подвижны и зависят от сезонных изменений объема речного стока, но главным образом – от ветрового поля. На рисунке 2 показано, что положение эстуарной водной массы ограничивается с севера локальным термохалинным фронтом между станциями АР9–АР10. Водная масса формируется здесь же в результате взаимодействия между речными и морскими водами. Водная толща в области эстуария хорошо стратифицирована по глубине. Однако для экватории характерна термохалинная неоднородность слоев, возникающая при перемешивании вод по типу волновых интрузий, что хорошо отображено на рисунке. Таким образом, эстуарная зона имеет многослойную структуру водной толщи. Собственно эстуарную воду можно идентифицировать как массу верхнего и промежуточного слоев, в которых и происходит формирование характеристик эстуарной водной массы.

Летом соленость этой воды обычно выше 1 ‰, но не превышает 10 ‰. Самая высокая температура составляет около $13\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эта вода с высокой концентрацией силикатов ($100\text{--}150\text{ }\mu\text{M}$) насыщена кислородом на 90–95 % [2]. Поток этой пресной или слегка осолоненной воды движется к устью, скользя по хорошо сформированному галоклину. По наблюдениям ВНИРО, градиенты солености в слое галоклина могут достигать 8 ‰ на метр [3]. Продолжительность существования поверхностных летних эстуарных вод до их дальнейшей трансформации составляет несколько недель. Эстуарная водная масса разгружается через устье Обской губы в прибрежье Карского моря и участвует в образовании вод речного плюма [2; 14].

Под слоем плюма расположены промежуточные эстуарные воды, в которых чередуются тонкие слои эстуарных вод различной степени смешения. Свойства промежуточных вод сформированы в различное время в результате смешивания речных вод и прибрежных вод морского бассейна.

Слой придонных вод по своему генезису относится к холодным зимним полярным водам Карского моря, частично трансформированным при таянии морского льда в устье Оби. Эстуарная при-

надлежность этого слоя вод определяется только их местоположением в области эстуария Обской губы. Эти воды поступают в губу с севера вдоль западного берега из Красного моря. В конце лета у дна возможно наблюдать линзы воды с положительной температурой до 5 °С и низкой соленостью в 10–20 ‰ как результат длительной трансформации эстуарных промежуточных вод на отдельных участках губы [15].

Летом придонные воды обычно характеризуются высоким содержанием биогенных веществ и низкой концентрацией кислорода. В зимний период придонные воды хорошо аэрированы. Осенью с уменьшением объема речного стока возрастает роль сгонно-нагонных процессов. В конечном итоге это приводит к высокой степени перемешивания вод в губе [6; 10].

Речные воды. Речные воды занимают южную часть Обской губы. Главные критерии определения речной водной массы – низкая минерализация (меньше чем 1 г/л) и типичный для арктических рек ионный состав. Для динамики вод в речной части губы в летний период обильного стока характерна струйность течения и полная перемешанность всей толщи воды. Осенью с уменьшением объема стока исчезает эффект струйного потока [2; 3]. Анализ карт распределения температуры и солености [2] показывает, что при практически гомогенной минерализации резко изменяется структура термического поля. Изотермы, ранее меридионально ориентированные, замыкаются в обособленные ячеи, что соответствует, по-видимому, образованию локальных круговоротов, поддерживаемых местными факторами – орографией дна и берегов, флуктуациями ветров. Однако температурные различия в образующихся рингах незначительны и не превышают 0,5 °С.

Температура, химические и биологические свойства речной воды изменяются во время ежегодного цикла. Сезонная изменчивость гидрологических характеристик этого типа вод значительна. Самая высокая минерализация вод наступают в конце зимы. Минимальные значения этих параметров наблюдаются во время весеннего паводка. Необходимо различать летнюю и зимнюю разновидности речной водной массы. В зимний период у дна формируются так называемые застойные зимние воды. Самые плотные водные массы накапливаются и застаиваются в понижениях дна. Они характеризуются глубоким дефицитом рас-

творенного кислорода (гипоксия) [2; 11]. Происхождение застойных вод связано с ослаблением вертикальной конвекции при замерзании пресной воды.

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ

Большую часть года Обская губа покрыта льдом. Осенью, после устойчивого перехода температуры воздуха к отрицательным значениям, охлаждение воды в Обской губе идет очень интенсивно. В результате этого образуются первичные формы льда. В южной части губы процесс формирования ледяного покрова начинается в первых числах октября и завершается в первой декаде ноября. В средней части губы образование прибрежного льда происходит в первой половине ноября, а сплошное замерзание растягивается до конца декабря. У границ эстуарной зоны сплошной ледяной покров устанавливается только в январе. В устьевой части Обской губы ледяной покров, как правило, не бывает сплошным вследствие взаимодействия с морским бассейном – течения, солевые интрузии, нагоны, ветровой дрейф льдов.

Разрушение ледяного покрова под влиянием солнечной радиации и увеличения объема паводковых вод начинается в южной части Обской губы в мае. Средняя скорость продвижения волны вскрытия ледяного покрова уменьшается в направлении к северу от 49,6 км/сутки у мыса Каменного до 43,2 км/сутки у о. Белого. В июне начинается вскрытие акватории губы под действием ветрового волнения. С этого времени разрушение припая происходит как на юге, так и на севере Обской губы. Полное очищение дельты Оби ото льда обычно наблюдается в начале июня, а устья Обской губы – в конце июля – начале августа. Таким образом, приход гидрологической и биологической весны растягивается по акватории губы на месяц и более [16].

На участке открытого моря лед дрейфующий. У берегов и между островами образуется припай. Между дрейфующими ледовыми полями и массивом припайного льда периодически образуется участок открытой воды – так называемая Обь-Енисейская заприпайная полынья, существование которой поддерживается системой ветров, отжимающих дрейфующий лед от побережья. Обь-Енисейская полынья имеет характер квазипостоянного гидрологического явления.

ТЕРМОХАЛИННЫЙ РЕЖИМ

Главенствующая роль в формировании пространственно-временной изменчивости термохалинного состояния вод Обской губы и побережья Карского моря принадлежит флуктуациям поступления речных вод. В зимние месяцы температура воды на акватории Обской губы и Обь-Енисейского мелководья подо льдом и в полынье близка к температуре замерзания морской воды и составляет от $-1,6$ до $-1,8$ °С. Водная толща хорошо перемешана и представляет собой практически гомогенный слой. Речной плум оказывает влияние на термохалинную характеристику воды лишь в тонком верхнем слое до 3 м. На рисунке 3а приведен характерный для зимнего периода STD-профиль водной толщи в заприпайной полынье по наблюдениям, выполненным в

марте 2009 г. с атомного ледокола «Россия» (экспедиция ММБИ).

Уже в конце мая – начале июня на характеристику прибрежных вод ощутимо влияет весенний сток Оби. Воды речного стока растекаются тонким слоем поверх холодных, соленых и плотных зимних вод Карского моря, не проникая вглубь водной толщи. Слой, который образуют эти воды, составляет 2–3 м. Термическая структура вод на мелководье в этот период, как показано на рисунке 3б, в поверхностном слое определяется тепловым стоком Оби. Температура воды принимает положительные значения, не характерные для морской водной массы, тем самым запускается процесс разрушения ледового покрова в устье губы и на мелководье.

Речные воды на $4-4,5$ °С теплее подстилающего их слоя, что образует острую градиентную зону устойчивости у самой поверхности воды. Ниже это-

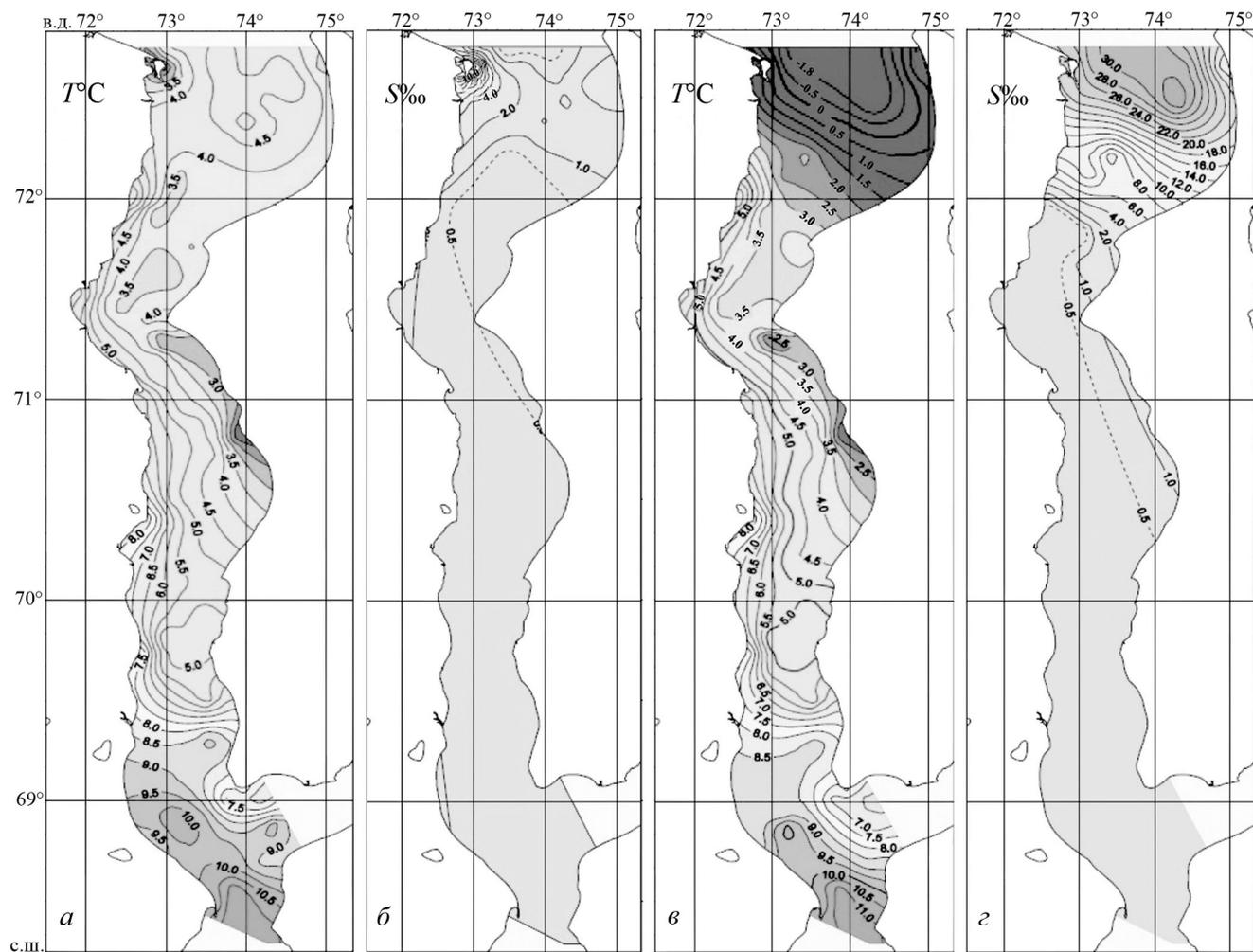


Рис. 4. Распределение температуры ($T^{\circ}\text{C}$) и солёности ($S\text{‰}$) в летний (половодный) период в поверхностном (а, б) и придонном (в, з) слоях воды [2].

Fig. 4. Distribution of temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and salinity ($S\text{‰}$) in summer (flood waters) in the surface (a, б) and bottom (в, з) layers of water [2].

го тонкого поверхностного слоя сохраняются зимние термохалинные показатели холодных ($-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высоко соленых (до 33 ‰) вод.

Летняя гидрологическая характеристика прибрежных морских вод близ устья губы показана на рисунке 2. Верхний слой речного плюма после весеннего половодья оказывается распресненным до 10–15 ‰ и прогретым под воздействием инсоляции до 4,5–6 °C. Очевидно, что соленость верхнего слоя и его толщина могут изменяться в течение безледного периода в зависимости от притока речных вод из Обской губы. В конце лета, в период летней межени, толщина этого слоя составляет около 10 м. Термохалинные характеристики глубинного слоя воды ниже пикноклина остаются на уровне зимних показателей – температура воды около $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, соленость выше 33 ‰.

В Обской губе после очищения акватории ото льда водная среда характеризуется многообразием термохалинных условий на различных участках губы. В работах С.А. Лапина [1; 2] показано, что в период высокого стока температура воды снижается от вершины губы к морскому устью (рис. 4). В то же время существуют температурные разли-

чия и в поперечном сечении Обской губы, которые определены рельефом дна и положением основного, струйного потока речных вод.

Вдоль западного, ямальского, берега, где проходит струйное течение, вода имеет более высокую температуру и более низкую минерализацию. У восточного берега температура воды понижена на 1,5–3 °C из-за слабого гидродинамического перемешивания.

С Обской губой в центральной части у восточного побережья соединяется Тазовская губа. Обе губы рассматривают как единую водную систему – Обь-Тазовская устьевая область [17].

Вода Таза менее прогрета, чем воды Оби. Влияние теплового стока р. Таз отмечено на рисунке 4 участком понижения температуры воды на 2–2,5 °C на участке слияния рек. Дальше стоки Оби и Таза перемешиваются. Профили температуры воды, характерные для района смешения вод Оби и Таза, представлены на рисунке 5.

Соленость поверхностных вод вдоль всей речной части меньше 0,5 ‰, за исключением участка восточного побережья (рис. 4а, б), где выражено влияние интрузионного водообмена с эстуарием. Поступление зимних придонных вод вдоль восточного, гыданского, берега вызывает понижение температуры у дна на участке на 1,5–2 °C и повышение солености до 1–1,5 ‰ (рис. 4в, г).

В эстуарной части губы, севернее 72° с.ш., термохалинные различия речных и эстуарных вод резко обостряются и максимально проявляются в глубинном слое ниже пикноклина. Быстрое снижение температуры и рост солености вод превращают эстуарную часть губы в зону высоких градиентов.

Полого залегающий пикноклин на этом участке служит подстилающей поверхностью для потока речных вод. Ниже пикноклина параметр вертикальной стратификации n (отношение разницы придонной и поверхностной солености воды к ее среднему значению) составляет около двух единиц, что соответствует высокой устойчивости вод к динамическому вертикальному перемешиванию [3].

По наблюдениям ВНИРО, даже после штормовых ветров северных румбов (15–17 м/с), по данным зондирования, изменения вертикальной структуры незначительны при кратковременном (около 20 часов) воздействии. Трехслойный профиль водной толщи (осолоненный речной поток, слой скачка и подстилающий слой тяжелых карских вод) устойчиво сохраняется [10]. Однако насколько устойчива стратификация даже при сильном гало-

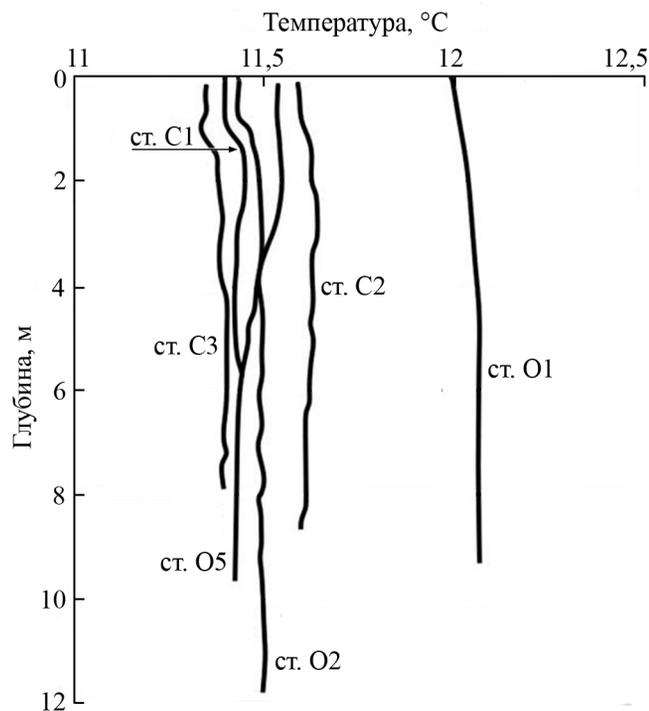


Рис. 5. Температурный профиль водной толщи в районе смешения речных вод Оби и Таза, август – сентябрь 2012 г. (база данных ММБИ). Расположение станций указано на рисунке 1.
Fig. 5. The temperature profile in the mixing water of the Ob and Taz rivers, August – September 2012 (database from MMBI). Location of stations is shown on Fig. 1.

клине (8 ‰ на метр) в условиях длительных ветров и небольших глубин, до настоящего времени не исследовано. Очевиден нагон карских вод в обский эстуарий и их интрузия через бар и гидрофронт в речную часть губы. По-видимому, это и поддерживает существование промежуточной зоны смешения и обеспечивает приток биогенов и высокий уровень первичной продукции в ней, как это отмечено в работах ВНИРО [3; 4].

К осени в речной части губы практически размывается зимний холодный слой вод. В период осенней межени струйные течения в губе ослабевают. В этот период в речной части губы важную роль в формировании поля температуры играют локальные факторы – притоки, рельеф дна и берегов Обской губы (рис. 6). Под воздействием этих факторов распределение температуры воды на акватории приобретает мозаичный характер, но становится идентичным от поверхности до дна, что

хорошо отражено в температурных профилях района Обь-Тазовской губы по нашим данным (рис. 5) и особенно на картах распределения температуры (рис. 6) [1; 3].

Как показывает анализ этих карт, структура термического поля в период осенней межени трансформируется. Изотермы изменяют меридионально вытянутую ориентацию на ячеистую, замкнутую, отображающую наличие множества мелких рингов. Различия температуры воды в рингах при этом очень малы. В поле солёности с наступлением осенней межени значимые изменения не отмечены.

В целом температура варьируется от 2,5 до 3 °С. На перекатах (возвышенностях донного рельефа) вода прогревается на 0,5 °С выше, чем в приглубных участках. Минерализация речных вод практически не изменяется по сравнению с летним периодом. Однако граница эстуарной зоны – гидрологический фронт – смещается южнее 72° с.ш. Выходной по-

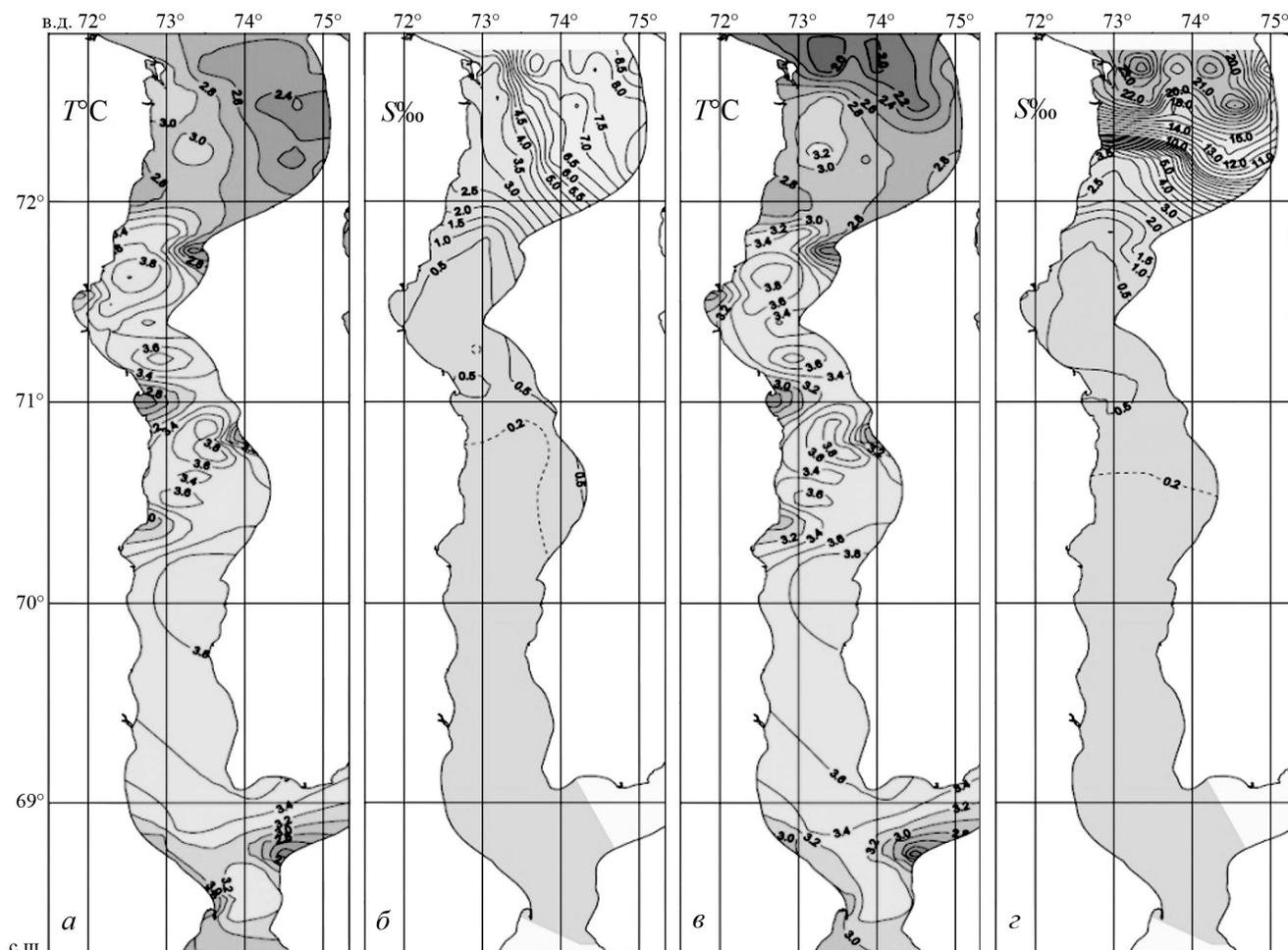


Рис. 6. Распределение температуры ($T^{\circ}\text{C}$) и солёности ($S^{\text{‰}}$) в осенний (меженный) период в поверхностном (а, б) и придонном (в, г) слоях воды [2].

Fig. 6. Distribution of temperature ($T^{\circ}\text{C}$) and salinity ($S^{\text{‰}}$) in autumn (low water) in the surface (а, б) and bottom (в, г) layers of water [2].

ток речных вод при этом отклоняется к западному (ямальскому) берегу, что находит отображение на картах температуры и солёности. Однако такое смещение может зависеть не только от ослабления речного стока в межень, но и от синоптических процессов и быть эпизодическим явлением.

Осенью тепловое состояние вод Оби и Таза выравнивается. Тепловой сток реки Таз уже не влияет на распределение температуры воды в районе слияния рек.

В эстуарной части губы в период осенней межени усиливается влияние морских вод. Это вызывает повышение солёности верхних слоев воды до 8–9 ‰, а придонных до 20–22 ‰. В соответствии с пульсациями интрузии морских вод из Карского моря в Обском эстуарии формируются многочисленные линзы разнородной воды, создавая мозаичную термохалинную структуру вод в этой части губы. Ветровое перемешивание определяет время существования отдельных линз до нескольких дней.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проанализированы и обобщены материалы научных публикаций и данные собственных наблюдений автора по гидрологическому режиму Обской губы. На основе исследованных материалов выделены наиболее важные гидрологические процессы и представлена изменчивость термохалинных характеристик водных масс в губе и на прилегающем участке взморья, играющем важную роль в формировании гидрологического режима хозяйственно востребованных участков губы.

В целом подтверждаются ранее сделанные исследователями выводы, дополняется и уточняется гидрологическая ситуация в зоне взморья и прилегающих районов Обь-Енисейского мелководья, активно влияющего на гидрологический режим Обской губы.

На основе изученного материала можно констатировать, что гидрологический режим Обской губы сложен, пространственно дифференцирован, сохраняет признаки режима речных систем и взморья, что определяется морфологией, историей образования и большой протяженностью губы. Важную роль в формировании сложного режима играет сложенный наносами в глубине губы бар, характерный для большей части речных устьев.

Сезонная дифференциация режима определяется тремя основными периодами со свойственными

для них термохалинными параметрами вод и гидрологическими процессами [2]:

- период зимней межени;
- период весенне-летнего половодья (период высокого речного стока);
- период осенней межени (безледный период низкого речного стока).

Водная масса губы складывается четырьмя типами вод – водами речного плюма, зимними водами южной части Карского моря, эстуарными водами, речными водами, – свойства которых определяют различия термохалинной структуры вод в разных частях Обской губы.

Морфоструктура Обской губы относится к главным факторам, формирующим гидрологический режим и определяющим режим природопользования в ее акватории. В соответствии с морфологическими особенностями и хорошо выраженной в системе гидрологических признаков дифференциацией гидродинамических процессов Обская губа разделена на две части квазипостоянным гидрофронтом в районе 72° с.ш.: на обширную речную и относительно небольшую эстуарную, переходящую в Карское взморье. Положение гидрофронта определяется расположением устьевого бара и незначительно флуктуирует под воздействием внешних факторов – ветра, речного стока [10].

Промежуточная область, которая образуется в речной части губы и примыкает к гидрофронту, является, собственно, фронтальной зоной, характерной для квазипостоянных фронтов в море. Роль этой фронтальной зоны весьма значима для экосистемы Обской губы [3; 4]. Однако гидрохимическое состояние и повышенная первичная продуктивность этих вод в большей степени поддерживаются не столько регенерацией биогенов [3; 4], а, на наш взгляд, интрузией карских вод, происходящей периодически по типу апвеллинга по склону устьевого бара.

Эстуарная часть губы с прилегающим участком Карского взморья выделяется как зона активного гидродинамического и геохимического смешения речных и морских вод и характеризуется сложной термохалинной структурой, обилием коротко живущих гидрофронтов. В этой части губы формируются эстуарные воды как локальные разнородные линзы и воды речного плюма, которые в целом создают мозаичную термохалинную структуру в эстуарии и в прибрежье Карского моря – Обь-Енисейском мелководье.

Гидрологическая характеристика южной, речной, части Обской губы формируется по речному типу летом – с образованием струйного течения и равномерного распределения характеристик, – и по типу пресноводных бассейнов зимой – с образованием у дна плотных относительно теплых вод с дефицитом кислорода. Структура вод в речной части губы в период половодья определяется суммарным потоком вод Оби и Таза [1; 2].

Опасность современных техногенных изменений установившегося гидрологического режима, охарактеризованного по многолетним наблюдениям в данной статье, исходит от прокладки судоходного канала в северной, эстуарной, части Обской губы для обеспечения навигационных потребностей порта Сабетта. Прокладка канала может вызвать интенсификацию поступления карских вод в губу и осолонение северной, а возможно, и южной ее части.

Диагностическое численное моделирование изменений гидродинамики Обской губы в связи с прокладкой канала было проведено сотрудниками Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова, Института вычислительной математики РАН и Научно-проектной компанией

«МорТрансНииПроект» [18]. Согласно расчетам по сценариям численных экспериментов, максимальный рост солености воды происходит в канале: 0,45–0,5 ‰. Повышение солености в непосредственной близости к каналу может составить до 0,3 ‰. При удалении от канала происходит уменьшение влияния канала на соленостный режим акватории. В районе порта Сабетта изменения солености не превысят 0,005 ‰. В центральной и южной частях Обской губы изменения составят 0,001–0,002 ‰.

Однако естественные изменения солености в эстуарной области, как показано в работе, достигают 10 ‰. Влияние канала носит локальный характер и не ведет к увеличению зоны распространения соленых вод.

Таким образом, проведенное исследование отражает главные гидрологические процессы, основные термохалинные характеристики и природу водоема. Результаты могут быть использованы для гидробиологических, экологических и природоохранных изысканий в регионе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ КНЦ РАН, № госрегистрации АА-АА-А18-118030690062-0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапин С.А. 2011. Гидрологическая характеристика Обской губы в летне-осенний период. *Океанология*. 51(6): 984–993.
2. Лапин С.А. 2012. *Пространственно-временная изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик Обской губы как основа оценки ее биопродуктивности*. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., изд-во ВНИРО: 25 с.
3. Лапин С.А. 2014. Специфика формирования зон повышенной продуктивности в Обском эстуарии. *Труды ВНИРО*. 152: 146–154.
4. Артамонова К.В., Лапин С.А., Лукьянова О.Н., Маккавеев П.Н., Полухин А.А. 2013. Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды. *Океанология*. 53(3): 357–366.
5. *Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях*. 1977. Л., Гидрометеиздат: 725 с.
6. *User Manual SBE 19plus SEACAT PROFILER, Version 012*. 2005. Bellevue, Washington, USA: 223 p.
7. *Manual and operating instructions. CTD48M + Turbidity Memory probe*. 2008. Trappenkamp, Germany: 167 p.
8. Черняева Ф.А. 1965. Морфометрическая характеристика водосборных бассейнов советских арктических морей и впадающих в них рек. В кн.: *Гидрология рек Советской Арктики*. Л., Гидрометеиздат: 1–28.
9. *Большая Тюменская энциклопедия. Т. 2*. 2004. Тюмень, НИИ региональных энциклопедий ТюмГУ, ИД «Сократ»: 371 с.
10. Лапин С.А., Артамонова К.В., Гангнус И.А., Кивва К.К. 2015. Гидролого-гидрохимическая структура фронтальной зоны Обской губы в ранневесенний период. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 3(105): 15–26.
11. Churun V., Ivanov B. 1998. Investigations of the Hydrophysical Structure in the Mixing Zone between Fresh and Saline Waters in the Ob and Yenisei Estuaries. *Berichte zur Polarforschung*. 266: 11–18.
12. Harms F.I., Hubner U., Backhaus J.O., Kulakov M., Stanovoy V., Stepanets O.V., Kodina A., Schlitzer R. 2003. Salt intrusions in Siberian river estuaries: Observations and model experiments in Ob and Yenisei. In: *Siberian river run-off in the Kara Sea Characterisation, quantification, variability and environmental significance*. Elsevier: 27–46.
13. Никифоров Е.Г., Шпайхер А.О. 1980. *Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана*. Л., Гидрометеиздат: 259 с.
14. Pivovarov S., Schlitzer R., Novikhin A. 2003. River run-off influence on the water mass formation in the Kara Sea. In: *Siberian river run-off in the Kara Sea Characterisation, quantification, variability and environmental significance*. Elsevier: 9–25.
15. Пивоваров С.В. 2000. *Химическая океанография арктических морей России*. СПб., Гидрометеиздат: 88 с.
16. Стунжас П.А., Маккавеев П.Н. 2014. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности

- нородности. *Океанология*. 54(5): 622–634. doi: 10.7868/S0030157414050128
17. Попов П.А. 2012. *Адаптация гидробионтов к условиям обитания в водоемах Субарктики – на примере экологии рыб в водоемах Субарктики Западной Сибири*. Новосибирск, изд-во Новосибирского государственного университета: 255 с.
 18. Дианский Н.А., Фомин В.В., Грузинов В.М., Кабатченко И.М., Литвиненко Г.И. 2015. Оценка влияния подходного канала к порту Сабетта на изменение гидрологических условий Обской губы с помощью численного моделирования. *Арктика: экология и экономика*. 3(19): 18–29.
 10. Lapin S.A., Artamonova K.V., Gangnus I.A., Kivva K.K. 2015. [Hydrological and chemical characteristics of the frontal zone in the Obkaya guba in early autumn]. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 3(105): 15–26. (In Russian).
 11. Churun V., Ivanov B. 1998. Investigations of the Hydrophysical Structure in the Mixing Zone between Fresh and Saline Waters in the Ob and Yenisei Estuaries. *Berichte zur Polarforschung*. 266: 11–18.
 12. Harms F.I., Hubner U., Backhaus J.O., Kulakov M., Stanovoy V., Stepanets O.V., Kodina A., Schlitzer R. 2003. Salt intrusions in Siberian river estuaries: Observations and model experiments in Ob and Yenisei. In: *Siberian river run-off in the Kara Sea Characterisation, quantification, variability and environmental significance*. Elsevier: 27–46.
 13. Nikiforov E.G., Shpaikher A.O. 1980. *Zakonomernosti formirovaniya krupnomasshtabnykh kolebaniy gidrologicheskogo rezhima Severnogo Ledovitogo okeana*. [Natural laws of formation of large-scale fluctuations of a hydrological mode of Arctic ocean]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 259 p. (In Russian).
 14. Pivovarov S., Schlitzer R., Novikhin A. 2003. River run-off influence on the water mass formation in the Kara Sea. In: *Siberian river run-off in the Kara Sea Characterisation, quantification, variability and environmental significance*. Elsevier: 9–25.
 15. Pivovarov S.V. 2000. *Khimicheskaya okeanografiya arkticheskikh morey Rossii*. [Chemical oceanography of the Arctic seas of Russia]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat: 88 p. (In Russian).
 16. Stunzhas P.A., Makkaveev P.N. 2014. Volume of the Ob Bay waters as a factor of the formation of the hydrochemical inhomogeneity. *Oceanology*. 54(5): 583–595. doi: 10.1134/S0001437014050129
 17. Попов П.А. 2012. *Адаптациа гидробионтов к условиям обитания в водоемах Субарктики – на примере экологии рыб в водоемах Субарктики Западной Сибири*. [Adaptation of hydrobionts to living conditions in the waters of the subarctic – on the example of fish ecology in the waters of the subarctic of Western Siberia]. Novosibirsk, Novosibirsk State University Publ.: 255 p. (In Russian).
 18. Diansky N.A., Fomin V.V., Gruzinov V.M., Kabatchenko I.M., Litvinenko G.I. 2015. [Assessment of effect of the approach channel to the port of Sabetta to changes in hydrological conditions of the Gulf of Ob using numerical modeling]. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. 3(19): 18–29. (In Russian).

REFERENCES

Поступила 06.03.2018