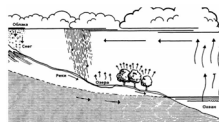


Научная статья / Original article

УДК 551.58(265.52)

doi:10.15853/2072-8212.2024.75.5-21

EDN: UPVUPP



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ В ПЕРИОД ВЫПОЛНЕНИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2013–2022 ГГ.

Тепнин Олег Борисович

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, o.tepnin@kamniro.vniro.ru

Аннотация. Проведен анализ межгодовой изменчивости гидрометеорологических условий Авачинской губы на основе данных, полученных в ходе выполнения комплексных стандартных съемок в период с 2013 по 2022 г. Показано, что в районе Авачинской губы на протяжении всего периода проведения гидрологических исследований наблюдалось устойчивое превышение климатической нормы для температуры воздуха и количества осадков. Однако в рассматриваемом диапазоне лет температура воздуха испытывала значительные межгодовые колебания, а уровень осадков заметно возрастал только в период с 2013 по 2015 г., далее наметилась тенденция к медленному снижению с минимумом в 2022 г. Приземное атмосферное давление превышало норму летом и осенью, но зимой было ниже ее. Рассчитаны средние за десятилетний период показатели температуры, солености, концентрации хлорофилла- α и уровня насыщения вод кислородом для апреля–октября на 10 станциях по стандартным горизонтам. Выполненный анализ межгодовой изменчивости интегральных показателей температуры и солености всей исследуемой толщи вод Авачинской губы показал постепенный рост теплосодержания и небольшое падение солености.

Ключевые слова: юго-восточное побережье Камчатки, Авачинская губа, гидрометеорологические условия, мониторинг, межгодовая изменчивость, внутригодовая изменчивость

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Тепнин О.Б. Гидрометеорологические условия Авачинской губы в период выполнения мониторинговых исследований 2013–2022 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2024. Вып. 75. С. 5–21. EDN: UPVUPP. doi:10.15853/2072-8212.2024.75.5-21

HYDROMETEOROLOGICAL CONDITIONS OF AVACHA BAY DURING THE PERIOD OF MONITORING STUDIES IN 2013–2022

Oleg B. Tepnin

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO),
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, o.tepnin@kamniro.vniro.ru

Abstract. Interannual variability of hydrometeorological conditions in Avacha Bay was analyzed on the basis of data obtained in the course of complex standard surveys in the period from 2013 to 2022. Steady excess of climatic norm for air temperature and precipitation is shown in the area mentioned throughout the entire period of the hydrological studies. The air temperature, however, experienced significant interannual fluctuations in the considered range of years, while precipitation levels increased noticeably only in the period from 2013 to 2015, and then there was a tendency to a slow decline with a minimum in 2022. The surface atmospheric pressure exceeded the multiyear average in summer and autumn, but was below it in winter. Ten-year averages of temperature, salinity, chlorophyll- α concentration, and oxygen saturation for April through October at 10 stations on standard horizons were calculated. Analysis of interannual variability of the temperature and salinity integral indices for the entire studied water column of Avacha Bay has demonstrated a gradual increase of heat content and a slight decrease of salinity.

Keywords: southeast coast of Kamchatka, Avacha Bay, hydrometeorological conditions, monitoring, interannual variability, intra-annual variability

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Tepnin O.B. Hydrometeorological conditions of Avacha Bay during the period of monitoring studies in 2013–2022 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2024. Vol. 75. P. 5–21. (In Russ.) EDN: UPVUPP. doi:10.15853/2072-8212.2024.75.5-21

Авачинская губа — бухта Тихого океана на юго-восточном побережье полуострова Камчатка (рис. 1). Это одна из крупнейших естественных бухт мира, которая также является удобной гаванью. Название Авачинской губы имеет ительменское происхождение и по традиции дано русскими первооткрывателями по наименованию самой крупной реки, впадающей в нее. Это соответствовало традициям того времени. На чертежах и картах первой трети XVIII века названию Авача предшествовали несколько вариантов: Суаачу, Вовача, Вавача и др. Нет единого мнения и о происхождении слова «Авача» (Полевой, 1984; Быкасов, 2011).

В геологическом плане, образовалась Авачинская губа в результате постепенного опускания блока земной коры из-за наличия мощного глубинного разлома, проходящего вдоль полуострова (рис. 2). Определенную роль в ее создании сыграли и вулканические процессы. Так образовалась, в частности, сопка Мишенная, являющаяся выжатым из глубин куполом раскаленной вязкой магмы, корень которого уходит под дно губы. По данным геологических изысканий (Гриб, 1985; Гриб и др., 1986), сопка Мишенная изливала в сторону губы небольшие потоки лавы. В самой губе, напротив бухты Мо-

ховой, обнаружен небольшой, скрытый наносами вулканический конус (Дубик, Огородов, 1970). Западнее, в самом глубоком месте под слоем наносов, обнаружено три коротких лавовых потока. В бухте Крашенинникова расположен островок вулканического происхождения. «Очевидно, что в образовании Авачинской губы значительное место принадлежит вулканотектоническим процессам» (Дмитриев, Ежов, 1977). В районе губы кроме основного разлома, выявлен и ряд более мелких. Вся эта система разломов продолжает действовать и теперь, и время от времени происходят подвижки блоков относительно друг друга, что вызывает сейсмические толчки. Нанесенные на карту их эпицентры показывают сгущение их как под самой губой, так и к северо-западу от нее. Обычно слабые, они фиксируются только приборами, но изредка могут быть и более заметными (Дмитриев, Ежов, 1977).

В настоящее время Авачинская губа является наиболее эксплуатируемой акваторией Камчатского края. На ее берегах сосредоточено большинство населения полуострова: в двух крупнейших городах и нескольких поселках располагаются основные производственные мощности (заводы, порты, военная база), а в до-



Рис. 1. Расположение Авачинской губы
Fig. 1. Location of Avacha Bay

линах питающих рек — крупные сельскохозяйственные угодья. Как следствие, акватория Авачинской губы испытывает серьезную антропогенную нагрузку (Качество морских вод по гидрохимическим показателям, 2021, 2023). В то же время, благодаря большой доступности, населенности и необходимости контроля экологической ситуации, здесь проводился и проводится достаточно объемный комплекс мониторинговых работ. На наш взгляд, наиболее полный список опубликованных за последнее столетие научных исследований приводится в работе Е.В. Лепской с соавторами (Лепская и др., 2014). Однако и за прошедшее со времени этой публикации десятилетие появилось немало количество исследований, касающихся разных аспектов состояния Авачинской губы (Потапов, 2014; Лепская и др., 2016, 2020; Лепская, Курбанова, 2017; Кашутин и др., 2019; Захарков и др., 2020), а также официальных докладов о ее экологическом состоянии (Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае., 2015, 2016, 2017; Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае., 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023; Качество морских вод по гидрохимическим показателям: ежегодники 2014–2021). Подавляющее большин-

ство представленных работ посвящено гидрохимическому режиму, экологическому состоянию и изменчивости флоры и фауны водного объекта. Тем не менее к вопросу освещения гидрометеорологической обстановки и ее изменчивости на основе данных сколько-нибудь продолжительных натурных наблюдений можно отнести лишь две статьи: И.Ф. Баранова «Гидрометеорологический режим Авачинского залива и бухт Юго-Восточной Камчатки» (Баранов, 1944) и В.И. Меньшикова и А.В. Лазо «Гидрометеорологический режим Авачинской губы» (Меньшиков, Лазо, 1975). Причем первая находится в архиве Камчатского УГМС и базируется на относительно небольшом и нерегулярном объеме информации, полученной в конце 30-х – начале 40-х годов прошлого века. Доступ к ней ограничен библиотекой Камчатского УГМС. Вторая — на основе экспедиционных исследований, выполненных судном «Волна» в период с 1960 по 1969 г., издана в «Трудах ДВНИГМИ» под грифом «Секретно». Возможно, именно этим и объясняется такое малое количество известных нам обобщений по интересующей тематике, в результате чего доступ к такой литературе ограничен до настоящего времени. Отдельно отметим появившиеся в по-

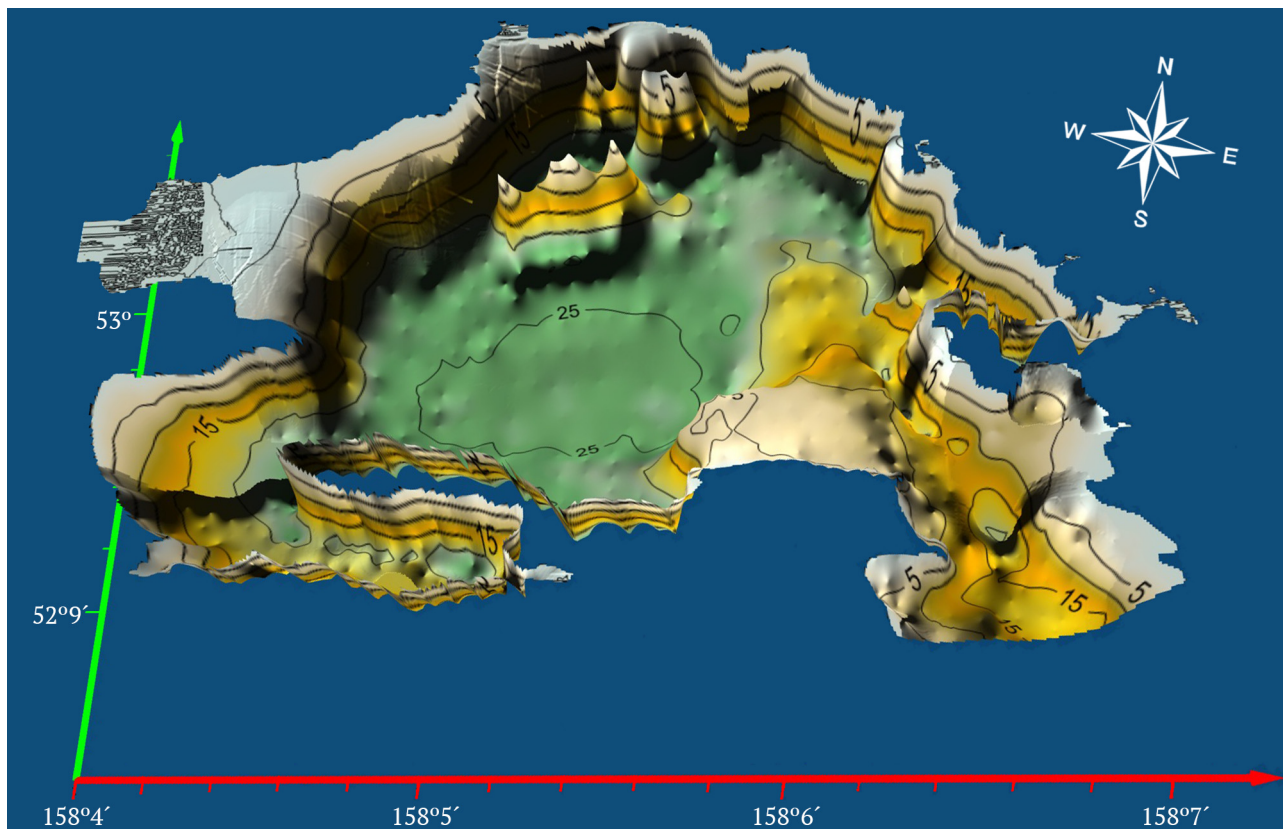


Рис. 2. Объемная батиметрическая карта Авачинской губы (оцифровка навигационной карты)
Fig. 2. Three-dimensional bathymetric map of Avacha Bay (digitized navigation map)

следние 10 лет близкие к теме гидрометеорологии работы, посвященные водному балансу Авачинской губы (Потапов, 2014; Кашутин и др., 2019).

Что касается общих географических и гидрологических сведений об Авачинской губе, то из работы (Меньшиков, Лазо, 1975) известно, что протяженность входа в бухту составляет около 8 км и он располагается в центральной части Авачинского залива. Средняя ширина этого горла — около 3 км, при глубине, меньшей чем в самой губе — от 10 до 16 м. Средняя глубина центральной чаши — 18,1 м, а максимальная достигает 28 м (на максимуме прилива). В целом же преобладают глубины 15–25 м: они занимают 70% всей площади (рис. 2). Длина собственно Авачинской губы (без пролива) по меридиану составляет 24 км, ширина по параллели — 12 км. Длина береговой линии — около 133 км. Общая площадь поверхности водного зеркала меняется в зависимости от фазы прилива/отлива от 230 до 208 км². Объем воды составляет в среднем около 3,8 км³. По большей части берега губы обрывистые, изобаты 5–10 м располагаются близко к берегу на большей его протяженности. Обширное мелководье развито лишь в приустьевых районах рек Авача и Паратунка, впадающих в губу с северо-запада. Кроме них насчитывается еще 45 рек и ручьев с длиной менее 10 км. По данным Камчатского УГМС, с использованием наблюдений за стоком р. Авачи, как основного источника притока пресных вод в Авачинскую губу, паводок наблюдается в июне, июле, межень — в марте, апреле. Суммарный годовой сток пресных вод в губу из разных источников (реки, ручьи, подземные источники, осадки, сточные воды) составляет около 6 км³ и мало изменился за последние 40 лет (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973; Кашутин и др., 2019). Такое поступление соответствует слою вод в губе около 24 м.

Основной целью данной работы является попытка проследить изменчивость гидрометеорологических условий района расположения Авачинской губы за последнее десятилетие (2013–2022 гг.), а также рассчитать и представить среднесезонные параметры и поля распределения основных измеряемых элементов гидрологического режима.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Основой для анализа межгодовой изменчивости гидрологических условий Авачинской губы

послужили материалы, собранные сотрудниками Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО). В течение десяти лет (2013–2022 гг.) на акватории Авачинской губы с апреля по октябрь один раз в месяц выполнялись регулярные стандартные комплексные съемки (съемка II категории — ежемесячный отбор проб), во время которых было проведено 869 гидрологических зондирований толщи воды от поверхности до дна. Расположение всех выполненных станций и их нумерация приведены на рис. 3А. На рис. 3Б и 3В показаны временная и сезонная гистограммы распределения станций.

Исследования включали в себя определение температуры, электропроводности (солености), давления (глубины), уровня растворенного кислорода, мутности, концентрации хлорофилла- α в слое вод от поверхности до дна с шагом по глубине не более 1 м. Измерения проводились посредством зондирующего комплекса RINKO-Profilier ASTD-102 (JFE Advantech, Япония). При описании многолетней изменчивости гидрометеорологического режима района Авачинской губы использовались различные как архивные (Камчатского филиала ФГБНУ «ВНИРО» (КамчатНИРО), ФГБУ «Камчатское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Камчатское УГМС)), так и открытые специализированные источники сети Интернет (<http://aisori-m.meteo.ru/>, <http://www.meteomanz.com/>) и литературные обзоры (Баранов, 1944; Меньшиков, Лазо, 1975; Потапов, 2014; Кашутин и др., 2019).

Наблюдениями были охвачены в основном прибрежные участки акватории, ее центр и пролив, соединяющий губу с Авачинским заливом (Тихим океаном). Количество выполненных станций было максимальным в 2014 г., а минимально — в 2020 г. (рис. 3Б). В сезонном плане исследованиями был охвачен период с апреля по октябрь, с минимумом наблюдений в июле и октябре (рис. 3В). В марте наблюдения носили эпизодический характер и в дальнейшей работе не использовались.

Все полученные натурные наблюдения на гидрологических станциях сводились в общую базу данных на основе специализированной программы ODV (Ocean Data View, 5.6.7 (Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2023)). В ней же строилась большая часть иллюстративного материала по гидрологии района.

В связи с большим объемом исходных данных, для характеристики межгодовой измен-

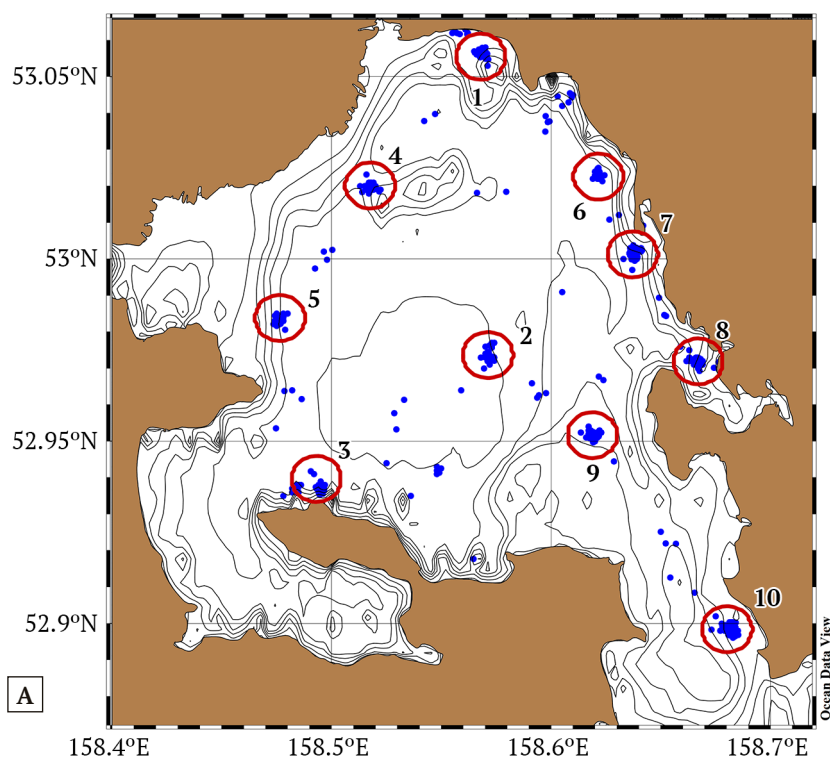
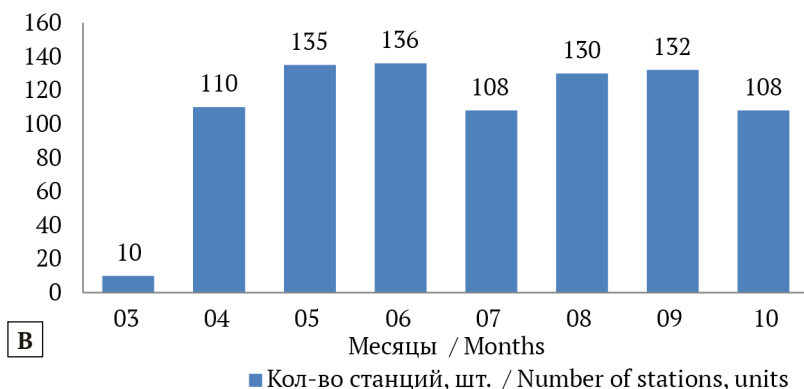
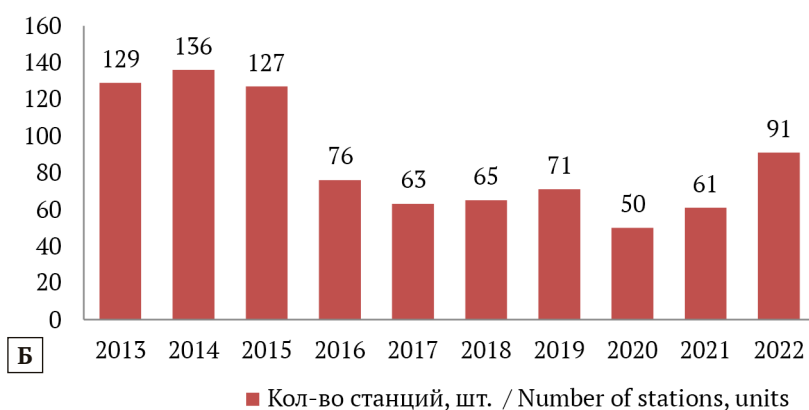


Рис. 3. А) Расположение всех использованных в работе гидрологических станций на акватории Авачинской губы, выполненных в период с 2013 по 2022 г. Выделены основные станции съемки. Б) Временная гистограмма количества станций. В) Сезонная гистограмма количества станций



чивости температуры и солености мы использовали расчет интегральных параметров для каждой станции с последующим вычислением объемного индекса для всей исследованной акватории. Отметим, что изменение хлорофилла- α , мутности и уровня насыщения вод

кислородом в этом случае не рассматривалось из-за недостаточного количества исходных данных для некоторых месяцев, отдельных станций и горизонтов. Формула расчета интеграла температуры по глубине на каждой станции приведена далее:

$$T = \int_H^0 T_h dh ,$$

где T_h — температура в °C на горизонте h ; H — максимальная измеренная глубина на станции, в метрах; dh — интервал между соседними горизонтами, в метрах, при проведении вертикального зондирования (0,5 м).

Аналогично проводили вычисление интегрального показателя для солености.

Объемный индекс (безразмерный) температуры и солености вычислялся как объем фигуры, построенной по данным всех 10 станций об интегральном показателе (рис. 4). Вычисления производили в программе GS Surfer (Golden Software Inc., США), используя в качестве метода интерполяции на регулярную сетку (100 на 75 ячеек по долготе и широте соответственно) геостатистический метод Kriging со стандартными настройками. По нашему мнению, такой показатель наиболее точно отражает состояние всей толщи исследованных вод на момент проведения наблюдений и позволяет провести межгодовое сравнение основных измеренных параметров (температура и соленость), значительно сократив объем материала на выходе (в том числе и иллюстративного материала).

Для представления среднесезонной изменчивости измеренных элементов в пространстве и по глубине нами были рассчитаны средние за весь 10-летний период значения температуры, солености для всех 10 станций комплексной съемки, на следующих горизонтах: 0, 2, 5, 10, 15, 20 и 25 м. Расчет проводили на основе реализованных в программе ODV методик (Box Averaging) для месяцев, охваченных исследованиями. В результате по полученным данным были построены среднесезонные карты распределения всех рассматриваемых

элементов для всех горизонтов периода с апреля по октябрь. Кроме того, строились вертикальные номограммы временной изменчивости параметров для каждой станции стандартной съемки.

Исходным источником среднемесячных данных о температуре воздуха, количестве осадков и уровне приземного давления послужили открытые ресурсы сети Интернет: <http://aisori-m.meteo.ru/> и <http://www.meteomanz.com/>. В районе Авачинской губы расположены две гидрометеорологические станции Камчатского УГМС: это Петропавловский Маяк (номер в системе Всемирной метеорологической организации (World Meteorological Organization, WMO) — 32586) и Петропавловск-Камчатский (номер WMO — 32583). Первая расположена на входе в Авачинскую губу, на мысе Маячном, а вторая непосредственно в городской черте. Мы провели сравнение климатических стандартных норм для обеих станций. Согласно регламенту WMO, период осреднения значений метеорологических параметров для получения норм составляет 30 лет. Последний утвержденный этой организацией ограничен временными рамками 1991–2020 гг. (Комиссия по климатологии. Шестнадцатая сессия. Гейдельберг. 3–8 июля 2014 г. WMO–№ 1137). Результат сравнения для полученных средних по двум станциям приведен на рис. 5. Заметно, что температура воздуха в городе в течение года устойчиво выше, чем на побережье, а уровень осадков и приземное атмосферное давление имеют подобную тенденцию в период с октября по май, тогда как летний сезон отмечается превышением этих параметров на станции Петропавловский Маяк. Все представленные климатические нормы показывают незначительное рас-

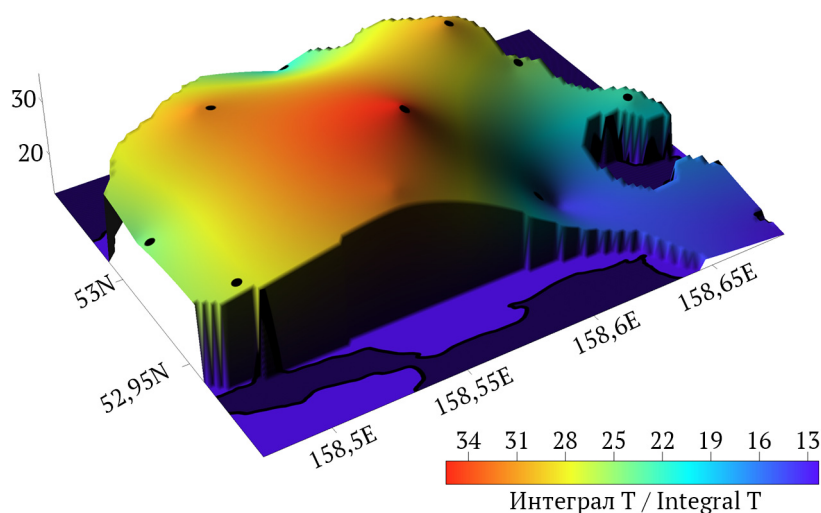


Рис. 4. Пример методики расчета объемного индекса температуры по данным для апреля 2022 г.
Fig. 4. Methodological case of calculation of the three-dimensional temperature index using data for April 2022

хождение при схожей направленности изменения, что подтверждает и проведенный корреляционный анализ. Это позволяет достаточно обоснованно выбрать в качестве реперной любую из них. Мы остановили свой выбор на ГМС Петропавловский Маяк (32586), как на менее зависимой от городского фона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия

Температура воздуха

Авачинская губа хорошо защищена отрогами горных хребтов с трех сторон, и только на северо-западе ее ограничивает низменная заболоченная равнина, прорезанная многочисленными речными протоками дельт рек Авача и Паратунка.

Хотя климат Камчатки в целом муссонный, на юге полуострова, из-за значительного влияния проходящих циклонов, муссонность не так выражена (Кондратюк, 1983). Метеорологические условия в районе восточного побережья Камчатки определяются преобладающим направлением воздушного переноса с юго-запада на северо-восток и соседством с Камчатским полуостровом огромных водных пространств: Тихого океана, Охотского и Берингова морей. В результате большинство «южных» циклонов

оказывают непосредственное или опосредованное влияние на климат района Авачинской губы (увеличение количества осадков, усиление ветрового переноса, снижение уровня солнечной радиации, вторжение относительно теплых воздушных масс в холодный период года), а океан, в силу своей большей инерционности, вносит стабилизирующий фактор в ход температуры воздуха.

На рис. 6А приведен график изменения средней для периода с 2013 по 2022 г. температуры воздуха для станции Петропавловский Маяк (период выполнения комплексных съемок акватории Авачинской губы). Для сравнения там же представлен график климатической нормы, рассчитанный для стандартного периода WMO с 1991 по 2020 г. Можно отметить, что в последнее десятилетие в районе наблюдается небольшое превышение среднемесячной температуры над нормой, причем почти для каждого месяца года, кроме октября. Среднегодовая температура воздуха в районе Авачинской губы оказалась выше нормы на $0,51\text{ }^{\circ}\text{C}$ (средняя — $2,28\text{ }^{\circ}\text{C}$), а для рассматриваемого в работе периода — на $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ (средняя — $7,33\text{ }^{\circ}\text{C}$). Самым теплым месяцем года является август ($12,40\text{ }^{\circ}\text{C}$ среднемноголетний и $12,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ — за исследуемый период), а самым холодным — январь (минус $7,50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и минус $7,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответ-

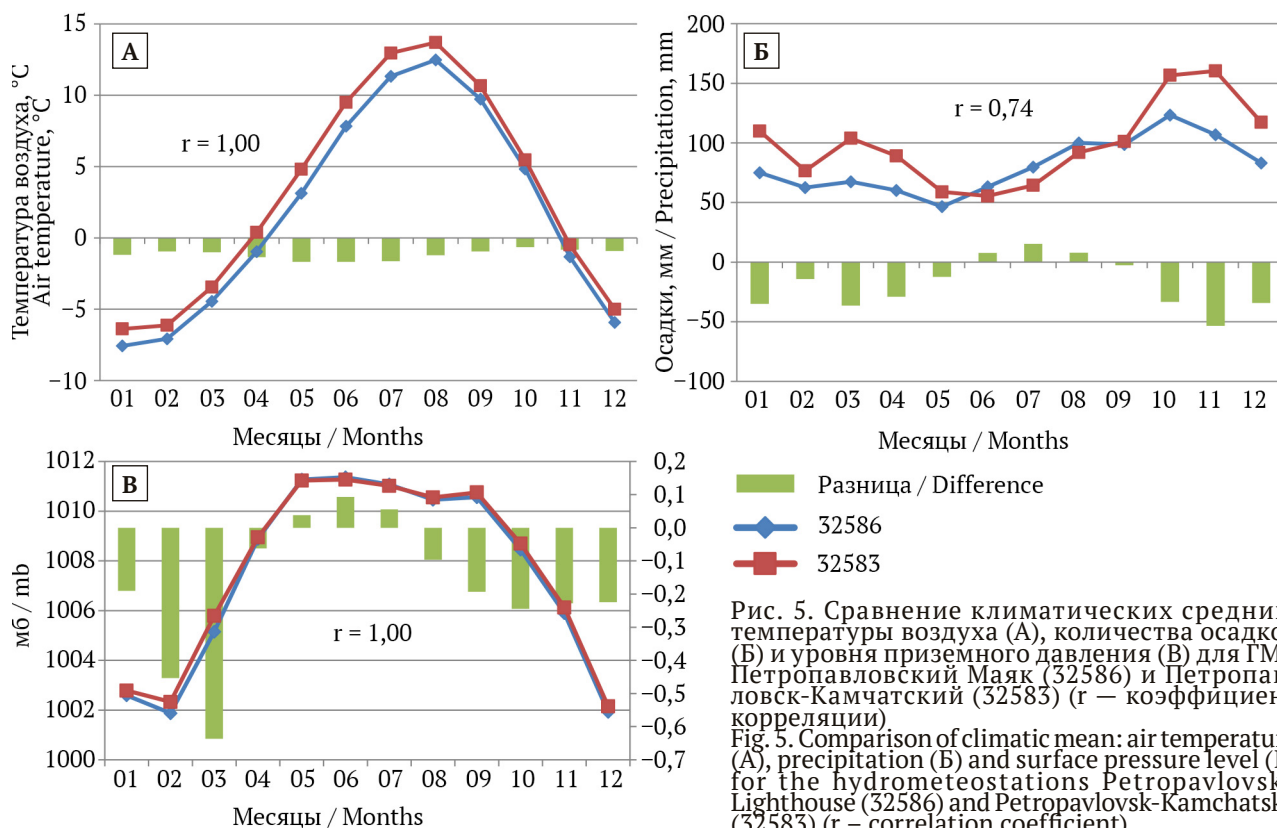


Рис. 5. Сравнение климатических средних: температуры воздуха (А), количества осадков (Б) и уровня приземного давления (В) для ГМС Петропавловский Маяк (32586) и Петропавловск-Камчатский (32583) (r — коэффициент корреляции).
 Fig. 5. Comparison of climatic mean: air temperature (A), precipitation (B) and surface pressure level (B) for the hydrometeorostations Petropavlovsky Lighthouse (32586) and Petropavlovsk-Kamchatsky (32583) (r — correlation coefficient)

ственно). Переход на положительную сторону оси происходит в мае (3,16 °C и 3,61 °C соответственно), а первым месяцем с преобладанием отрицательных значений является ноябрь (минус 1,33 °C и минус 0,98 °C соответственно).

На рисунке 6Б представлен график накопленных среднемесячных аномалий температуры воздуха по годам исследования. По уровню температуры воздуха самым «теплым» в ряду наблюдений можно считать 2022 г., «холодным» — 2016 и 2019 г. При этом летние периоды 2013, 2016, 2021 и 2022 г. отметились самыми высокими значениями температуры воздуха (рис. 6В), как и весна 2017 г., а также осень 2018 и 2020 г. и зима 2022 г. Наиболее «холодными» сезонами можно назвать: для зимы — 2016 г.,

для весны — 2013 г., для лета — 2015 г., для осени — 2016 г. Т. е. становится ясно, что результирующий итог (годовой параметр) не всегда отражает внутренний сезонный ход термического режима воздушных масс над Авачинской губой. Также заметим, что за последнее десятилетие прослеживается отчетливое смещение изотермы 0 °C от начала мая к середине апреля (рис. 6Г).

Осадки

Среднегодовое количество осадков, выпадающих в районе акватории Авачинской губы (норма WMO), по данным гидрометеорологической станции Петропавловский Маяк, составляет 80,5 мм (в сумме 966,4 мм), что на

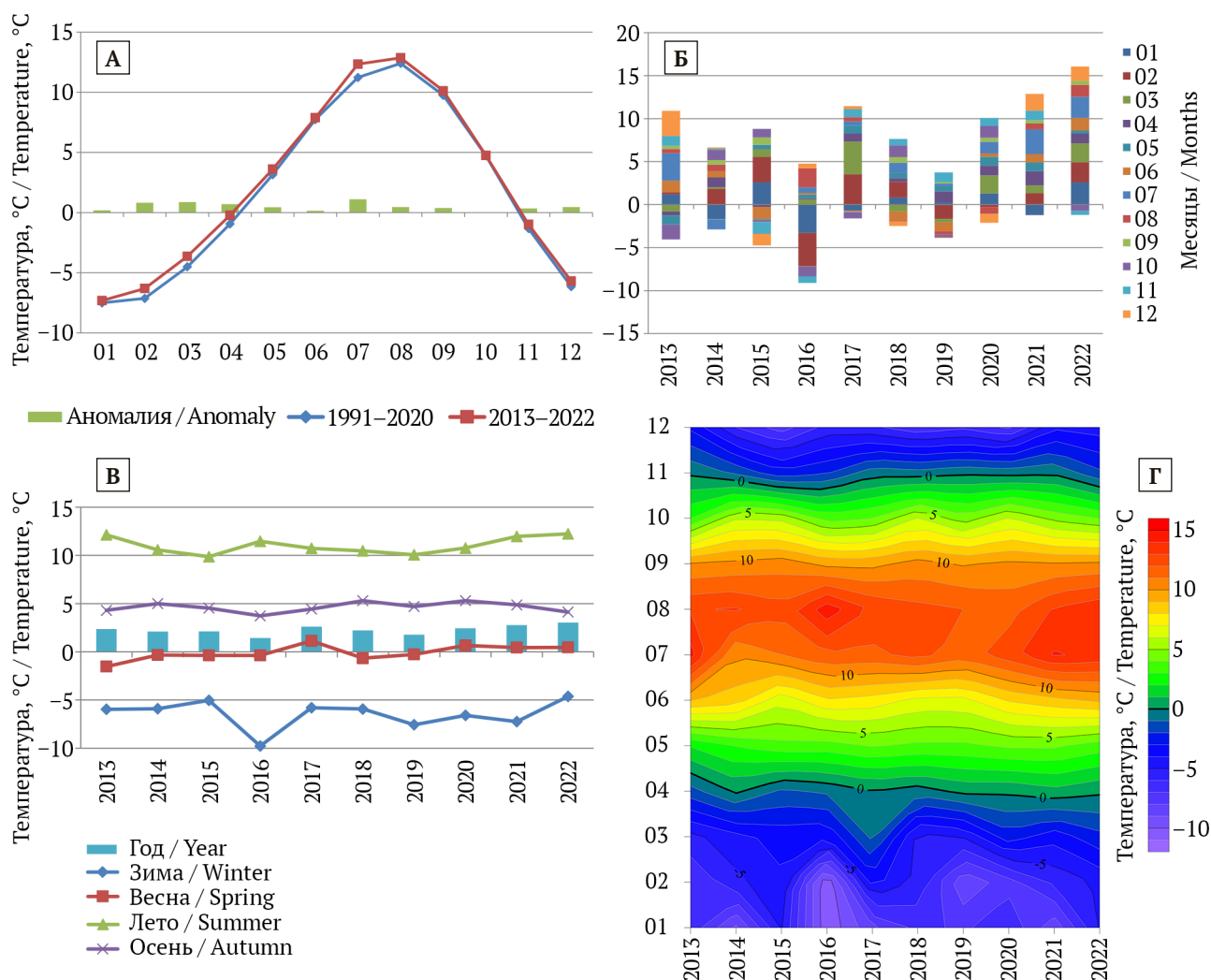


Рис. 6. А) Среднемесячное изменение температуры воздуха (в °C) в районе Петропавловска-Камчатского, по данным Камчатского УГМС: климатическая норма с 1991 по 2020 г. и для периода осреднения с 2013 по 2022 г. Б) Среднемесячная накопленная аномалия температуры воздуха для ряда лет с 2013 по 2022 г. В) Среднесезонные и среднегодовые значения температуры воздуха для ряда лет с 2013 по 2022 г. Г) Временная диаграмма изменчивости среднемесячной температуры воздуха для того же ряда лет
Fig. 6. A) Variation of monthly air temperature mean (in °C) in the Petropavlovsk-Kamchatsky area, according to the data of the Kamchatka Department of Hydrometeorology: climatic norm from 1991 to 2020 and for the averaging period from 2013 to 2022. B) Monthly accumulated air temperature mean anomaly for a number of years from 2013 to 2022. B) Seasonal and annual mean air temperature values for the series of years from 2013 to 2022. Г) Temporal diagram of variability of monthly air temperature mean for the same series of years

9 мм (в сумме 1073,9 мм) меньше, чем для периода нашего исследования (рис. 7А). При этом для климатического среднего максимум приходится на октябрь (123,3 мм), а для последнего десятилетия отмечаются три локальных пика: в марте (91,5 мм), августе (120,3 мм) и ноябре (130,8 мм). Минимум выпадения осадков в обоих случаях отмечается в мае и различается незначительно (46,5 и 50,0 мм). Отметим, что в последнее время только в сентябре и октябре наблюдается уменьшение количества выпадающих осадков, в то время как в остальной период года это значение ощутимо возросло. Наибольшее отличие пришлось на март и ноябрь–декабрь (более 24 мм). Если же рассмотреть интересующий нас отрезок лет

в плане накопленной аномалии осадков, то в этом случае выделяется 2015 г. с самым большим превышением над нормой (рис. 7Б). В остальные годы суммарное превышение также было положительным, хотя после 2015 г. наметился некоторый тренд на снижение этого параметра. Такой вывод подтверждает и следующий рисунок (рис. 7В), где наглядно прослеживается последовательное снижение количества осадков для большинства (кроме весеннего) сезонов года. Временная диаграмма (рис. 7Г) позволяет проследить изменчивость данного параметра более подробно. Заметно, что в последнее время отмечается устойчивая тенденция к уменьшению уровня осадков для большей части года.

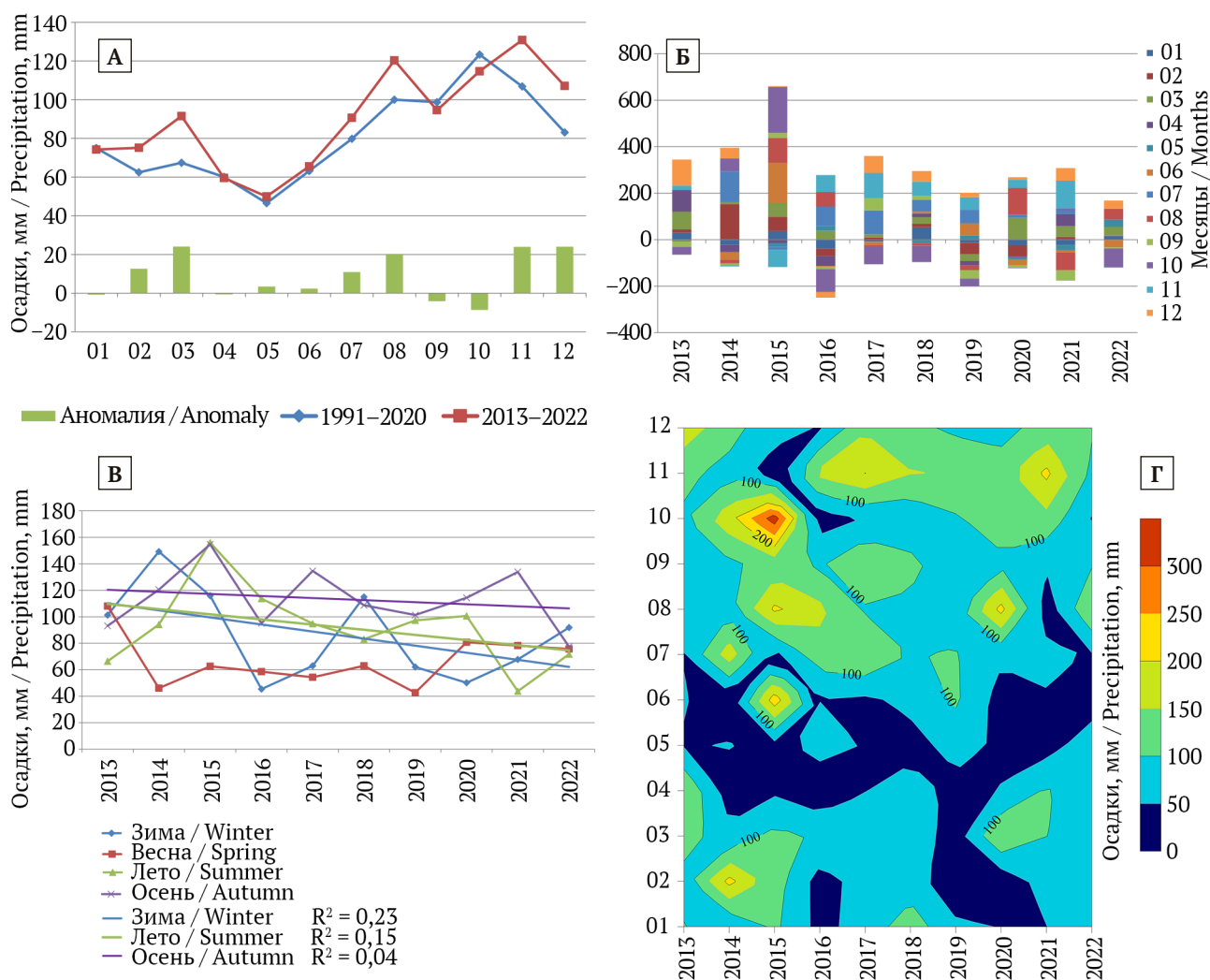


Рис. 7. А) Среднемесячное изменение количества осадков (в мм) в районе Петропавловского Маяка, по данным Камчатского УГМС: для периода осреднения с 1991 по 2020 г. и с 2013 по 2022 г. Б) Среднемесячная накопленная аномалия уровня осадков для ряда лет с 2013 по 2022 г. В) Среднесезонные значения уровня осадков для того же ряда лет. Г) Временная диаграмма изменчивости среднемесячного уровня осадков для того же ряда лет
Fig. 7. A) Variation of monthly precipitation mean (in mm) in the area of Petropavlovsky Lighthouse, according to data of Kamchatka Department of Hydrometeorology: for the averaging period from 1991 to 2020 and from 2013 to 2022. B) Mean of monthly cumulative anomaly of precipitation level for a number of years from 2013 to 2022. B) Seasonal precipitation mean for the same series of years. F) Temporal diagram of variability of the monthly precipitation mean for the same series of years

Приземное атмосферное давление

Среднемесячное приземное атмосферное давление, по данным станции Петропавловский Маяк, в последнее десятилетие также претерпело существенные изменения (рис. 8А). Так, в зимние месяцы оно стало ниже, тогда как в остальное время года (кроме октября) этот показатель превышал норму или был близок к ней (март, июль, апрель). За последние десять лет накопленная аномалия для всех лет оказалась положительной (рис. 8Б) с максимумом в 2015 г. и минимумом в 2018 г. Из всех сезонов года только зимой прослеживается явный тренд на снижение уровня приземного атмосферного давления (рис. 8В). В остальные сезоны, несмотря на значительные колебания значений, подобных изменений не выявлено.

Таким образом, в районе Авачинской губы на протяжении всего периода проведения гидрологических исследований в последнее десятилетие наблюдается устойчивое превышение климатической нормы для температуры

воздуха, приземного атмосферного давления и количества осадков. Однако в рассматриваемом диапазоне лет уровень температуры воздуха испытывал значительные межгодовые колебания, а количество осадков заметно возрастало только в период с 2013 по 2015 г., далее наметилась тенденция к медленному снижению с минимумом в 2022 г. Отметим также, что приземное атмосферное давление превышало норму летом и осенью, но зимой было ниже ее.

Гидрологические условия

Статистика изменчивости термохалинных характеристик

Температурные условия вод Авачинского залива формируются под воздействием нескольких основных факторов: обменные процессы с атмосферой — радиационный прогрев и отдача тепла в атмосферу через поверхность, а также обмен теплом с океаном через пролив посредством адвекции течениями, в том числе и приливными. Присутствует поток тепла через

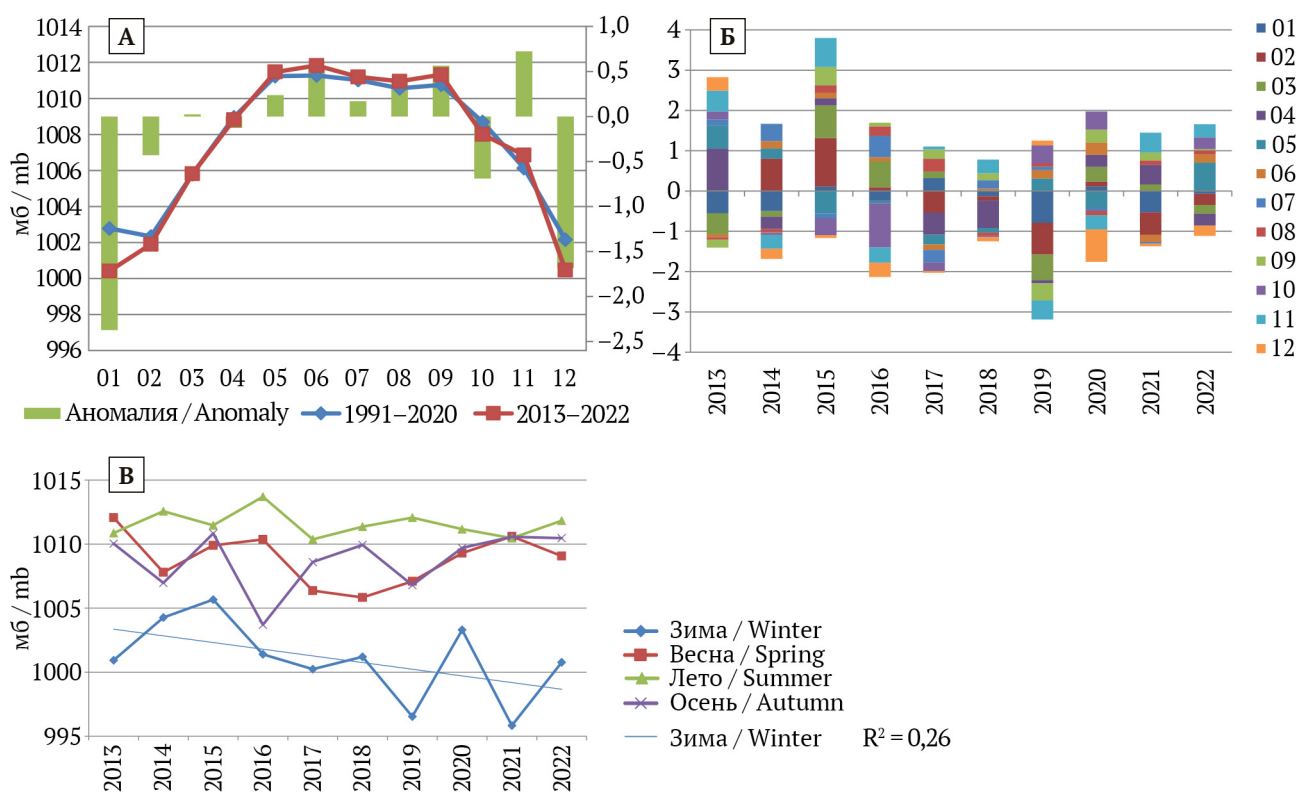


Рис. 8. Изменение среднемесячного приземного атмосферного давления (в мб) по данным ГМС Петропавловский Маяк. А) Климатическая норма (1991–2020 гг.) и средние за период с 2013 по 2022 г. Б) Накопленная аномалия приземного атмосферного давления для последнего десятилетия (2013–2022 гг.). В) Среднесезонные значения приземного атмосферного давления для того же ряда лет
Fig. 8. Variation of the monthly surface atmospheric pressure mean (in mb) according to the data of the hydrometeorological station Petropavlovsky Lighthouse. A) Climatic norm (1991–2020) and mean for the period from 2013 to 2022. B) Accumulated anomaly of surface atmospheric pressure for the last decade (2013–2022). B) Seasonal surface atmospheric pressure mean for the same series of years

дно (рис. 9) и привнесение его с береговым стоком. Уровень солёности во многом зависит от берегового стока и количества осадков, а также обменных процессов с океаном в результате приливного цикла.

По данным десятилетних наблюдений мы рассчитали средние показатели температуры

и солёности на некоторых (стандартных) горизонтах всех 10 станций комплексной съёмки акватории Авачинской губы, а также некоторые основные статистики для каждого элемента. Результаты сведены в таблицах 1 и 2.

Графическое представление дано на рис. 9. Наглядно видно, что внутри годовой ход тем-

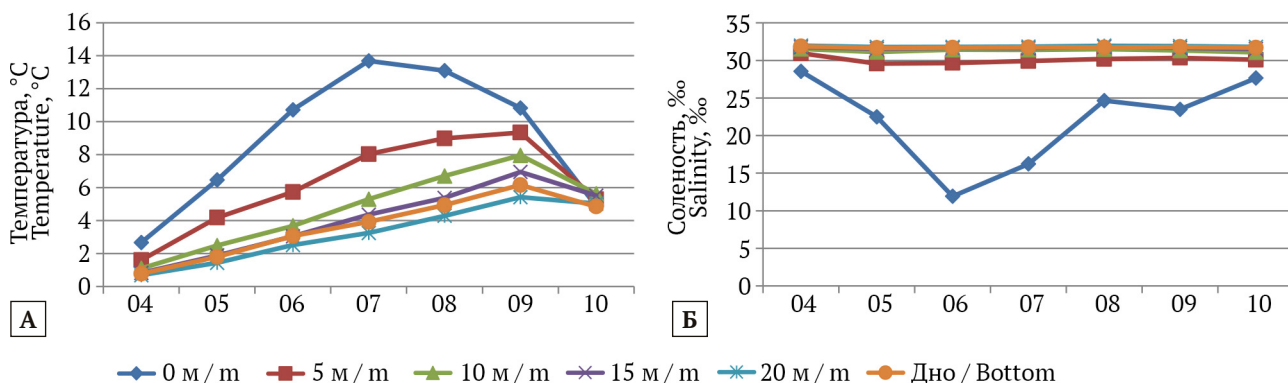


Рис. 9. Изменение средних температуры (А) и солёности (Б) вод Авачинской губы на некоторых горизонтах, осредненное для периода с 2013 по 2022 г.
Fig. 9. Variations of the temperature (А) and salinity (Б) of Avacha Bay waters at some horizons, averaged for the period from 2013 to 2022

Таблица 1. Статистика изменчивости температурных условий вод Авачинской губы для всех месяцев исследований за период с 2013 по 2022 г.
Table 1. Statistics of variability of temperature conditions in the waters of Avacha Bay for all months of studies for the period from 2013 to 2022

Апрель / April							Май / May						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	2,67	1,33	0,13	110	0,02	6,10	0	6,46	1,76	0,15	135	1,87	10,47
5	1,60	1,04	0,10	109	-0,49	5,08	5	4,18	1,47	0,13	135	0,78	7,71
10	1,10	0,71	0,07	92	-0,29	2,41	10	2,48	0,97	0,09	118	0,47	4,72
15	0,83	0,64	0,07	80	-0,32	1,86	15	1,88	0,80	0,08	91	0,42	3,41
20	0,69	0,64	0,09	49	-0,67	1,60	20	1,44	0,70	0,10	53	0,26	2,81
Дно Bottom	0,78	0,73	0,07	110	-0,61	2,73	Дно Bottom	1,80	0,93	0,08	135	0,26	4,58
Июнь / June							Июль / July						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	10,72	2,45	0,21	136	3,11	15,37	0	13,69	2,89	0,28	108	2,45	17,82
5	5,73	1,65	0,14	135	1,68	9,17	5	8,03	2,31	0,22	107	1,82	13,58
10	3,68	1,30	0,12	116	0,84	5,64	10	5,30	1,51	0,15	98	1,62	10,38
15	3,05	1,17	0,12	96	0,63	5,00	15	4,36	1,28	0,15	78	1,47	6,80
20	2,51	1,16	0,16	53	0,73	4,40	20	3,25	1,19	0,19	40	0,91	6,35
Дно Bottom	3,06	1,50	0,13	136	0,63	7,63	Дно Bottom	3,92	1,90	0,18	108	0,85	13,78
Август / August							Сентябрь / September						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	13,10	1,98	0,17	130	4,50	17,40	0	10,83	2,73	0,24	132	4,40	24,07
5	8,98	2,56	0,23	129	2,15	15,76	5	9,34	2,08	0,18	131	3,73	13,01
10	6,70	2,05	0,19	112	2,16	11,23	10	7,96	2,08	0,20	112	3,57	11,03
15	5,37	1,80	0,19	94	2,31	9,08	15	6,95	2,01	0,20	97	2,79	10,07
20	4,29	1,52	0,20	55	1,76	7,85	20	5,42	1,64	0,22	57	2,61	8,04
Дно Bottom	4,94	2,26	0,20	130	1,46	14,01	Дно Bottom	6,16	2,37	0,21	132	2,30	11,43
Октябрь / October							Год / Year						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	4,88	1,69	0,16	108	0,67	7,91	0	9,04	4,40	0,15	859	0,02	24,07
5	5,30	1,72	0,17	107	2,40	9,09	5	6,24	3,19	0,11	853	-0,49	15,76
10	5,63	1,75	0,17	100	2,76	9,28	10	4,74	2,71	0,10	748	-0,29	11,23
15	5,52	1,80	0,20	81	2,75	8,77	15	4,05	2,49	0,10	617	-0,32	10,07
20	5,03	1,89	0,26	55	2,88	8,79	20	3,30	2,15	0,11	362	-0,67	8,79
Дно Bottom	4,85	1,86	0,18	108	2,27	9,28	Дно Bottom	3,66	2,48	0,08	859	-0,61	14,01

Примечание: mean — среднее значение; StDev — стандартное отклонение; StErr — стандартная ошибка; nPts — количество измерений; Min — минимальное значение; Max — максимальное значение.
Note: mean — average value; StDev — standard deviation; StErr — standard error; nPts — number of measurements; Min — minimum value; Max — maximum value.

пературы на поверхности несколько отличается от наблюдающегося в остальной толще вод. Пик прогрева в первом случае приходится на июль, тогда как глубже 5 м максимум температуры наступает в сентябре. К октябрю, из-за развития осенне-зимней конвекции, большая часть толщи вод характеризуется ситуацией, близкой к изотермии.

Наибольшая изменчивость уровня солёности наблюдается в пределах верхнего 5-метрового слоя, где минимум приходится на июнь (пик паводка), а также небольшой спад — в сентябре из-за осеннего увеличения уровня осадков. В остальной же толще вод сезонная изменчивость солёности минимальна.

Внутригодовое изменение гидрологических условий

Проведенный анализ десятилетнего ряда осредненных по месяцам данных комплексных съемок показал, что временные изменения основных измеряемых параметров во всей толще вод происходят практически одинаково на девяти «внутренних» станциях и только на деся-

той имеются различия. Для примера приведем временное распределение основных измеренных параметров на станциях № 2, № 4 и № 10 (рис. 10). Это объясняется значительным и постоянным уровнем присутствия «морских вод» Авачинского залива в горле, малой глубиной станций, а также большим объемом самой губы, воды которой существенно отличаются от океанических. По этой причине в данной работе мы ограничимся рассмотрением гидрологической изменчивости только на центральной станции Авачинской губы — № 2 (рис. 10А), предполагая, что она в достаточной степени отражает присходящие процессы на большей части внутренней акватории водного объекта.

Изменчивость температуры воды с апреля по октябрь в районе глубоководной котловины Авачинской губы характеризуется постепенным переходом от практически полной вертикальной изотермии к образованию устойчивого термоклина и его последующего заглубления. Максимальный уровень прогрева вод поверхности приходится на август, но увеличение уровня теплосодержания всего слоя вод про-

Таблица 2. Статистика изменчивости солёности вод Авачинской губы для всех месяцев исследований, осредненные данные за период с 2013 по 2022 г.
Table 2. Statistics of salinity variations in the Avacha Bay waters for all months of the study averaged over the period from 2013 to 2022

Апрель / April							Май / May						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	28,55	2,79	0,27	110	19,02	32,27	0	22,50	7,53	0,65	135	1,73	31,78
5	30,95	0,64	0,06	109	29,28	32,47	5	29,57	1,41	0,12	135	23,69	31,77
10	31,52	0,37	0,04	92	30,39	32,37	10	31,11	0,69	0,06	118	28,49	32,68
15	31,77	0,31	0,03	80	30,74	32,30	15	31,55	0,54	0,06	91	30,18	32,25
20	31,96	0,29	0,04	49	31,37	32,43	20	31,78	0,51	0,07	53	30,49	32,59
Дно Bottom	31,86	0,41	0,04	110	30,23	32,56	Дно Bottom	31,65	0,69	0,06	135	28,67	32,87
Июнь / June							Июль / July						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	11,91	9,12	0,78	136	0,02	31,51	0	16,22	8,48	0,82	108	0,02	32,10
5	29,66	1,70	0,15	135	21,80	32,73	5	29,91	1,65	0,16	107	21,02	32,22
10	31,41	0,54	0,05	116	30,32	33,14	10	31,40	0,56	0,06	98	30,07	32,77
15	31,67	0,43	0,04	96	30,98	33,34	15	31,62	0,43	0,05	78	30,49	32,40
20	31,79	0,33	0,04	53	31,21	33,01	20	31,82	0,35	0,05	40	31,13	32,38
Дно Bottom	31,68	0,91	0,08	136	25,60	33,58	Дно Bottom	31,73	1,13	0,11	108	20,91	32,81
Август / August							Сентябрь / September						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	24,64	4,52	0,40	130	4,96	31,98	0	23,48	9,27	0,81	132	0,02	32,04
5	30,20	1,38	0,12	129	23,14	32,43	5	30,34	0,96	0,08	131	27,94	32,39
10	31,48	0,44	0,04	112	29,64	32,75	10	31,33	0,48	0,05	112	29,99	32,29
15	31,82	0,32	0,03	94	31,08	32,63	15	31,66	0,39	0,04	97	30,88	32,63
20	31,95	0,29	0,04	55	31,19	32,57	20	31,91	0,35	0,05	57	31,24	32,68
Дно Bottom	31,74	1,19	0,10	130	24,15	32,84	Дно Bottom	31,78	0,60	0,05	132	28,11	32,72
Октябрь / October							Год / Year						
H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max	H, m	Mean	StDev	StErr	nPts	Min	Max
0	27,64	4,80	0,46	108	0,03	32,15	0	21,93	9,07	0,31	859	0,02	32,27
5	30,08	1,10	0,11	107	27,41	32,45	5	30,08	1,38	0,05	853	21,02	32,73
10	31,07	0,86	0,09	100	28,44	32,56	10	31,33	0,60	0,02	748	28,44	33,14
15	31,52	0,62	0,07	81	29,42	32,54	15	31,66	0,45	0,02	617	29,42	33,34
20	31,80	0,40	0,05	55	30,98	32,62	20	31,86	0,37	0,02	362	30,49	33,01
Дно Bottom	31,70	0,84	0,08	108	27,27	32,78	Дно Bottom	31,73	0,87	0,03	859	20,91	33,58

должается и в сентябре, что наглядно видно по заглублению изотермы 5 °C (рис. 10А). Отметим, что прогрев вод к октябрю затрагивает всю толщу вод: так, в придонном горизонте температура возрастает более чем на 4 °C по сравнению с апрелем.

В то же время соленость ниже отметки 5 м претерпевает минимальные изменения. В верхнем же слое вод, подверженном распределению береговым стоком, минимум солености приходится на время паводка наиболее крупных рек, Авача и Паратунка, в июне–июле. Причем по мере удаления от устьев рек этот минимум смещается на июнь (рис. 10А). Интересно, что в июле проявилось некоторое увеличение солености в глубоководной котловине от придонного горизонта до уровня порядка тех же 5 м.

Межгодовое изменение гидрологических условий

Для представления межгодового изменения гидрологических условий акватории Авачинской губы за период проведения стандартных комплексных мониторинговых съемок нами были построены временные диаграммы интегрального объемного индекса температуры (рис. 11А) и солености (рис. 11Б).

Как наглядно видно, в последнее время наблюдается постепенный рост температуры всей толщи вод Авачинской губы: весной и летом изолинии объемного индекса, соответствующие 1 и 2, постепенно смещаются к более ранним срокам, и особенно быстро этот процесс происходил в 2013–2014 гг. При этом максимум значений (индекс более 3) приходился на август–сентябрь 2018–2020 гг., в то время как

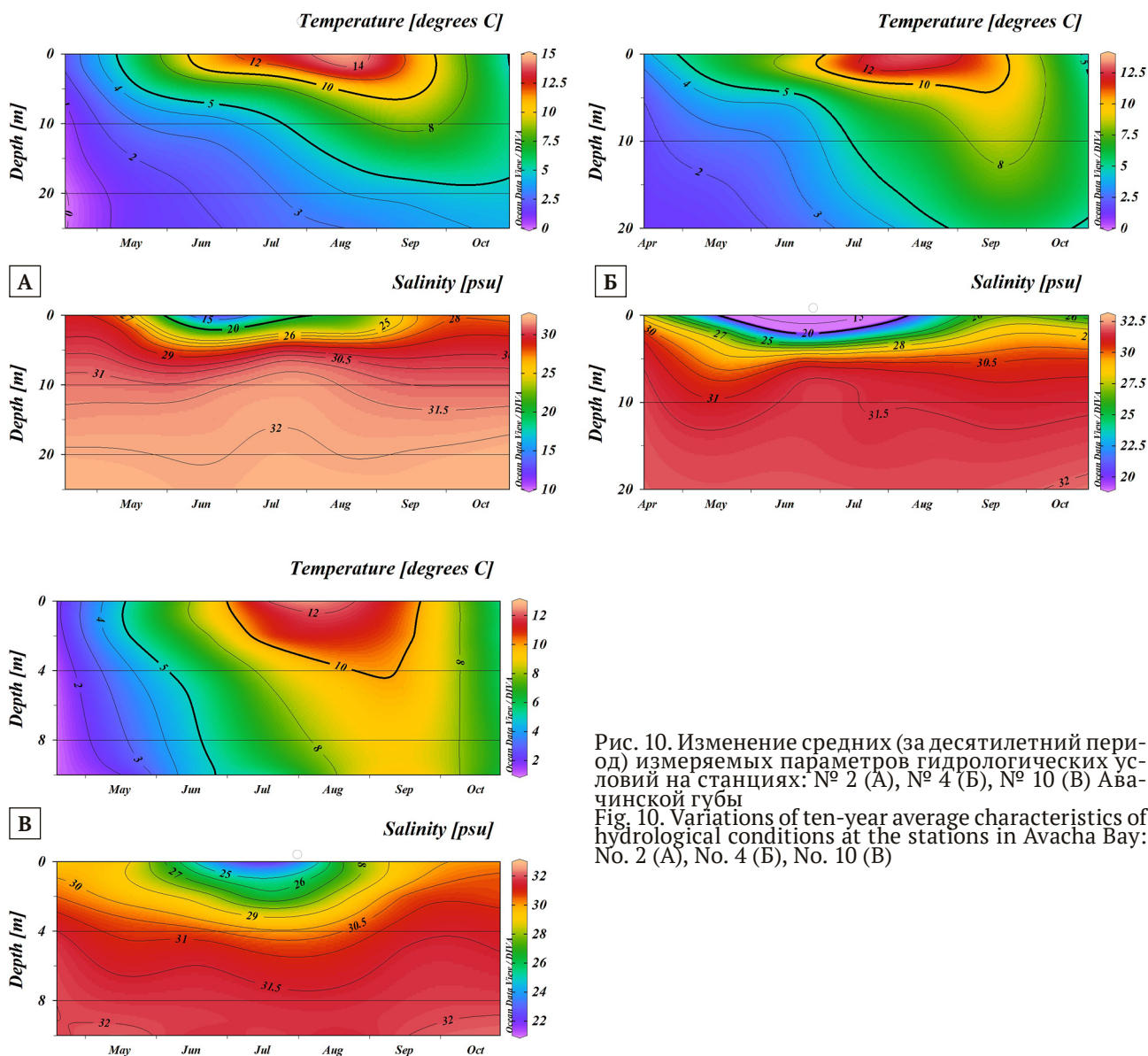


Рис. 10. Изменение средних (за десятилетний период) измеряемых параметров гидрологических условий на станциях: № 2 (А), № 4 (Б), № 10 (В) Авачинской губы
Fig. 10. Variations of ten-year average characteristics of hydrological conditions at the stations in Avacha Bay: No. 2 (А), No. 4 (Б), No. 10 (В)

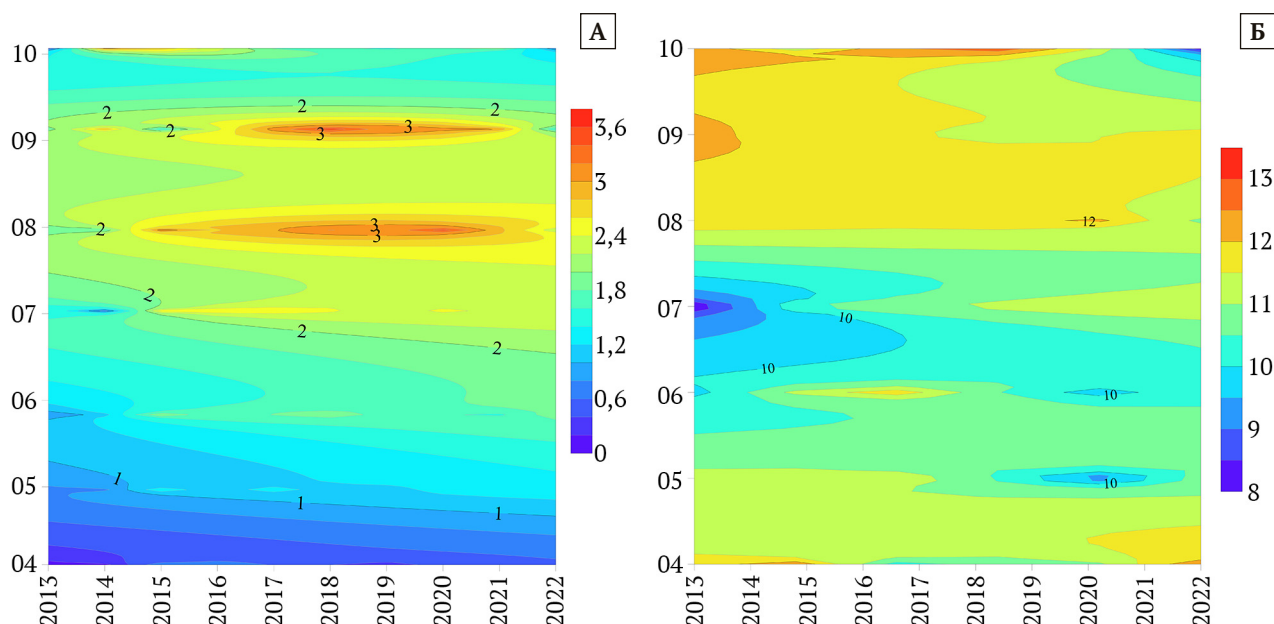


Рис. 11. Межгодовое изменение объемного индекса температуры (А) и солености (Б) вод Авачинской губы
Fig. 11. Interannual variation of 3D indices of water temperature (A) and salinity (B) in Avacha Bay

в 2021–2022 гг. наблюдалось отсутствие такого пика. В то же время начало осенне-зимнего охлаждения вод смещается не так активно: изолиния индекса, равная 2, очень незначительно отклоняется в сторону октября и имеет тенденцию к возврату на конце временного интервала. Таким образом, можно отметить значительное увеличение прогрева вод Авачинской губы в весенне-летний период 2013–2022 гг. и очень незначительный рост расчетного параметра осенью 2013–2020 гг. Т. е. последние два года наблюдается некоторое снижение уровня теплосодержания вод губы осенью при продолжающемся повышении данного показателя в весенне-летний период года, что может говорить об усилении процессов отдачи тепла в атмосферу на начальном этапе осенне-зимнего выхолаживания.

Диаграмма изменения интегрального индекса солености (рис. 11Б) позволяет выявить смещение минимума этого показателя на более ранние сроки, с июня–июля в 2013–2015 гг. на май–июнь в 2020–2021 гг. Также заметно общее понижение уровня солености объема вод Авачинской губы в осенние месяцы при небольшом росте данного показателя в летний период года. Это довольно хорошо согласуется с рассмотренным выше изменением уровня осадков в регионе, по данным ГМС Петропавловский Маяк.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большой объем накопленной за десятилетие проведения стандартных гидрологических

съемок на акватории Авачинской губы натурной информации позволил рассчитать средне-многолетние показатели для температуры и солености с достаточной степенью точности. На основании этих данных были построены графики внутригодового хода всех перечисленных параметров на десяти станциях. Последующий анализ межгодового изменения гидрометеорологических условий позволил выявить некоторые их особенности. На протяжении всего периода проведения гидрологических исследований наблюдается устойчивое превышение климатической нормы для температуры воздуха и осадков. Однако на рассматриваемом диапазоне лет температура воздуха испытывала значительные межгодовые колебания, а уровень осадков заметно возрастал только в период с 2013 по 2015 г., далее наметилась тенденция к медленному снижению с минимумом в 2022 г. Приземное атмосферное давление превышало норму летом и осенью, но зимой было ниже ее. Рассчитаны средние за десятилетний период показатели температуры, солености, концентрации хлорофилла- α и уровня насыщения вод кислородом для апреля–октября на 10 станциях по стандартным горизонтам. Выполненный анализ межгодовой изменчивости интегральных показателей температуры и солености всей исследуемой толщи вод Авачинской губы показал постепенный рост теплосодержания и небольшое падение солености, которое хорошо согласуется с аналогичным уменьшением уровня осадков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Баранов И.Ф.* 1944. Гидрометеорологический режим Авачинского залива и бухт Юго-Восточной Камчатки. Петропавловск-Камчатский: ГФД КУГКС. 147 с.
- Быкасов В.Е.* 2011. Поход Родиона Преснецова // *Вопр. истории Камчатки*. Вып. 5. Петропавловск-Камчатский: Новая книга. С. 245–285.
- Гриб Е.Н.* 1985. Андезиты горы Мишенной // *Вопр. географии Камчатки*. Вып. 9. Стр. 130–133.
- Гриб Е.Н., Делемень И.Ф., Федотов С.А.* 1986. Строение, состав и происхождение андезитового купола г. Мишенной (Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. № 6. С. 29–45.
- Дмитриев В.Д., Ежов Б.В.* 1977. К вопросу о происхождении Авачинской губы // *Вопр. географии Камчатки*. Вып. 7. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. кн. изд-во, Камч. отд. С. 45–47.
- Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2017 году. 2018. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 377 с. С. 68–75.
- Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2018 году. 2019. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 395 с. С. 77–83.
- Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2019 году. 2020. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 403 с. С. 78–83.
- Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2020 году. 2021. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 385 с. С. 66–68.
- Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2021 году. 2022. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 405 с. С. 70–72.
- Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2022 году. 2023. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 418 с. С. 81–85.
- Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2014 году. 2015. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 316 с. С. 39–49.
- Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2015 году. 2016. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 374 с. С. 42–49.
- Доклад об экологической ситуации в Камчатском крае в 2016 году. 2017. Петропавловск-Камчатский: Мин-во природ. ресурсов и экологии Камчатского края. 328 с. С. 45–49.
- Дубик Ю.М., Огородов Н.В.* 1970. Вулканический конус в Авачинской губе // *Вопр. географии Камчатки*. Вып. 6. С. 171–172.
- Захарков С.П., Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Штрайхерт Е.А., Гордейчук Т.Н.* 2020. Первичная продукция Авачинской бухты летом 2017 г. // *Вестник ДВО РАН*. № 1 (209). С. 83–89.
- Качество морских вод по гидрохимическим показателям: Ежегодники 2014–2021. Под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука.
- Кашутин Ф.Н., Климова А.В., Егорова Е.В.* 2019. Физико-географические условия водного баланса Авачинской губы // *Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса*. № 1 (39). С. 16–21.
- Кондратьев В.И.* 1983. Климат Петропавловска-Камчатского. Л.: Гидрометеиздат. С. 170.
- Лепская Е.В., Курбанова Л.В.* 2017. Фитопланктон как индикатор экологического состояния пелагиали Авачинской губы (Камчатка) / *Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление* : Сб. матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию КамчатНИРО (Петропавловск-Камчатский, 3–6 октября 2017 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 320–321.
- Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Канапацкий Т.А.* 2020. Результаты определения р/в фитопланктона в Авачинской губе (Восточная Камчатка) / *Морские исследования и образование (MARESEDU-2019)* : Тр. VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 28–31 октября 2019 г.). Т. II (III). М.: ООО «ПоллиПРЕСС». С. 318–320.
- Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В., Устищенко Е.А., Сергеенко Н.В., Виноградова Д.С., Свириденко В.Д., Походина М.А., Щеголькова В.А., Максименков В.В., Полякова А.А., Галямов Р.С., Горин С.Л., Коваль М.В.* 2014. Исторический обзор исследований и основные результаты комплексного экологического мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана*. Вып. 34. С. 6–21.
- Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Полякова А.А.* 2016. Планктон Авачинской губы (Камчатка) как индикатор комплексного воздействия природных и антропогенных факторов / *Морские биологические исследования: достижения и перспективы* : Сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Севастополь, 19–24 сентября 2016 г.). Т. 2. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. С. 339–342.

Меньшиков В.И., Лазо А.В. 1975. Гидрометеорологический режим Авачинской губы // Тр. ДВНИГМИ. Вып. 21. С. 63–79.

Полевой Б.П. 1984. Кем и когда была открыта Авачинская губа / Норд-ост. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. книжн. изд-во, Камч. отд. С. 75–81.

Потанов В.В. 2014. Гидрологическая характеристика Авачинской губы // Фундаментальные исследования. № 9–10. С. 2227–2231.

Ресурсы поверхностных вод СССР. 1973. Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР... Камчатка / 6 т. Под ред. канд. геогр. наук М.Г. Васьяковского. Л.: Гидрометеиздат. 367 с. Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2023

REFERENCES

- Baranov I.F. *Gidrometeorologicheskiy rezhim Avachinskogo zaliva i bukht Yugo-Vostochnoy Kamchatki* [Hydrometeorological regime of Avacha Gulf and bays of South-East Kamchatka]. Petropavlovsk-Kamchatsky: GFD KUGKS, 1944, 147 p.
- Bykasov V.Ye. Rodion Presnetsov's Campaign. *Voprosy istorii Kamchatki*, 2011, vol. 5, pp. 245–285. (In Russ.)
- Grib Y.N. Andesites of Mount Mishennaya. *Voprosy geografii Kamchatki*, 1985, vol. 9, pp. 130–133. (In Russ.)
- Grib Y.N., Delemen I.F., Fedotov S.A. Structure, composition and origin of the andesite dome of Mount Mishennoy (Kamchatka). *Volcanology & Seismology*, 1986, no. 6, pp. 29–45. (In Russ.)
- Dmitriev V.D., Yezhov B.V. On the origin of Avacha Bay. *Voprosy geografii Kamchatki*, 1977, issue 7, pp. 45–47. (In Russ.)
- Report on the state of the environment in Kamchatka Krai in 2017. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2018, pp. 68–75. (In Russ.)
- Report on the state of the environment in Kamchatka Krai in 2018. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2019, pp. 77–83. (In Russ.)
- Report on the state of the environment in Kamchatka Krai in 2018. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2019, pp. 78–83. (In Russ.)
- Report on the state of the environment in Kamchatka Krai in 2020. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2021, pp. 66–68. (In Russ.)
- Report on the state of the environment in Kamchatka Krai in 2021. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2022, pp. 70–72. (In Russ.)
- Report on the state of the environment in Kamchatka Krai in 2022. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2023, pp. 81–85. (In Russ.)
- Report on the environmental situation in Kamchatka Krai in 2014. 2015. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2015, pp. 39–49. (In Russ.)
- Report on the environmental situation in Kamchatka Krai in 2015. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2016, pp. 42–49. (In Russ.)
- Report on the environmental situation in Kamchatka Krai in 2016. Petropavlovsk-Kamchatsky: *Ministry of Natural Resources and Ecology of Kamchatka Krai*, 2017, pp. 45–49. (In Russ.)
- Dubik Y.M., Ogorodov N.V. Volcanic cone in Avacha Bay. *Voprosy geografii Kamchatka*, 1970, issue 6, pp. 171–172. (In Russ.)
- Zakharkov S.P., Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Shtraikhert E.A., Gordeichuk T.N. Primary production of the Avacha Bay in Summer 2017. *Vestnik DVO RAN*, 2020, no. 1 (209), pp. 83–89. (In Russ.)
- Kachestvo morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam: Yezhegodniki 2014–2021* [Seawater quality by hydrochemical indicators: Yearbooks 2014–2021]. Korshenko A.N. Moscow: Nauka.
- Kashutin A.N., Klimova A.V., Egorova E.V. Hydrographic characteristics of water balance of Avacha Bay. *Theoretical and Applied Problems of Agro-industry*, 2019, no. 1 (39), pp. 16–21. (In Russ.)
- Kondratyuk V.I. *Klimat Petropavlovsk-Kamchatskogo* [Climate of Petropavlovsk-Kamchatsky]. L.: Gidrometeoizdat, 1983, 170 p.
- Lepskaya E.V., Kurbanova L.V. The phytoplankton as an indicator of the ecological state of pelagic zone in Avachinskaya Bay (Kamchatka). *Aquatic biological resources of Russia: status, monitoring, management: Coll. materials of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 85th anniversary of KamchatNIRO*. Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO, pp. 320–321. (In Russ.)
- Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Kolomeitsev V.V., Ushtimenko E.A., Sergeenko N.V., Vinogradova D.S., Sviridenko V.D., Pokhodina M.A., Schegolkova V.A., Maksimenkov V.V., Polyakova A.A., Galyamov R.S., Gorin S.L., Koval M.V. Historical review of studies of Avachinskaya Bay and principle results of complex ecological monitoring 2013. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 34, pp. 5–21. (In Russ.)
- Lepskaya E.V., Tepnin O.B. Results of determination of phytoplankton in Avacha Bay (Eastern Kam-

chatka) / *Marine Research and Education (MARESE-DU-2019)*, 2020, vol. II (III), pp. 318–320. (In Russ.)
 Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Polyakova A.A. Plankton of Avachinskaya Bay (Kamchatka), as an indicator of complex native and man-made impacts. *Marine biodiversity and problems of its conservation*, 2016, vol. 2, pp. 339–342. (In Russ.)

Menshikov V.I., Lazo A.V. Hydrometeorological regime of Avacha Bay. *Trudy DVNIGMI*, 1975, issue 21, pp. 63–79. (In Russ.)

Polevoy B.P. *Kem i kogda byla otkryta Avachinskaya guba* [By whom and when was Avacha Bay discovered]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Far Eastern Book Publishing House, 1984, pp. 75–81.

Potapov V.V. Hydrological characteristics of Avacha Bay. *Fundamental research*, 2014, no. 9–10, pp. 2227–2231. (In Russ.)

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 1973, vol. 6, Kamchatka, 367 p.

Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2023

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Автор заявляет, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки оформлены в соответствии с ГОСТом.

The author declares that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard).

Информация об авторе

О.Б. Тепнин — зав. сектором океанографии,
 Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).
 ORCID: 0000-0001-9596-4336

Information about the author

Oleg B. Tepnin – Head of Oceanography Division,
 KamchatNIRO.
 ORCID: 0000-0001-9596-4336

Статья поступила в редакцию / Received:
 04.12.2023

Одобрена после рецензирования / Revised:
 11.12.2023

Статья принята к публикации / Accepted:
 03.12.2024