

*На правах рукописи*



ЯИЦКАЯ Наталья Александровна

ТЕРМОХАЛИННЫЙ РЕЖИМ КАСПИЙСКОГО МОРЯ ПРИ  
ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ

25.00.28 – Океанология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Мурманск  
2012

Работа выполнена в отделе информационных технологий и математического моделирования Института аридных зон Южного научного центра РАН, г. Ростов-на-Дону и Мурманском морском биологическом институте Кольского научного центра РАН, г. Мурманск

**Научный руководитель:**

**Бердников Сергей Владимирович**  
доктор географических наук, профессор,  
главный ученый секретарь ЮНЦ РАН

**Официальные оппоненты:**

**Дженюк Сергей Львович**  
доктор географических наук, профессор,  
гл. научный сотрудник Мурманского  
морского биологического института КНЦ  
РАН

**Ионов Виктор Владимирович**  
кандидат географических наук, доцент,  
зав. кафедрой океанологии Санкт-  
Петербургского Государственного  
университета

**Ведущая организация:**

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова, географический  
факультет, кафедра океанологии

Защита состоится “31” октября 2012 г. в 15:30  
на заседании диссертационного совета Д 002.140.01 при Мурманском морском  
биологическом институте Кольского научного центра Российской академии наук,  
по адресу: 183010 г. Мурманск, ул. Владимирская, 17.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Мурманского морского  
биологического института Кольского научного центра РАН.

Автореферат разослан “26” сентября 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.140.01,  
кандидат географических наук



Е.Э. Кириллова

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Каспийское море – крупнейший в мире солоноватоводный замкнутый бессточный водоем, характерной особенностью которого являются значительные периодические колебания уровня. Вследствие особенностей географического положения и геоморфологического строения дна северная часть моря покрывается льдом в зимний период. Соленость вод залива Кара-Богаз-Гол в отдельные годы превышает 40‰. Этот залив используется как источник технической и пищевой соли на протяжении столетий. Акватория моря является крупной морской транспортной артерией, соединяющей пять государств. На шельфе ведется разведка углеводородов. Каспийское море – водоем с исключительными потенциальными возможностями, создающими основу всестороннего социально-экономического развития региона. Вместе с прибрежными территориями Каспийское море формирует единый природно-хозяйственный комплекс. Эффективность функционирования этого комплекса определяется, прежде всего, особенностями динамики внутренних процессов замкнутого водоема. Наряду с этим Каспийское море является чувствительным к флуктуациям внешних факторов и быстро реагирует на такие изменения.

На протяжении века в ходе уровня Каспийского моря можно выделить несколько стадий: высокого положения (минус 26 м до 1934 г.), падения (до минус 28.9 м к 1977 г.), последующего роста к 1992 г и стабилизации на относительно высоких отметках около минус 27 м. После 2010 г. начался медленный спад, который на фоне изменяющихся климатических условий может привести к очередной перестройке гидрологического режима водоема.

В 19-20 вв. выполнен ряд комплексных исследований Каспийского моря, результаты которых опубликованы в статьях, монографиях и обобщающих климатических справочниках. Выявлены основные закономерности в сезонном и многолетнем ходе гидрологического режима моря. Но значительная часть исследований проводилась для отдельных временных отрезков, выбор которых был обусловлен не климатической и гидрологической изменчивостью водоема, а имеющимся массивом данных.

В настоящее время, накопленные архивы первичной океанографической информации за весь период наблюдений, позволяют выполнить анализ гидрологического режима моря в условиях полного цикла изменения его уровня, что и определяет **актуальность** данного исследования для океанологии.

**Степень разработанности проблемы.** Изучению проблем гидрологического режима и термохалинной структуры водных масс Каспийского моря уделяли внимание многие авторитетные ученые 20 и 21 вв. (Алиев И.А., Архипкин В.С., Архипова Е.Г., Блатов А.С., Болгов М.В., Бруевич С.В., Валлер Ф.И., Винецкая Н.И., Георгиевский В.Ю., Гоптарев Н.П., Горелиц О.В., Егоров И.Г., Затучная Б.М., Катунин Д.Н., Книпович Н.М., Компаниец Ю.И., Косарев А.Н., Мамедов Р.М., Найденов В.И., Панин Г.Н., Пахомова А.С., Полонский В.Ф., Потайчук С.И., Сапожников В.В., Скриптунов Н.А., Тужилкин В.С., Фролов А.В., Хрипунов И.А., Шереметевская О.И., Шикломанов И.А.). Уже с 1950-х гг. делались первые попытки обобщений данных многолетних измерений, выполнения комплексного анализа и составления среднесезонных карт

распределения параметров. Особенно интересовал исследователей вопрос влияния колебаний уровня на термический и соленостный режимы моря. С изменением климатических условий и продолжительным снижением уровня моря выделялись новые периоды осолонения или опреснения. Не всегда такие оценки и характеристики совпадали из-за непрерывного изменения уровня моря и элементов гидрологического режима, а также различий в массивах исходных данных. Наибольшая разрозненность в оценках относится к северной части моря, которая в силу мелководья, большого объема поступающих пресных вод и некоторой изолированности от остальной акватории, наиболее чувствительна к такого рода изменениям.

Первыми комплексными атласами по Каспийскому морю, выпущенными коллективами исследователей, считаются «Каспийское море. Гидрология и гидрохимия» под редакцией С.С. Байдина и А.Н. Косарева (1986) и два тома по Каспийскому морю в рамках проекта «Моря СССР» (1992). В них дается обобщение материалов с 1950 г., которые удалось собрать авторам, рассматриваются многолетняя и сезонная динамика океанографических параметров для отдельных районов моря. С развитием информационных технологий большое внимание стало уделяться созданию электронных цифровых баз данных и процедурам автоматизированной обработки данных. Предпринимаются попытки по сбору, «оцифровке» и сохранению исторической информации (База данных Гидрометцентра России, База данных ЕСИМО, Атлас Каспийского моря ИО РАН, База данных ГОИН, Материалы Каспийской Экологической Программы, NODC NOAA). Наиболее полная база первичных океанографических данных по Каспийскому морю собрана В.С. Тужилкиным, который в своей докторской диссертации (2008) выполнил многоуровневый TS-анализ, где основное внимание уделил глубоководным районам моря – Среднему и Южному Каспию. Результаты этого анализа опубликованы, но собственно информация – исходные первичные данные - недоступны для широкого круга пользователей. В результате выполненного исторического обзора автором сформулированы цель и основные задачи исследования.

**Цель исследования:** количественное описание термохалинной структуры вод Каспийского моря в 20 веке для различных пространственно-временных масштабов.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

- Создать в соответствии с мировыми стандартами океанографическую базу данных за период инструментальных наблюдений, технологии и инструментарий для анализа пространственно-временной информации и геоинформационную систему, включающую опубликованный картографический материал по гидрологии Каспийского моря.

- Описать термохалинную структуру вод Каспийского моря для среднеклиматических условий и характерных периодов изменения уровня моря в 20 веке.

- Выполнить анализ термохалинного режима Северного Каспия в условиях изменения уровня моря, влияния климатических и антропогенных факторов, его взаимосвязь с гидрологическим режимом глубоководных районов.

**Объект исследования** - внутреннее бессточное Каспийское море, главными особенностями которого являются отсутствие связи с Мировым океаном и субмеридиональное простирание, обуславливающие значительную пространственную изменчивость океанографических параметров.

**Предмет исследования** - многолетняя и сезонная изменчивость термохалинной структуры вод Каспийского моря в условиях изменения уровня.

**Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследований.** Информационная основа исследования - архивные данные морских экспедиционных наблюдений в Каспийском море в 20 веке. Всего более 42 000 станций наблюдений. Основной источник первичных данных – ЦОД ВНИИГМИ МЦД (г. Обнинск), а также опубликованные результаты исследований и материалы морских экспедиций ЮНЦ РАН последних лет.

Изучение гидрологического режима моря опирается на традиционные, применяемые в океанологии, подходы к анализу изменчивости термохалинных полей.

В работе использованы специализированные программные средства пространственно-временного анализа данных и графического представления результатов (Statistica, Surfer, ArcGIS, Microsoft Access и др.).

**Научная новизна результатов исследования:**

- С применением современных технологий и программных средств создана геоинформационная система, включающая соответствующий мировым стандартам контроля качества данных архив первичной океанографической информации за период с 1897 по 2011 гг. (42 519 морских станций), картографическую базу данных (246 тематических слоев) и инструментарий для анализа пространственно-временной информации, позволяющая выполнять многомерный анализ пространственно-временной изменчивости океанографических параметров Каспийского моря.

- Построены сезонные вертикальные поля солёности и температуры воды для среднеклиматических условий и характерных периодов изменения уровня моря в 20 веке, позволившие выявить новые и уточнить ранее описанные закономерности пространственно-временной изменчивости гидрологических характеристик Каспийского моря.

- В результате анализа термохалинных характеристик Каспийского моря получены новые представления о пространственно-временной изменчивости солёности и водообмена в северной и средней частях моря в период минимального стояния уровня.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные результаты расширяют теоретические представления о закономерностях и особенностях изменения термохалинного режима Каспийского моря в условиях долгопериодных изменений уровня.

Практическая значимость определяется тем, что сформированная база данных интегрирована в систему Мирового центра данных НОАА (США), а отдельные элементы разработанной ГИС используются для создаваемого ЕСИМО электронного морского атласа по Каспийскому морю.

Исследования по тематике диссертационной работы велись в рамках программ фундаментальных исследований ОНЗ и Президиума РАН, ФЦП «Мировой океан» и «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

**Соответствие диссертации Паспорту научной специальности.** Сформулированные в диссертации цели и задачи, а также полученные основные результаты соответствуют формуле паспорта специальности 25.00.28-«Океанология» и следующим пунктам паспорта специальности: 4. Процессы формирования водных масс, их пространственно-временной структуры, гидрофизические поля Мирового океана; 17. Методы анализа водных масс, их классификации, районирования акваторий и поиска закономерностей формирования структуры вод Мирового океана.

**Апробация результатов исследования.** Результаты, полученные в рамках диссертационной работы, докладывались и обсуждались на научных семинарах отдела информационных технологий и математического моделирования ЮНЦ РАН (Ростов-на-Дону, 2007-2012 гг.); на 14 научных конференциях, в том числе на 5 международных.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 2 – в рецензируемых журналах из списка ВАК, 2 главы в коллективных монографиях; а также 14 тезисов научных докладов на российских и международных конференциях.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и четырех приложений. Работа изложена на 300 страницах, включает 133 рисунка и 14 таблиц, включая приложения. Список литературы содержит 75 наименований.

**Благодарности.** Автор благодарен Председателю ЮНЦ РАН, академику Г.Г. Матишову, директору Института аридных зон, д.г.н. чл.-корр. РАН Д.Г. Матишову за предоставленные возможность и условия проводить исследования, послужившие основой для написания настоящей работы, научному руководителю д.г.н. С.В. Бердникову за всестороннюю помощь и поддержку исследований, оказанную на всех этапах работы, ценные советы и рекомендации, сотрудникам отдела информационных технологий и математического моделирования Института аридных зон ЮНЦ РАН за помощь в работе, сотрудникам Лаборатории Морского Климата НОАА (США) за консультации по контролю качества океанографических данных. Особая признательность безвременно ушедшему д.г.н. В.С. Тужилкину за своевременные советы и рекомендации.

## II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. Геоинформационная система Каспийского моря, включающая соответствующий мировым стандартам контроля качества данных архив первичной океанографической информации за период с 1897 по 2011 гг. (42 519 морских станций), картографическую базу данных (246 тематических слоев) и инструментарий для анализа пространственно-временной информации.

2. Построенные на единой методической основе сезонные вертикальные термохалинные поля по всем «вековым» разрезам Каспийского моря для среднеклиматических условий и характерных периодов изменения уровня моря в 20 веке.

3. Новые представления о пространственно-временной изменчивости термохалинных характеристик северной части Каспийского моря. Показано, что в период минимального стояния уровня моря между Северным Каспием и остальной акваторией наблюдалась асинхронность режимов солёности, проявившаяся в относительном распреснении верхнего слоя Среднего и Южного Каспия и увеличении солёности Северного Каспия.

4. Особенности сезонного распределения солёности для отдельных районов моря при среднеклиматических условиях и для различных периодов. Показано, что к 1977 г. с падением уровня моря произошло изменение водообмена между восточной и западной частями Северного Каспия, уменьшение водообмена со Средним Каспием.

### III. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

#### **Введение**

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цель и основные задачи диссертационного исследования, новизна работы, ее практическая значимость, сведения об апробации и положения, выносимые на защиту.

#### **Глава 1. История изучения вопроса**

В главе представлены два раздела. В первом разделе приводится обзор гидрологических справочников и обобщающих монографий, опубликованных за весь период исследований Каспийского моря, рассматривается история изучения термохалинного режима моря и развитие сети наблюдений. Во втором разделе обсуждаются результаты обзора электронных цифровых баз данных первичной океанографической информации и географических информационных систем по Каспийскому морю, созданных за последние 20-30 лет.

#### **Глава 2. Физико-географическое описание района**

В главе дается краткая физико-географическая характеристика Каспийского моря. На основе анализа данных литературных источников, наблюдений метеорологических постов и ре-анализа NCEP/NCAR в климатическом режиме Каспийского моря выделен ряд периодов (рис. 1):

**1961-1967 гг.** Положительные аномалии температуры воздуха в январе и июле. Максимум речного стока в мае. С августа по ноябрь объем речного стока одинаковый. Максимальные скорости ветра. Преобладающее направление – юго-восточное. Уровень Каспийского моря (УКМ) имеет квазистационарное состояние при среднем значении за период минус 28.4 м.

**1972-1979 гг.** Переходный период с преобладанием отрицательных аномалий температуры воздуха. Объем речного стока минимален. Отрицательные аномалии

осадков. Низкие скорости ветра. Переходный режим в направлении – северо-восточное и юго-восточное. Минимальное положение УКМ за век минус 29.0 м.

**1984-1991 гг.** Переходный период с преобладанием положительных аномалий температуры воздуха. Увеличение объемов стока, особенно осенью. Возрастает роль стока в июне. Переходный период с преобладанием положительных аномалий осадков. Постепенный рост скоростей ветра. Преобладающее направление – северо-восточное. Интенсивный рост УКМ. Среднее значение за период составляет минус 27.6 м.

**2000-2010 гг.** Развитие положительных аномалий температуры воздуха в январе и смешанный режим в июле с преобладанием положительных аномалий. Увеличение объемов стока по сравнению с предыдущим периодом. Половодье наступает в мае. Переходный период с преобладанием положительных аномалий осадков. Некоторое снижение скорости ветра. Переходный режим в направлении – юго-восточное и юго-западное. УКМ имеет квазистационарное состояние при среднем значении за период минус 27.0 м.

Дополнительно был выделен период 1914-1934 гг., характеризующий термохалинную структуру вод в начале 20 в. на этапе относительно высокого и устойчивого положения УКМ минус 26.1 м.

### **Глава 3. Океанографическая база данных и геоинформационная система Каспийского моря**

В главе дано представление об океанографической базе данных и геоинформационной системе Каспийского моря; подробно рассмотрены этапы обработки данных и подготовки их к анализу.

**Океанографическая база данных.** На основе опыта разработки климатических атласов северных и южных морей ММБИ КНЦ РАН, NODC NOAA (USA) и ЮНЦ РАН создана океанографическая база данных (ОБД) по Каспийскому морю, которая включает первичную океанографическую информацию по 42 519 морским станциям за период с 1897 г. по 2011 г. (рис. 1), всего 168 576 измерений температуры и 144 289 измерений солености воды. Помимо основных компонентов – температура и соленость воды – в ОБД включена гидрохимическая и метеорологическая информация, всего более 50 параметров.

Основные источники информации о рейсах: ЦОД ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск) (1926-1991 гг.); ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону) (2004-2009 гг.); литературные материалы (1897-1963 гг.).

При формировании ОБД применена многоуровневая система с двойным контролем качества информации, соответствующая мировым стандартам.



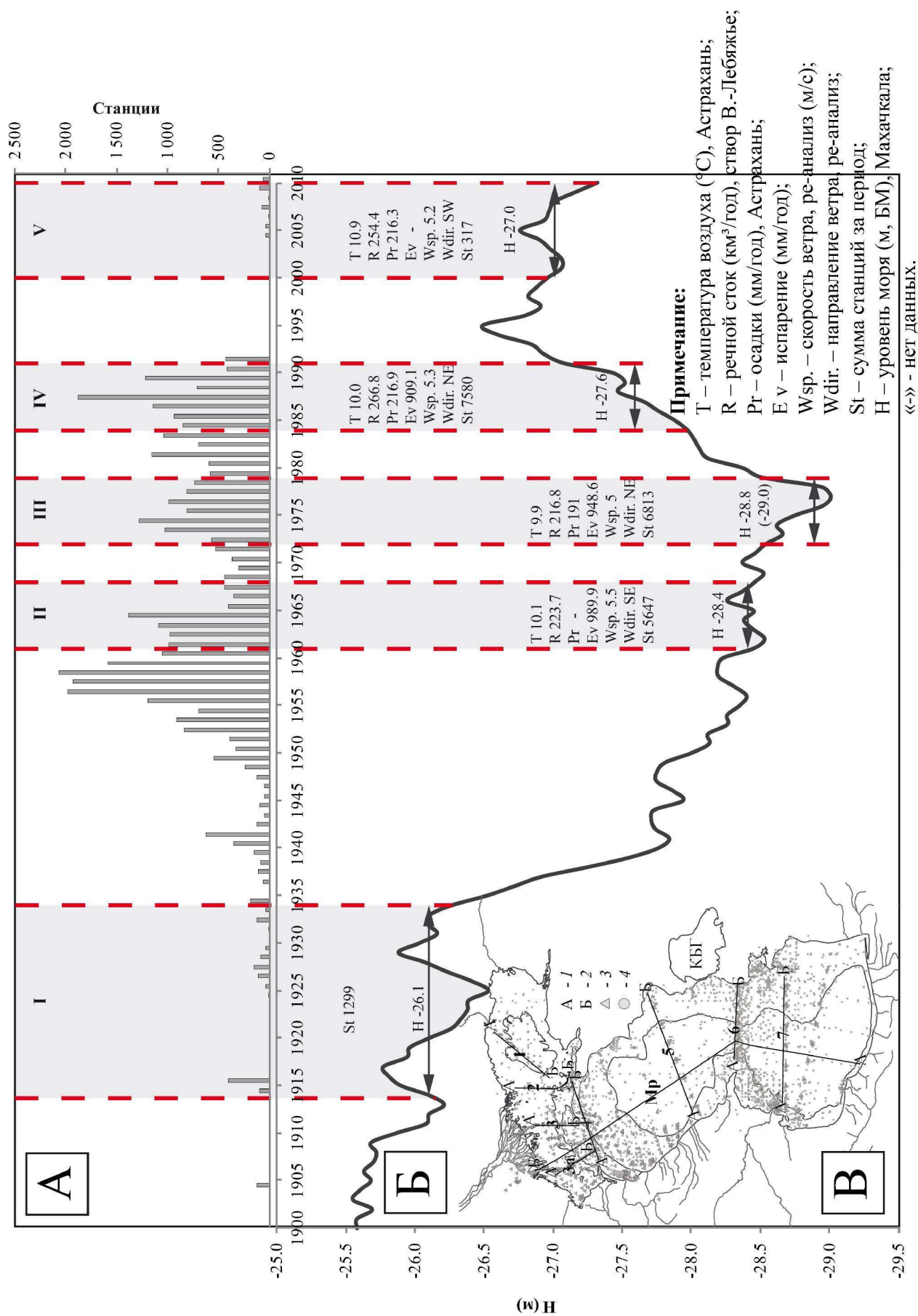


Рисунок 1 – Межгодовые колебания УКМ и выделенные периоды. А – распределение станций в БД по годам;  
 Б – Межгодовые колебания УКМ; В – пространственное распределение данных в БД и положение «вековых» разрезов:  
 1 – начало разреза, 2 – конец разреза, 3 – измерения, выполненные ЮНЦ РАН, 4 – данные исторических наблюдений

**Геоинформационная система «Каспийское море».** Одновременно с созданием ОБД была сформирована геоинформационная система (ГИС) по Каспийскому морю для формализации исторического картографического материала о пространственном распределении параметров, а также использования в качестве исходных данных в математических моделях. С применением ГИС Каспийского моря и разработанного в ЮНЦ РАН инструментария построены вертикальные климатические профили, поля распределения характеристик. В системе используется симбиоз двух моделей данных, лежащих в основе представления пространственной и семантической информации в ГИС, геореляционная модель. Для хранения информации была выбрана база геоданных (БГД), которая включает в себя: векторные данные (пространственные классы и наборы данных); растровые данные (наборы растров и каталоги растров), которые представлены космическими снимками, топографическими и тематическими растровыми картами с пространственной привязкой, результатами пространственного анализа в виде растровых поверхностей; непространственные таблицы, представленные исходными данными и результатами расчетов с применением математических моделей.

В ГИС включены пять основных подсистем. Подсистема «Океанографическая база данных» включает пространственно привязанную информацию из ОБД по Каспийскому морю. Данные наблюдений за соленостью и температурой воды были использованы для построения климатических полей распределения и вертикальных профилей, а также как исходные данные для построения модельного распределения полей солености и температуры воды в подсистеме «Модельные оценки». Подсистема «Батиметрия» включает данные по батиметрии за разные временные периоды - 1900-1925 гг., 1940-1948 гг., 1951-1965 гг., 1968-1978 гг., 1987-1999 гг. Отдельно включены карты глубин за 1933 г., 1941 г., 1957 г., 1959 г., 1960 г., 1977 г., навигационные и батиметрические карты, изданные 1980-х гг. и 2000-х гг. Данная информация использовалась при контроле качества первичных данных. Подсистемы «Гидрология и гидрохимия» и «Метеорология» разработаны для сбора, хранения и анализа тематической картографической информации по Каспийскому морю, опубликованной за исторический период, оцифрованные поля распределения гидрологических и гидрохимических параметров. Здесь собраны данные наблюдений за соленостью и температурой воды с 1940 г. на стандартных горизонтах, прозрачностью с 1961 по 1983 гг., величинами нагона и сгона; облачностью, давлением водяного пара, относительной влажностью воздуха, солнечной радиацией, скоростью ветра, осадками, температурой воздуха, положением кромки льда по литературным материалам и данным спутникового мониторинга. Всего собрано более 200 картосхем. Данные, полученные после оцифровки картосхем и интерполированные в узлы регулярной сетки, являются входными параметрами при моделировании гидрологического режима Каспийского моря. Подсистема «Модельные оценки» включает набор подпрограмм для построения пространственного распределения входных параметров модели гидрологического режима по картосхемам из подсистем «Батиметрия», «Гидрология и гидрохимия», «Метеорология», результатов расчета солености и температуры воды.

**Методы обработки данных.** Обработка данных океанографической базы данных была разделена на несколько этапов:

- 1 инвентаризация данных;
- 2 контроль качества данных;
- 3 статистические оценки, выбросы;
- 4 построение распределения станций по квадратам;
- 5 усреднение данных для определения климатической нормы;
- 6 построение вертикальных профилей.

Для инвентаризации данных выполнялось несколько процедур визуализации первичных данных - построение т.н. «карт изученности»: для каждого месяца по годам, по месяцам для всего периода наблюдений, по месяцам за весь период наблюдений отдельно для каждого океанографического разреза в пределах т.н. «зоны влияния» для разных ее размеров: от 5 до 50 км. Такой подход позволил провести детальный количественный анализ пространственного распределения накопленной информации и выбрать оптимальные размеры «зон влияния», временное и пространственное (как вертикальное, так и горизонтальное) разрешение для построения климатических профилей. Показано, что для пространственного анализа данных оптимальным является ширина зоны влияния 20 км по обе стороны от разреза.

Процедура контроля качества представляет собой итеративный процесс, состоящий из этапов автоматизированного объективного контроля качества данных и субъективного анализа, выполняемого специалистом. После ее завершения был сформирован массив данных, используемый в работе для последующей статистической обработки.

Чтобы учесть наибольшее количество измерений и для исключения неоднородности в распределении, данные усреднялись по регулярной сетке с пространственным разрешением 15 минут по долготе и широте. При таком подходе каждому квадрату в пределах разрезов практически всегда соответствует одна стандартная станция разреза. В пределах каждого квадрата данные последовательно были усреднены для каждого стандартного горизонта 0 м, 5 м, 10 м, 20 м, ..., 900 м: в пределах каждого месяца каждого года (1 шаг) и в пределах каждого месяца для всего периода наблюдений (2 шаг). Крайние значения (минимум и максимум) на 1 шаге в расчетах не участвовали. Таким образом, для одного квадрата каждый месяц каждого года характеризует одно значение температуры или солёности.

При усреднении данных для определения климатической нормы на основе анализа многолетнего изменения температуры воздуха, скорости ветра, осадков, испарения, стока р.Волги, динамики уровня моря определены годы с отклонениями параметров от среднемноголетней нормы и периоды с относительно стабильными климатическими условиями (см. глава 2). Данные аномальных в климатическом отношении лет в расчетах среднемноголетнего сезонного распределения не участвовали. Далее выполнялось построение сезонного хода солёности и температуры воды для моря в целом, разрезов и отдельных квадратов разрезов.

Итоговый расчет климатического сезонного хода температуры и солености был выполнен для стандартных горизонтов всех разрезов по квадратам принятой ранее сеточной области. Выбор наиболее представительных для дальнейшего анализа квадратов основывался не только на количестве выполненных измерений, но также исходя из геоморфологических особенностей:

1-3а разрезы: зоны с глубинами 0-5 м; 5-10 м; 10-20 м.

4 разрез: западная прибрежная область, находящаяся под влиянием речного стока с глубинами до 20 м; центральная область – зона смешения пресных и среднекаспийских более соленых вод с глубинами более 20 м; восточная прибрежная область – зона залива среднекаспийских вод с глубинами менее 20 м.

5-7 разрезы: западная прибрежная мелководная область, находящаяся под влиянием речного стока с глубинами до 100 м; центральная глубоководная область с глубинами более 100 м; восточная прибрежная мелководная область с глубинами менее 100 м).

На следующем этапе работ выполнялось построение вертикальных климатических профилей для всех «вековых» разрезов. Дополнительно был построен меридиональный разрез, проходящий через наиболее глубоководные части моря с юга на север и оканчивающийся в дельте р. Волги. Данные, так же как и при построении сезонного хода температуры и солености, последовательно усреднялись в пределах квадратов ежегодно для каждого месяца по стандартным горизонтам. Крайние значения (максимум и минимум) исключались. Полученные значения в узлах сеточной области визуализировались в среде ArcGIS.

#### **Глава 4. Среднегодовое термохалинное течение Каспийского моря**

В главе дана характеристика среднегодового термохалинного течения Каспийского моря – сезонная динамика и вертикальное распределение. Выявлены основные тенденции сезонной изменчивости термохалинного течения, особенности водообмена между отдельными районами моря. Основой для анализа послужили, построенные сезонные климатические характеристики температуры и солености вод для всех «вековых» разрезов и отдельных районов на стандартных горизонтах, полученные по информации из базы данных.

**Сезонная динамика температуры и солености вод.** В отношении сезонного хода соленость Каспийского моря, в отличие от температуры воды, является консервативным параметром и изменения связаны в основном с притоком речных вод. На акваторию Северного Каспия оказывает влияние также – длительность ледостава. Здесь наблюдается два минимума солености – в марте и с мая по июнь (рис. 2). В мае опресняется главным образом только восточный район Северного Каспия и приустьевые области. В зоне непосредственного влияния р. Волги – центральная и западная области Северного Каспия – опреснение начинается в июне и, по мере продвижения волны половодья на юг под действием северных ветров, продолжается до июля. В центральной области (район 3 разреза) минимальные значения солености характерны для июня на всем разрезе и во всей толще до изобаты 15 м, южнее опреснение наступает в июле. В западной области (район 3а разреза) минимальные значения во всей толще наблюдаются в июне-июле, а севернее о. Кулалы (северная часть 2 разреза) – в июле.

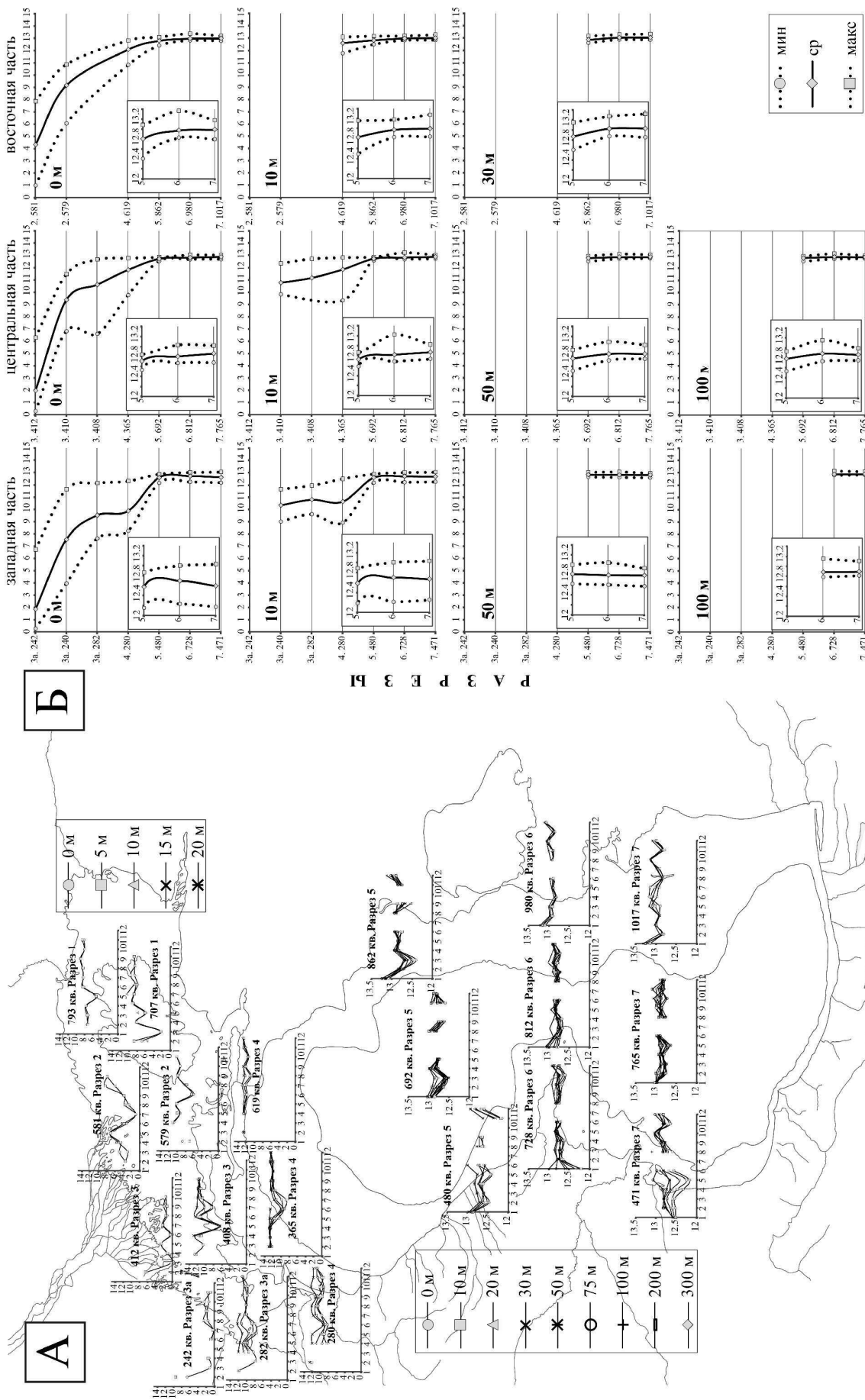


Рисунок 2 - Среднесезонное распределение солёности вод Каспийского моря по квадратам разрезов.

А – сезонное распределение солёности на стандартных горизонтах;

Б – изменение среднего, минимума и максимума солёности на стандартных горизонтах

Примечание: по оси Y приведены номера разрезов и квадратов через точку. На врезках представлены увеличенные разрезы 5-7

Такое запаздывание является следствием притока сюда среднекаспийских вод. К августу опресненные воды проникают южнее о. Кулалы. В районе 4 разреза минимум солености смещается с июня на август при движении на восток к Мангышлакскому п-ову. В центральной части 4 разреза на поверхности минимальные значения в июне. На горизонте 5 м минимум отмечается в июле. Эта область требует детального рассмотрения, и длительность опреснения во многом зависит от внешних климатических условий, обеспечивающих объем и длительность половодья и объем вод, поступающих из Среднего Каспия.

Для климатического сезонного хода солености в районе Апшеронского порога (6 разрез) характерно наличия минимумов в апреле и июне. В отдельных областях данные минимум и максимумы выражены в разной степени. Но, то, что они отмечаются и в центральной и восточной областях, свидетельствует о том, что в районе Апшеронского порога одна ветвь Каспийского течения поворачивает на восток, а основной объем водных масс продолжает двигаться на юг далее. В целом для Южного Каспия (7 разрез) характерен минимум значений солености, который приходится на май (соленость снижается на горизонте 0 м до 12.2‰, в отдельные годы до 11.6‰ при среднегодовом значении 12.6‰). Сезонные различия значений солености уменьшаются с запада на восток в Среднем Каспии и в районе Апшеронского порога. В Южном Каспии, за счет интенсивного испарения на юго-востоке и речного стока на западе, наименьшие различия наблюдаются в центральной глубоководной части. В глубоководных районах сезонные различия солености практически не прослеживаются ниже горизонта 50 м. Так же, как и в районе Апшеронского порога, сезонное опреснение возле восточного побережья практически отсутствует.

Исходя из времени наступления весеннего распреснения, можно сделать вывод о том, что воды Северного Каспия, достигающие примерно к августу Апшеронского порога, не оказывают существенного распресняющего воздействия, но позволяют еще некоторое время держаться пониженным значениям солености. В мае на западном побережье Среднего и Южного Каспия происходит распреснение от местных источников. В районе 6 разреза, вследствие относительно небольших глубин и расстояния, опресненные воды по отходящей ветке течения достигают восточного побережья в течение одного месяца (июнь). В районе 7 разреза наличие двух летних минимумов солености может говорить о том, что июльский образуется из-за локального круговорота в глубоководной части моря (где и расположен разрез), т.е. время прохождения струи с запада на восток составляет около 1.5 месяцев, а минимум в августе образуется после того, как основное круговое течение достигает 7 разреза.

Температура воды Каспийского моря закономерно увеличивается с северо-запада на юго-восток (рис. 3). Максимальная сезонная изменчивость характерна для восточной части Северного Каспия – 2 разрез и составляет на горизонте 0 м 27.0°C (февраль – 0.34°C, июль – 27.3°C). Сезонные различия сглаживаются по мере продвижения на юг. Если в Северном Каспии разница сезонных температур на всех разрезах составляет более 22.0°C, то уже в Среднем Каспии – 17.0°C, в районе Апшеронского порога – 18.3°C, в Южном Каспии – 18.0°C.

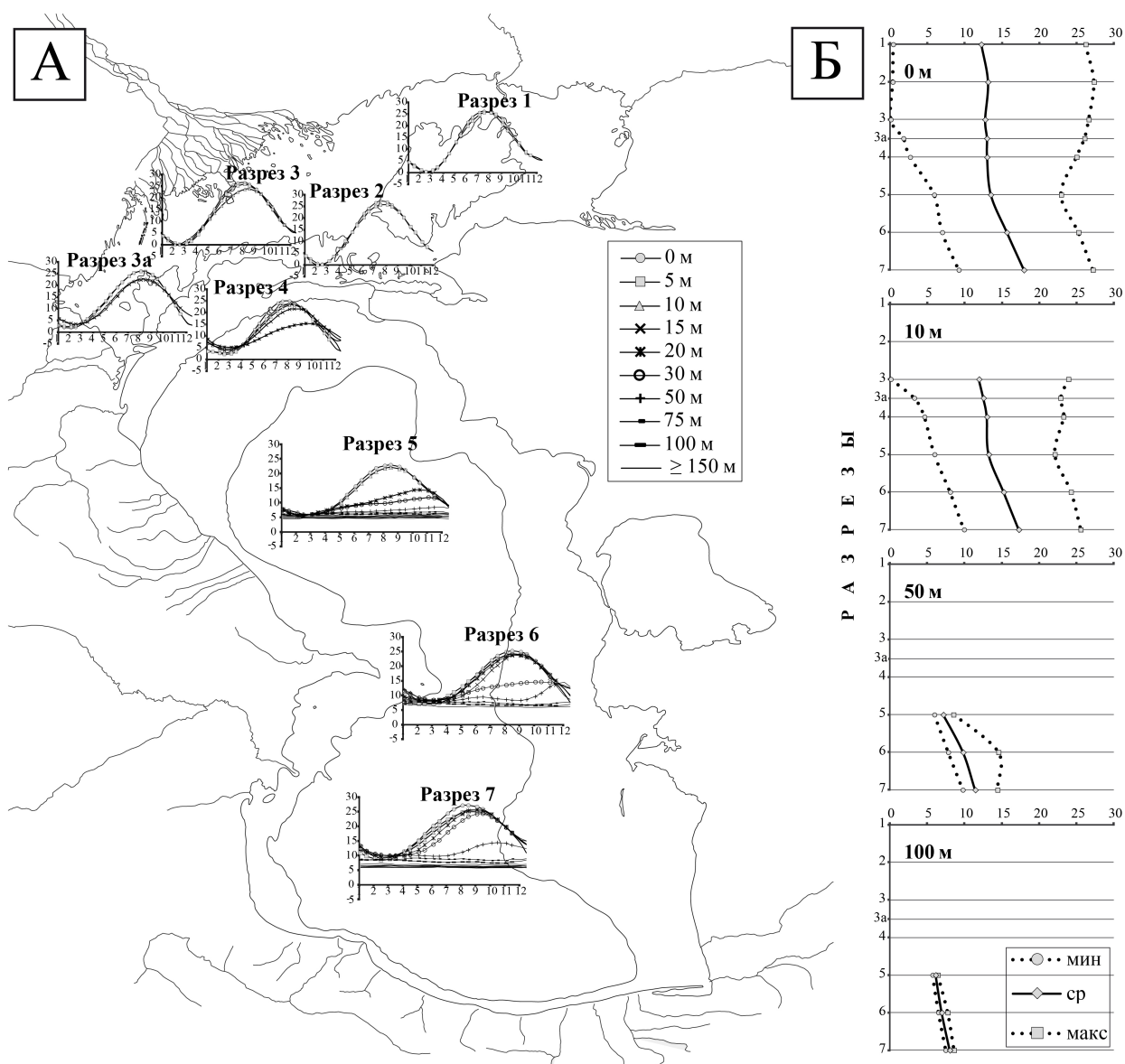


Рисунок 3 - Среднемноголетнее распределение температуры вод Каспийского моря по квадратам разрезов.

**А** – сезонное распределение солёности на стандартных горизонтах;

**Б** – изменение среднего, минимума и максимума солёности на стандартных горизонтах

**Примечание:** по оси Y приведены номера разрезов

В Среднем Каспии уменьшение сезонных разностей происходит за счет относительно высоких зимних температур (минимум  $5.9^{\circ}\text{C}$ ) и невысоких летних (максимум  $22.9^{\circ}\text{C}$ ). А в районе Апшеронского порога и Южном Каспии, главным образом, за счет высоких зимних температур ( $7.0^{\circ}\text{C}$  и  $9.2^{\circ}\text{C}$ ). Годовой минимум температуры воды в Каспийском море отмечается в феврале. Наиболее низкие значения (самые холодные районы) – приустьевое взморье р.Волги и р.Урал ( $0.09^{\circ}\text{C}$  и  $0.4^{\circ}\text{C}$  соответственно). Здесь же отмечаются и высокие летние температуры – до  $27.3^{\circ}\text{C}$ . Наиболее высокие зимние температуры характерны для Южного Каспия ( $9.2^{\circ}\text{C}$  в феврале) при максимальной среднегодовой температуре  $17.9^{\circ}\text{C}$ .



В мелководном Северном Каспии на глубине 5 м происходит незначительное (до  $1.5^{\circ}\text{C}$ ) уменьшение летних температур, а увеличение зимних характерно только для западной части (до  $0.6^{\circ}\text{C}$ ). На остальной акватории с глубиной происходит уменьшение сезонных различий и среднегодового значения при увеличении зимних и уменьшении летних температур. Смещение месяцев максимальной и минимальной температуры, сопровождающееся значительным уменьшением летних температур, происходит на горизонте 20 м в районе свала глубин в Северном Каспии и в Среднем Каспии на март и сентябрь-октябрь соответственно. В районе Апшеронского порога и в Южном Каспии процесс происходит медленнее и изменение сезонного хода заметно только на глубине 30 м. При этом в Южном Каспии осенние температуры продолжают оставаться высокими – до  $24.3^{\circ}\text{C}$ . Сезонные различия практически не прослеживаются в Среднем Каспии с горизонта 50 м и ниже, в районе Апшеронского порога и в Южном Каспии – с горизонта 100 м. На глубине 75 м в котловинах сезонная разница температур колеблется в пределах  $1.0^{\circ}\text{C}$ , в районе Апшеронского порога до  $1.2^{\circ}\text{C}$ . И уже на горизонте 150 м во всех районах составляет менее  $1.0^{\circ}\text{C}$ . С 200 м до 300 м в котловинах температура продолжает понижаться с глубиной в среднем на  $0.2^{\circ}\text{C}$  на 100 м. Ниже 300 м уменьшение температуры составляет  $0.1^{\circ}\text{C}$  на каждые 100 м.

**Вертикальное сезонное распределение температуры и солености вод.** В Северном Каспии по типу стратификации независимо от сезона условно можно выделить три зоны: Уральская бороздина, где соленостная стратификация наблюдается во все месяцы и связана с поступлением вод из Среднего Каспия, а температурная появляется в летне-осенний период и летом также обусловлена притоком среднекаспийских вод, а осенью интенсивным охлаждением поверхностного слоя; область с глубинами до 5 м (фактически взморье р.Волги и р.Урал), где стратификация как температурная так и соленостная отсутствуют из-за влияния речного стока; область с глубинами более 5 м в центральной и западной частях, где соленостная и температурная стратификация наблюдается с апреля по август и связана с волжским стоком и компенсационным потоком из Среднего Каспия. Воды на линии о.Чечень – п-ов Мангышлак стратифицированы по солености у побережий, в центре наблюдается однородное распределение от поверхности до дна весь год. Соотношение объемов поступающих среднекаспийских и волжских вод в Северный Каспий во многом определяют конфигурацию изолиний на вертикальном сечении профилей от сезона к сезону. Максимальные градиенты солености характерны для центральной и западной прибрежной части Северного Каспия -  $11.5\text{‰}$  (в апреле  $1.1\text{‰}$  в дельте и  $12.6\text{‰}$  на границе со Средним Каспием). В Среднем и Южном Каспии в центральных областях с февраля по апрель сохраняются пониженные температуры и куполообразный вид изотерм, что говорит о подъеме глубинных вод и наличии в этих областях циклонического круговорота. В апреле начинает формироваться слой скачка температуры в слое 50-100 м. Уже к маю термоклин поднимется до глубины 20 м и остается там до сентября.



## **Глава 5. Многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Каспийского моря**

В главе рассмотрена многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Каспийского моря для февраля, апреля, июня, августа, октября (Северный Каспий) и ноября (остальная акватория). Для выделенных климатических периодов построены вертикальные профили температуры и солёности вод Каспийского моря на всех «вековых» разрезах, а также сезонный ход параметров.

**Межгодовая сезонная динамика.** В многолетней изменчивости солёности Северного Каспия выделяется два максимума: с 1974 по 1976 гг. и с 1982 по 1983 гг. Первый связан со значительным уменьшением объема речного стока, уменьшением количества осадков. Второй – с ростом температуры воздуха и испарения. После 1983 г. можно отметить относительное опреснение на всех горизонтах. Для восточной и центральной областей Северного Каспия период 1961-67 гг. характеризовался относительно среднеклиматической нормы пресными и холодными водами, в период 1972-79 гг. при минимальном положении УКМ произошло повышение солёности и температуры вод, с 1984 по 1991 гг. с поднятием уровня моря произошло опреснение и дальнейшее повышение температуры вод. Для пограничной зоны между Северным и Средним Каспием (район 4 разреза) наиболее низкие значения солёности отмечаются в 1961-67 гг. С падением УКМ солёность возрастает, но в 1980-х гг. значительных изменений средних значений в сторону опреснения не происходит. Это связано с возрастанием значений солёности у западного побережья в 1984-91 гг. и снижением у восточного по сравнению с 1972-79 гг.

Для акватории Среднего и Южного Каспия характерно наличие двух максимумов: в 1969-70 гг. и 1980-81 гг. (Бердников и др., 2010; Матишов и др., 2012). После 1981 г. наблюдается распреснение поверхностного слоя на всех разрезах и развитие устойчивой солёностной стратификации, связанной с ростом объемов речного стока. Можно выделить следующие основные стадии вертикального распределения величин солёности. На начальной этапе в 1961-1967 гг. при относительной стабилизации уровня моря возле отметок минус 28.3 м сформировалась однородная вертикальная структура солёности вод Каспия. В 1969 г. произошло резкое кратковременное увеличение солёности на 0.5‰ и последующий спад к 1971 г. Переходная стадия (1972-1979 гг.) охватывает период резкого падения уровня моря до отметок минус 28.9 м. Происходит усиление вертикальной неоднородности водных масс, при этом, несмотря на продолжающееся падение уровня и относительно низкий сток, среднегодовая солёность уменьшается со средним темпом 0.02-0.06‰ в год. В 1980 г. снова происходит резкий рост значений солёности (на 0.3‰), затем опять солёность падает, более быстрыми темпами, чем в предыдущий период, теперь уже вследствие увеличения стока и на фоне подъема уровня моря (почти на 1.5 м). Следующая стадия (1984-1991 гг.) характеризовалась опреснением поверхностного слоя и развитием устойчивой солёностной стратификации, связанной с ростом объемов речного стока. Важно отметить синхронность изменения солёности во всем глубоководном бассейне Каспийского моря. Можно сделать вывод, что современный режим и характерные для него значения

солёности (наличие выраженной вертикальной устойчивой стратификации и некоторое снижение по сравнению с 1960-70-ми гг.) соответствуют режиму и значениям солёности начала 20 века. Таким образом, после более чем 30-летнего увеличения и смены типа TS-стратификации вод, режим солёности практически вернулся к первоначальному состоянию (начала века).

**Вертикальное распределение температуры и солёности по периодам.** В разделе описаны основные особенности многолетних изменений в термохалинном режиме вод Каспийского моря. Основным источником информации при анализе послужили профили вертикального распределения температуры и солёности вод моря, построенные по месяцам для всех «вековых» разрезов для пяти периодов.

**Период 1961-67 гг.** Для восточной части Северного Каспия и Кулалинского порога этот период характеризуется повсеместным снижением значений солёности по сравнению со среднеклиматической нормой на 0.2-1‰ (рис. 4). Вертикальная солёностная стратификация отсутствует во все месяцы. Над Уральской бороздиной в апреле, июле и октябре формируются очаги с пониженной температурой воды относительно окружающих вод на 1°C и повышенными значениями солёности на 0.5‰. Северная область Кулалинского порога с мая по июль занята водами с солёностью до 3.5‰ и здесь же во все месяцы существует термоклин. Воды с солёностью более 12‰ севернее о.Кулалы не отмечаются. Наименьшие изменения характерны для придонной центральной части 4 разреза. Здесь относительно среднемноголетнего значения солёность снизилась на 0.1-0.2‰. Заток трансформированных среднекаспийских вод с солёностью более 12.5‰ в Северный Каспий происходил в слое ниже 10 м. Возле восточного берега среднекаспийские воды выклинивались на поверхность (рис. 4, разрез 4). В глубоководной части Среднего и Южного Каспия в 1961-1967 гг. солёность от поверхности до дна была одинакова, составляла 12.8‰ и 12.9‰, соответственно. У восточного побережья значения солёности воды достигали 13.1‰. В узкой полосе вдоль западного побережья Среднего Каспия проявляется влияние волжских вод. По сравнению с 1914-34 гг. произошло потепление (на 1°C) и осолонение (на 0.1‰) вод ниже 100 м в районе Апшеронского порога (рис. 5).

**Период 1972-79 гг.** Восточная область, придельтовый район Северного Каспия и район 2 разреза практически не имеют вертикальной стратификации. В многолетнем режиме этому району свойственна наибольшая изменчивость солёности. В период 1972-79 гг. из-за минимального поступления речного стока и увеличения подтока из Среднего Каспия произошло осолонение на 2.5-3.0‰ и в районе Уральской бороздины значения солёности стали достигать 10.1‰, при среднем для всего разреза 9.2‰. Таким образом, солёность восточной и западной частей практически выровнялась (9.2‰ и 10.6‰ соответственно), но в западной была выше. На фоне уменьшения объёма речного стока и количества осадков произошло значительное опреснение северной части 3а разреза и осолонение южной. Это связано с перераспределением стока р.Волги по рукавам. В связи с падением уровня моря и обмелением значительных придельтовых площадей основной объём стока направился по правому рукаву реки.

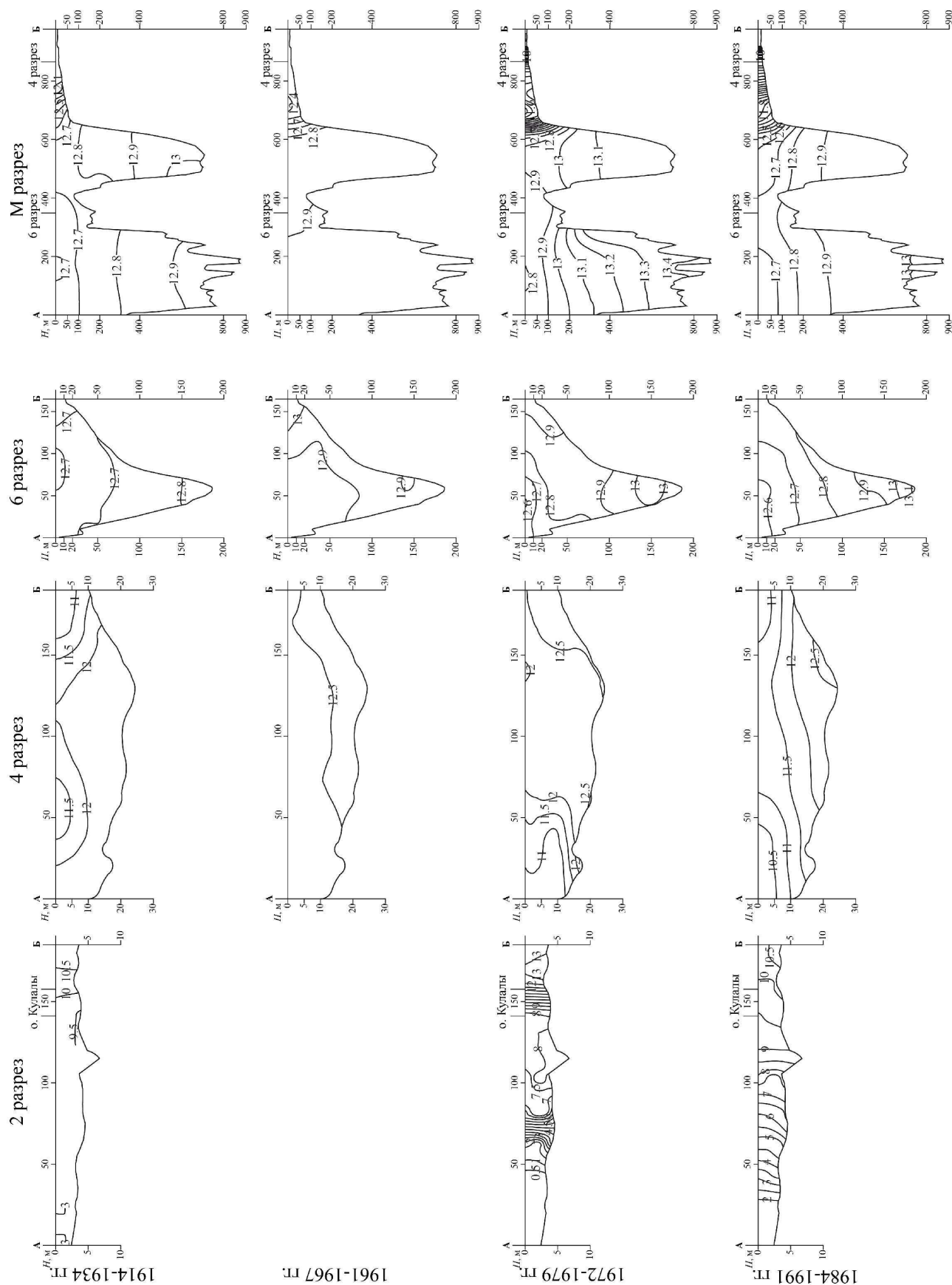


Рисунок 4 - Среднемноголетний (август) климатический режим солёности Каспийского моря по периодам

В это время на юге отмечаются более соленые, чем при среднемноголетнем режиме, среднекаспийские воды. Разрез За в этот период характеризуется значительными горизонтальными градиентами во все месяцы. Обмеление акватории привело к затруднению водообмена между Северным и Средним Каспием. Заток среднекаспийских водных масс осуществлялся вдоль п-ова Мангышлак и далее через северную часть Кулалинского порога, создавая обширную фронтальную зону. Отток происходил через пролив о. Кулалы - п-ов Мангышлак. Влияние стоковых течений на всем сечении 4 разреза (линия о. Чечень – п-ов. Мангышлак) в период половодья резко возросло. В июне минимум солености быстро распространяется до крайней восточной части разреза и также быстро влияние паводка проходит. В августе следы пресных вод заметны только у Аграханского п-ова. При среднемноголетних условиях и в предыдущий и последующий периоды минимум у п-ова Мангышлак отмечается в августе.

На всей акватории Среднего и Южного Каспия произошло восстановление вертикальной стратификации вод за счет распреснения поверхностного слоя и осолонения нижележащих. Основная причина данного явления - усиления западной волжской струи. Влияние речного стока на соленость западного шельфа Среднего Каспия резко возросло. Изменился сезонный ход солености и в районе 6 разреза. Из-за конвективного перемешивания сезонное опреснение стало проникать глубже 50 м. В промежуточном слое и придонных горизонтах значения солености возросли на 0.5-1.1‰, выше 50 м наоборот соленость снизилась на 0.2-0.3‰ (максимум в июне 0.4‰) по сравнению с предыдущим периодом. У восточного шельфа отмечается некоторое увеличение солености, поэтому по сравнению с 1950-ми гг. фоновые значения солености в районе 4 и 6 разрезов остались повышенными. В районе 4-го разреза средние значения составили в 1951-65 гг. – 11.9‰, а в 1974-80 гг. – 12.4‰. В районе 6 разреза: в 1951-65 гг. – 12.8‰, в 1974-80 гг. – 12.9‰. В слое 10-30 м также наблюдается повышение средних значений солености. Сезонный ход температуры воды, рассчитанный для квадратов центральных областей разрезов по периодам, показывает, что в 1970-х гг. произошло увеличение температуры воды в пределах 1°C для этих районов в летний период в поверхностном горизонте. Значительных качественных и количественных изменений в вертикальном распределении солености в Среднем и Южном Каспии после 1930-х гг. не наблюдалось.

**Период 1984-91 гг.** В Северный Каспий основной объем пресного стока р. Волги поступал по правому рукаву. Характерно, что на западе Северного Каспия пресные воды растекались в поверхностном слое моря, а не вдоль берега. Южнее свала глубин в Северном Каспии воды были стратифицированы весь год на всем сечении 4 разреза, причем ранее вертикальная стратификация отмечалась только в летние месяцы в юго-западном районе. Такая смена вертикальной стратификации и увеличение зоны поверхностного опреснения на границе Северного и Среднего Каспия могла быть следствием смены направления ветра и усилением его скорости, а также возросшим объемом речного стока. Эти факторы в комплексе могли привести к распреснению поверхностного слоя в Северном Каспии и усилению придонного компенсационного течения, которое можно проследить по изменению вертикальных полей температуры и солености. Заток

среднекаспийских вод происходил в придонной части 4 разреза, далее распространялся в восточную область через о. Кулалы. Температура воды повышается, но не восстанавливается до значений 1914-34 гг. (рис. 5).

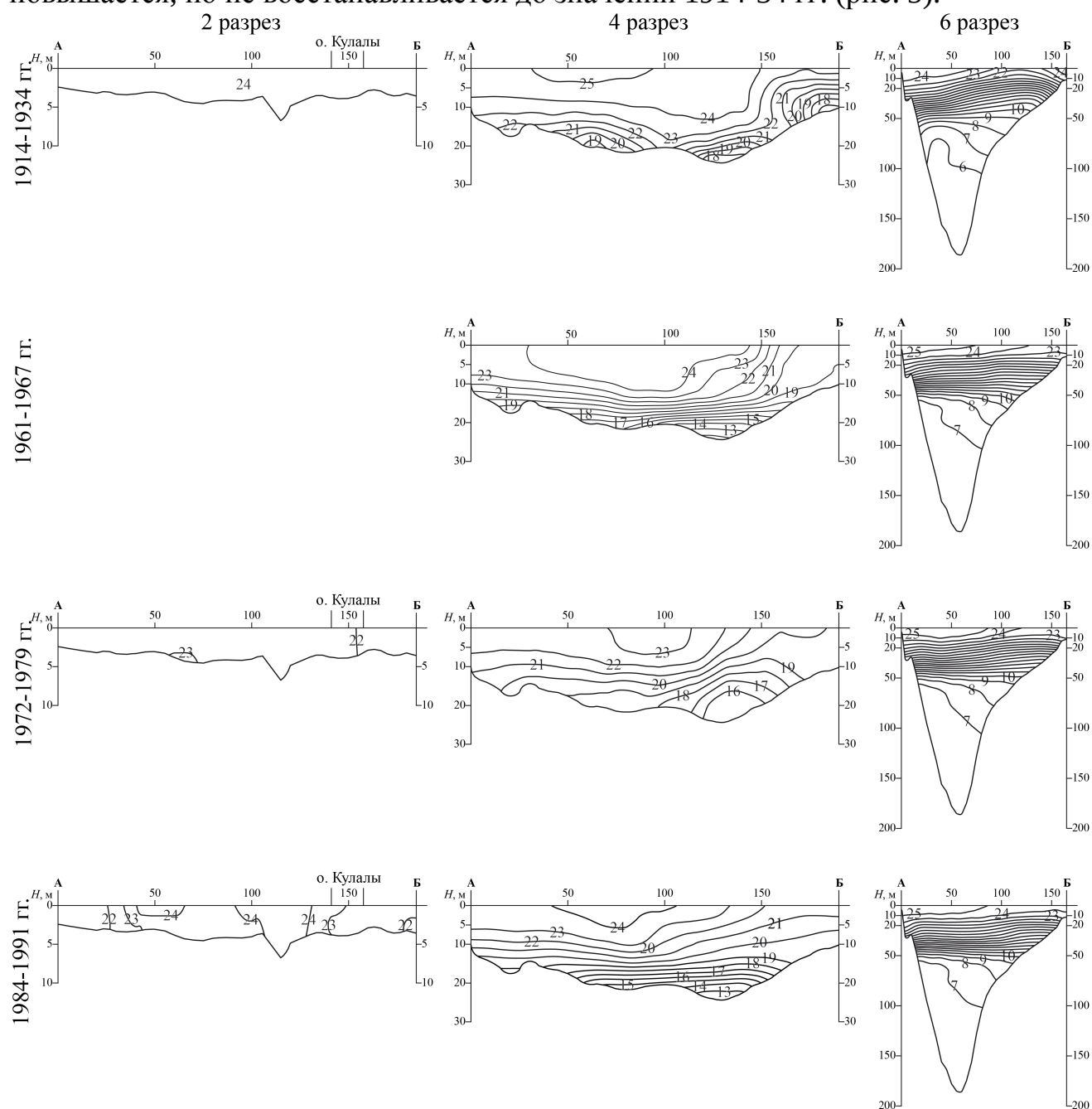


Рисунок 5 - Средненоголетний (август) климатический режим температуры вод Каспийского моря по периодам

С подъемом уровня моря в 1984-1991 гг. произошло распреснение Каспийского моря. В котловинах Среднего и Южного Каспия соленость уменьшилась и не превышала 12.8‰. Усилилась вертикальная стратификация вод. Уменьшилась разница солености вод между восточным и западным побережьем. Формирование осолоненных вод с последующим их стеканием по склону восточного побережья не прослеживается. На границе с Южным Каспием до горизонта 50 м сформировались водные массы с соленостью до 12.7‰, что отмечалось ранее только в начале 20 века. Необходимо отметить, что

значительные изменения температуры вод Каспийского моря характерны только для северной части и, по всей видимости, связаны с изменением течений в 1970-е гг. Можно отметить потепление слоев ниже 100 м в районе Апшеронского порога на 1.0°C (рис. 5).

**Исторический (1914-1934 гг.) и современный (2000-10 гг.) периоды.** В 1914-34 гг. отмечалась высокая температура вод в Северном Каспии и поверхностном слое Среднего и Южного Каспия относительно среднемноголетнего режима. Воды были вертикально стратифицированы и из Среднего Каспия поступали в северную часть по всему сечению 4 разреза. Затока непосредственно в восточную часть не наблюдалось, поскольку основной волжский сток был направлен по левому рукаву. На основе данных современных исследований (2000-2010 гг.) можно отметить, что в северо-западной части моря наблюдается снижение солёности на 2.1‰ по сравнению с периодом минимального положения уровня.

## **Глава 6. Модельные оценки влияния уровня и климатического хода на гидрологический режим Северного Каспия**

В главе приведены результаты математического моделирования гидрологического режима Северного Каспия. Выполнен ре-анализ изменения уровня Каспийского моря, основных морфометрических характеристик и элементов водного баланса с 1910 по 2000 гг. с помощью модели водного баланса. Для выделенных периодов с применением боксовой модели выполнен расчет элементов гидрологического режима Северного Каспия.

**Оценка внешних факторов, определяющих динамику уровня и солёности.** На основе уравнения водного баланса разработана модель динамики уровня Каспийского моря в период с 1910 по 2000 гг. (рис. 6). Были сформированы ряды речного стока по с учетом безвозвратного водопотребления (створ у с. Верхнее Лебяжье). С использованием данных многолетних суточных величин осадков на основных метеостанциях в бассейне Каспийского моря рассчитаны годовые суммы осадков за рассматриваемый период. При анализе частот распределения уровня моря за период 1925-1969 гг. выделены разные зависимости площади моря от высоты стояния уровня, соответствующие значениям а) от минус 27.8 м до минус 28.45 м; б) от минус 26.3 м до минус 26.52 м.; в) от минус 26.65 м до минус 27.75 м, которые были включены в расчетную схему (рис. 6). Для испарения были использованы три ряда данных: а) величина испарения, рассчитанная по формулам Самойленко и б) Гоптарева; в) величина испарения, рассчитанная R. Wardlow (Великобритания), использовавшим метод Пенмана-Монтея (данные предоставлены сотрудником РГП «Казгидромет» Министерства охраны окружающей среды Республики Казахстан к.г.н. Н.И. Ивкиной, Республика Казахстан). В результате получены три модельные кривые изменения уровня моря, из которых наилучшее приближение к фактической кривой уровня дает модель испарения R. Wardlow (величина корреляции между рассчитанным и фактическим значением уровня моря составляет  $R^2=0.97$ , среднеквадратичное отклонение на интервале 1910-2000 гг. составляет 18 см, максимальное отклонение – 18 см в 1961 г.).

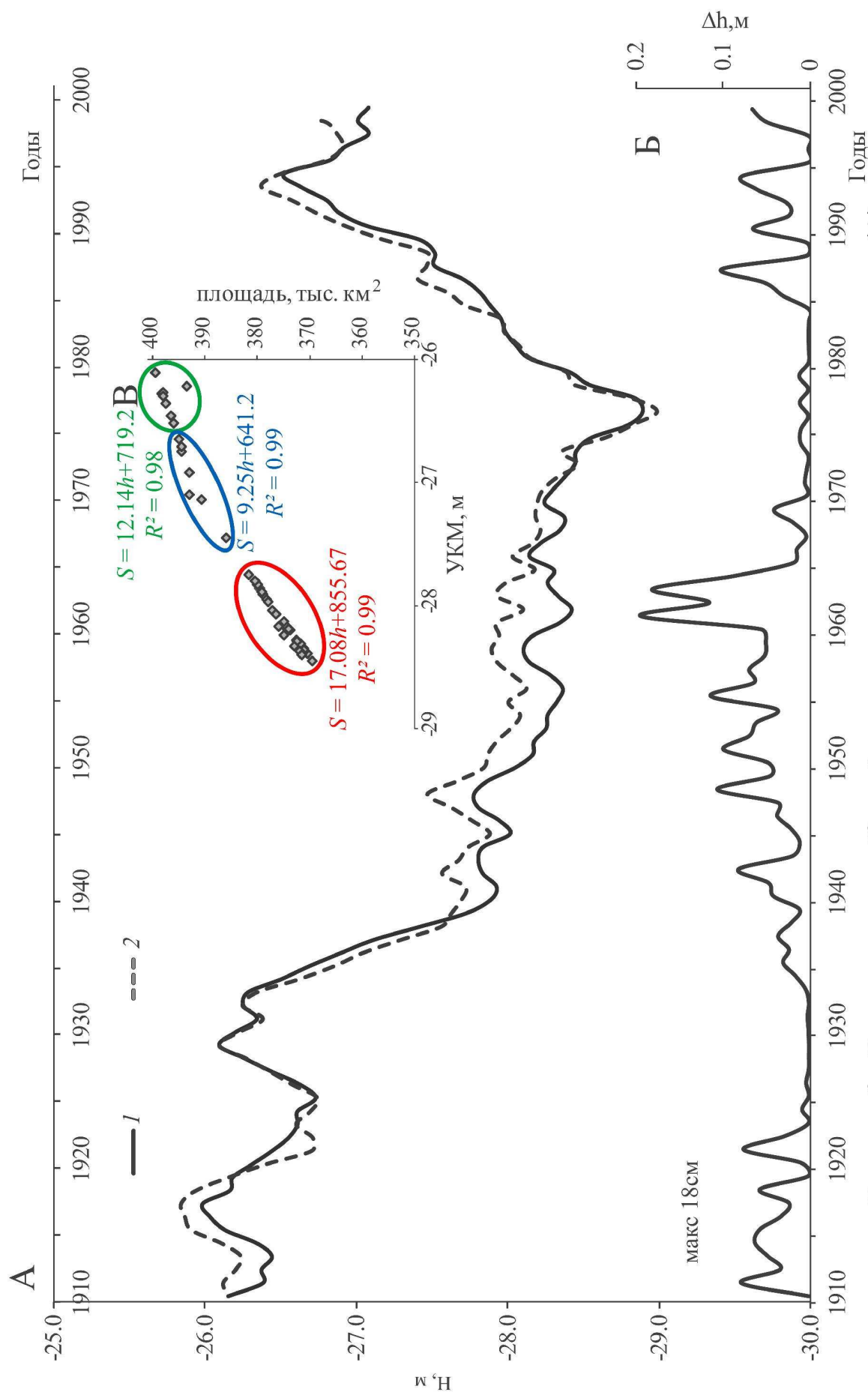


Рисунок 6 - Динамика уровня Каспийского моря по результатам моделирования (А), отклонение от данных наблюдений (Б) и зависимость площади моря (тыс. км<sup>2</sup>) от уровня (м) (В). 1 - данные; 2 – модель

Выполненные расчеты позволили для периодов с относительно стабильным положением УКМ периодов оценить средние значения основных морфометрических характеристик Северного Каспия и внешних факторов, влияющих на формирование гидрологического режима.

**Анализ изменения солености Северного Каспия при различных положениях уровня моря с применением балансовых моделей.** Для проверки закономерностей изменения гидрологического режима Северного Каспия, выявленных в ходе анализа данных наблюдений, применялась мультикомпартментальная модель, основанная на уравнениях водного, солевого и теплового балансов (Матишов и др., 2009). На основе кластерного анализа таких параметров как глубина, пространственное распределение поверхностной солености и температуры воды, наряду с учетом физико-географических факторов (гидрологическое районирование акватории, границы распространения льдов) проведено деление северной части Каспийского моря на районы. При подготовке исходных данных для верификации модели, обработки результатов и построении карт распределения использована ГИС «Каспийское море», данные океанографической БД.

Анализ результатов расчетов показал, что с 1940 г. по 1974 г. с падением уровня моря и увеличением величины испарения произошел рост солености. Максимальных значений соленость вод Северного Каспия достигала в период минимального положения уровня. В целом по результатам моделирования наблюдается увеличение солености с севера на юг и с запада на восток.

До 1940-х гг. средняя соленость восточной части была выше, чем западной на 0.5-1.0‰, а с середины 1940-х гг. это соотношение стало обратным. В восточном районе Северного Каспия сформировались «пятна» солености, превышающие соленость вод Среднего Каспия. По результатам расчета в 1977 г. соленость восточной части превысила соленость западной. Модель позволила получить некоторые количественные оценки отмеченным в главе 5 изменениям морфометрии Северного Каспия и их влиянию на распределение стока р. Волги по рукавам. Соотношение между потоками речных вод, поступающих в восточный и западный рукава, могло быть примерно 1:4. В период половодья влияние речных вод в восточной части практически незаметно. Обмеление акватории привело к затруднению водообмена между Северным и Средним Каспием. По сравнению с периодом высокого стояния уровня в 1972-79 гг. приток морских вод из Среднего Каспия мог быть меньше на 60-70%, заток среднекаспийских водных масс должен был проходить через северную часть Кулалинского порога, а отток через южную. Данные результаты подтверждают и литературные материалы и результаты данной работы. К 2000 г. после резкого повышения на 1.9 м уровень Каспийского моря стабилизируется возле отметки - 27 м. Увеличивается количество осадков и объем речного стока. Уменьшается величина испарения. С подъемом уровня восстановилась схема водообмена между Средним и Северным Каспием. Результаты моделирования солености Северного Каспия для современного периода адекватны сезонной динамике и пространственному распределению этой характеристики гидрологического



режима, если водообмен со Средним Каспием больше на 30% по сравнению с 1965 г.

Средняя соленость Северного Каспия в периоды опреснения составляет 7-8‰, а в периоды осолонения – 9-11‰. Наименьшие колебания солености характерны для центрального приглубого района. Следует отметить асинхронность режимов солености в отдельных частях Северного Каспия. Это связано с компенсационными потоками из Среднего Каспия и усилением влияния речного стока.

#### IV. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В процессе исследования получены следующие результаты:

- Создана единая информационная и методическая основа для комплексного анализа компонентов гидрологического режима Каспийского моря. В соответствии с мировыми стандартами хранения и обработки данных сформирована геоинформационная система, включающая базу данных первичной океанографической информации за период инструментальных наблюдений (42 519 морских станций за период с 1897 по 2011 гг.), картографическую базу данных (246 тематических слоев за период с 1921 по 2011 гг.) и инструментарий для многомерного анализа пространственно-временной информации.

- Для Северного Каспия морфометрические условия, а именно глубины и их изменение при колебаниях уровня, являются одними из определяющих при формировании полей температуры и солености. От этого зависит интенсивность водообмена между восточной и западной частями через Кулалинский порог, а также сама система течений. Существенные изменения гидрохимического режима в Среднем и Южном Каспии, прежде всего, обусловлены комплексным воздействием климатических и антропогенных факторов на водосборе. В определенной мере влияет субмеридиональное положение и только отчасти колебания уровня. Об этом может свидетельствовать тот факт, что после резкого падения уровня моря в 1934 г. до конца 1940-х годов аномалий в режиме солености, аналогичных рассмотренным выше, в литературе не отмечено.

- Изменение режима солености, характерное для Среднего и Южного Каспия и сопровождавшееся увеличением вертикальной стратификации, опреснением поверхностного слоя и осолонением более глубоких в 1970-х гг., и сам механизм, вызвавший данные изменения, не характерны для Северного Каспия. В 1970-е гг. с падением УКМ в восточных районах Северного Каспия наблюдается осолонение, в западных опреснение. Это связано с перераспределением объемов поступающих речных и среднекаспийских вод.

- Если в Среднем и Южном Каспии максимальные значения солености характерны для конца 1960-х - начала 1970-х гг., после чего отмечается динамичная перестройка системы, то в Северном Каспии выделяется два максимума: с 1974 по 1976 гг., с 1982 по 1983 гг. Первый связан со значительным уменьшением объема речного стока, уменьшением количества осадков. Второй – с ростом температуры воздуха и величины испарения. После 1983 г. можно отметить относительное опреснение на всех горизонтах.

- На протяжении века неоднократно происходило изменение водообмена между восточной и западной частями Северного Каспия, уменьшение водообмена со Средним Каспием, данные результаты подтверждаются как вертикальными профилями, так и результатами математического моделирования. В 1914-34 гг. поступление среднекаспийских вод происходило мощным потоком в центральной части 4 разреза. В 1960-х гг. поступление среднекаспийских вод в Северный Каспий происходило в слое ниже 10 м, возле восточного берега среднекаспийские воды выклинивались на поверхность. Заток среднекаспийских водных масс осуществлялся через пролив о. Кулалы – п-ов Мангышлак. Воды с соленостью более 12‰ севернее о. Кулалы не отмечались. В 1970-х гг. из-за падения УКМ и изменения морфометрии заток среднекаспийских водных масс стал осуществляться вдоль п-ова Мангышлак и далее через северную часть Кулалинского порога, а отток через южную. В 1980-х гг. схема водообмена между районами в Северном Каспии восстановилась, усилилось придонное компенсационное течение, но среднекаспийские воды отмечаются в центральной части 4 разреза.

#### **V. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

##### **Издания, рекомендованные ВАК РФ для публикации материалов кандидатских диссертаций**

1 Матишов Г.Г., **Яицкая Н.А.**, Бердников С.В. Особенности внутривекового режима солености Каспийского моря // Доклады академии наук, 2012, том 444, № 5, с. 549-553.

2 Матишов Г.Г., Бердников С.В., Степаньян О.В., Курапов А.А., Архипова О.Е., Сорокина В.В., Цыганкова А.Е., Дашкевич Л.В., Поважный В.В., Бирюкова С.В., Кулыгин В.В., Сапрыгин В.В., **Яицкая Н.А.** Разработка инструментария для комплексной оценки воздействия на экосистему Северного Каспия при освоении морских нефтегазовых месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2009. № 1. с. 5-20.

##### **Сборники научных статей**

3 Бердников С.В., **Яицкая Н.А.**, Смоляр И.В. Изменение гидрологического режима Северного Каспия при колебаниях уровня в XX веке. Модельный анализ // Современное состояние и технологии мониторинга аридных и семиаридных экосистем юга России: Сборник научных статей / Гл. ред. Г.Г. Матишов. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. С. 29-43

4 Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Бердников С.В., Дашкевич Л.В., Сорокина В.В., Цыганкова А.Е., Сапрыгин В.В., **Яицкая Н.А.** Разработка методов и математических моделей комплексной оценки воздействия нефтегазодобычи на экосистему Северного Каспия // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе / Отв. ред. Матишов Г.Г.; Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН. - Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 222-244.

## **Материалы международных и всероссийских конференций**

5 Яицкая Н.А. Создание и разработка базы данных для оценки воздействия нефтегазового комплекса на экосистему Северного Каспия // Материалы третьей ежегодной конференции студентов и аспирантов базовых кафедр ЮНЦ РАН, 2007 г. С. 62-63.

6 Яицкая Н.А., Сапрыгин В.В. Применение современных информационных технологий в задаче исследования влияния климатических факторов и антропогенной деятельности на гидрологический режим Северного Каспия // Материалы международной научной конференции: Современные проблемы морской инженерной экологии (изыскания, ОВОС, социально-экономические аспекты) (9-11 июня 2008 г. Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ, 2008. С. 276.

7 Яицкая Н.А. Расчет гидрологического режима Северного Каспия при помощи мультикомпарментальной математической модели // XXXVI Всероссийская школа-семинар «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования» (8-13 сентября 2008 г. Новороссийск, п. Абрау-Дюрсо). Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2008 С. 87-88.

8 Яицкая Н.А. Разработка базы данных первичной океанографической информации по Каспийскому морю // V ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН: Тезисы докладов (8-27 апреля 2009 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 59-60.

9 Глущенко В.В., Яицкая Н.А. Картографическая база данных по Каспийскому морю // II конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (9-11 сентября 2009 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2009. С. 46-50.

10 Яицкая Н.А. Особенности создания базы данных по Каспийскому морю // Экология. Экономика. Информатика. XXXVII конференция «Математическое моделирование в проблемах рационального природопользования» (7-12 сентября 2009 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2009. С. 260-264.

11 Яицкая Н.А. Океанографическая база данных по Каспийскому морю // Материалы XXVII конференции молодых ученых мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2009 г.). – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2009. С. 177-181.

12 Яицкая Н.А. Проблемы создания многоцелевой базы гидрологических данных по Каспийскому морю: формализация исторических данных // Геология, география и экология океана: материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Д.Г. Панова (8-11 июня 2009 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С.362-363.

13 Яицкая Н.А. Анализ температурного режима Каспийского моря в 20 веке (1945-1990 гг.) // Материалы XXVIII конференции молодых ученых мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2010 г.). – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2010. С. 181-184.

14 Яицкая Н.А., Глущенко В.В. Исследование ледовой обстановки Северного Каспия с помощью данных спутникового мониторинга // III конференция

«Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (8-10 сентября 2010 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2010. С. 140-146.

15 Яицкая Н.А., Бердников С.В. Многолетняя динамика солёности вод Каспийского моря в зависимости от положения уровня моря // Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата: Материалы Международной научной конференции (6-11 июня 2011 г., Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. С. 117-120.

16 Кулыгин В.В., Яицкая Н.А., Шишкина А.В., Лисунова Н.С., Лычагина Ю.М. Географическая информационная система экологического состояния южных морей России // Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата: Материалы Международной научной конференции (6-11 июня 2011 г., Ростов-на-Дону). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. С. 411-413.

17 Бердников С.В., Лычагина Ю.М., Яицкая Н.А., Моисеев Д.В., Громов М.С., Духно Е.Н., Дерябин А.А. Создание тематических разделов «экология и природопользование», «морская биология», «гидродинамика» и «загрязнение» электронного морского атласа ЕСИМО по морям Российской Федерации // IV конференция молодых ученых "Геоинформационные технологии и космический мониторинг" (6-8 сентября 2011 г.). Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2011. С. 101-103.

18 Yaitskaya N., Berdnikov S. Development of geoinformation system for analysis of hydrological regime of the Northern Caspian // Özhan, E. (Editor), 2009, Proceeding of the Ninth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 09, 10-14 November 2009, Sochi, Russia, MEDCOAST, Middle East technical University, Ankara, Turkey, vol 2, p. 1077-1081.