

УДК 551.46.062.5(262.81)

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОД КАСПИЙСКОГО МОРЯ В XX ВЕКЕ

© 2018 г. **Д. Г. Матишов**^{1, 2, 3}, **Н. А. Яицкая**^{1, 3, 4, 5, *}, **С. В. Бердников**^{1, 2, 3}

¹Институт аридных зон ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

²Азовский филиал Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

³Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

⁴Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия

⁵Филиал Института природно-технических систем, г. Сочи, Россия

*e-mail: yaitskayan@gmail.com

Поступила в редакцию 07.12.2016 г.

После доработки 22.06.2017 г.

На основе одной из наиболее полных мегабаз данных за период 1914–2010 гг. исследуется многолетняя динамика солёности и температуры вод Каспийского моря. Рассматривается ряд характерных периодов с относительно стабильным положением уровня моря, но различными климатическими условиями. Рассмотрены среднеголетние вертикальные климатические разрезы солёности и температуры воды и аномалии от них. Описаны количественные и качественные изменения, происходившие в течение XX века в структуре вод моря. Предложены схемы водообмена между отдельными районами при различных положениях уровня моря.

DOI: 10.1134/S0030157418060114

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении XX века в ходе уровня Каспийского моря можно выделить несколько стадий (рис. 1в): 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 до 2000 г. После 2010 г. начался медленный спад, который на фоне изменяющихся климатических условий может привести к очередной перестройке гидрологического режима водоема.

В XIX–XXI вв. выполнен ряд комплексных исследований Каспийского моря, основные результаты которых опубликованы в монографиях и обобщающих климатических справочниках [3–21, 24–27]. Выявлены основные закономерности сезонной и многолетней динамики элементов гидрологического режима моря. При этом исходные первичные данные, которые лежат в основе этих исследований, практически всегда недоступны для широкого круга пользователей, а картографический материал, как правило, представлен бумажными картами.

Необходимо также принимать во внимание, что в опубликованных работах использовались первичные данные, собранные в разные годы, применялись разные методы их обработки, что влияет на интерпретацию результатов, особенно

при сопоставлении публикаций, охватывающих разные периоды времени. Так, например, исследование солёности Северного Каспия в период самого низкого стояния уровня моря в 1977–1978 гг. привели специалистов к противоречивым выводам: а) к 1977 г. разница между солёностью двух его частей (западной и восточной) практически исчезла [5], б) с 1945 г. по 1980 г. солёность западной части оставалась много выше, чем в восточной [28], в) солёность восточной части моря приблизилась к солёности западной и даже превысила ее значения в 1977 г. [14].

В XX в. произошел существенный скачок в развитии информационного и технологического обеспечения исследований. От методов ручной обработки данных и хранения на бумажных носителях произошел переход к автоматизированным системам наблюдений и электронным базам данных (БД). Информационные технологии, получившие признание и широкое распространение в географических науках, дают возможность документировать (или оцифровывать) исторический материал с сохранением систем измерения и картографических проекций, что особенно важно в условиях постоянных колебаний уровня Каспийского моря и, как следствие, изменения его береговой линии.

Создание электронной базы первичных океанографических данных по Каспийскому морю с

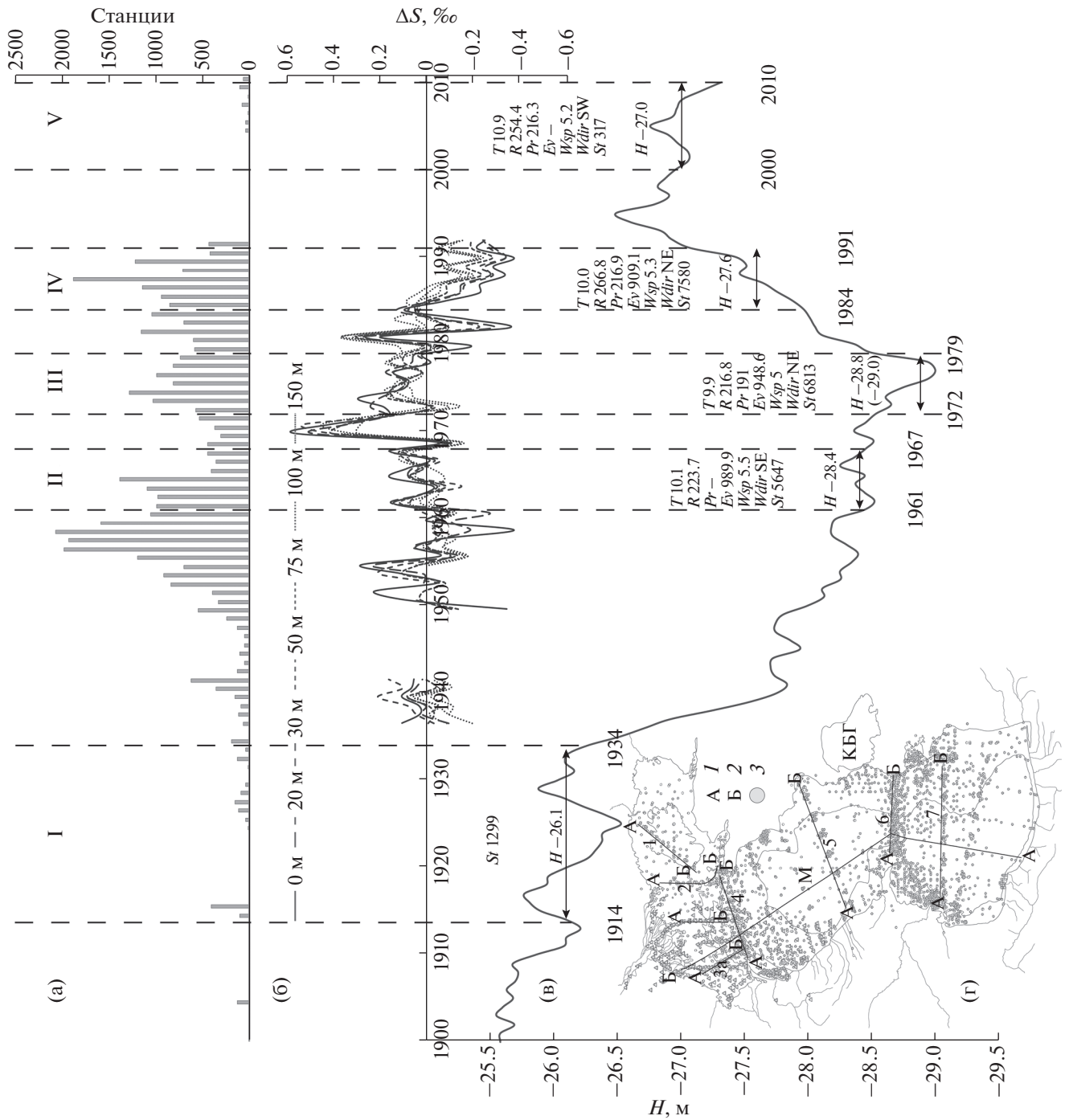


Рис. 1. Межгодовые колебания уровня Каспийского моря и выделенные периоды. (а) – распределение станций в БД по годам; (б) – аномалии солёности воды (ΔS , ‰) от среднееголетнего значения по данным разреза б; (в) – межгодовые колебания уровня Каспийского моря; (г) – пространственное распределение данных в БД и положение “вековых” разрезов: 1 – начало разреза, 2 – окончание разреза, 3 – данные наблюдений. *T* – среднееголетняя температура ($^{\circ}\text{C}$) по данным метеопункта Астрахань; *R* – среднееголетний речной сток ($\text{км}^3/\text{год}$) в створе В.-Лебяжье; *Pr* – среднееголетнее количество осадков (мм) по данным метеопункта Астрахань; *Ev* – среднееголетняя величина испарения (мм/год). Дана по R. Wardlow [36; 37]; *Wdir* – среднееголетнее направление ветра по данным ре-анализа; *St* – суммарное количество станций, выполненных за период; *H* – значение уровня моря (м) в пункте Махачкала; “–” – нет данных.

учетом мировых требований к ее проектированию, хранению и распространению информации направлено на сохранение и восстановление результатов исследований, накопленных за длительный период инструментальных наблюдений, и создает основу для получения новых выводов и обобщений.

В настоящей работе сделана попытка на основе единого методического подхода выявить и проанализировать основные особенности сезонного, пространственного и многолетнего изменения температуры и солёности вод Каспийского моря за практически вековой период наблюдений на основе БД, которую удалось собрать к настоящему времени.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой исследования стал архив первичной океанологической и метеорологической информации за период с 1897 по 2013 гг., включающий 43333 морских станции [1, 35] (рис. 1а, 1г). Источниками данных служили архивы Национальной администрации по океану и атмосфере США (НОАА), Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), отдельные опубликованные литературные источники и результаты экспедиций Южного научного центра РАН. Вся информация прошла многоуровневую систему контроля качества в соответствии с подходами, развитыми в [22, 29–34].

В настоящее время эта БД является, по-видимому, наиболее полной из общедоступных. Свободный доступ к ней осуществляет НОАА (http://data.nodc.noaa.gov/woa/DATA_ANALYSIS/LME_supplementary/) и Южный научный центр (<http://atlas.ssc-ras.ru/>). Реестр данных по Каспийскому морю, созданный в рамках Каспийской экологической программы (КЭП), содержал метаинформацию о 88311 морских станциях, но они рассредоточены в разных организациях. В докторской диссертации В.С. Тужилкина [26] имеется ссылка на БД, включающую более 60000 морских станций, но условия доступа к ней в настоящее время неясны.

Исследования в Каспийском море практически всегда приурочены к “вековым” гидрологическим разрезам (рис. 1г) [9, 18], в пределах которых в основном расположены морские станции наблюдений. Поэтому именно разрезы рассматриваются в настоящей работе для выявления межгодовой и сезонной изменчивости температуры и солёности воды Каспийского моря. Для них построены осредненные за весь период наблюдений вертикальные распределения температуры и солёности, т.н. “климатические нормы”, опубликованные в климатических атласах [1, 35], выполнено осреднение для отдельных периодов, рас-

считаны графики сезонной и межгодовой изменчивости. Дополнительно был рассмотрен меридиональный разрез, проходящий через наиболее глубоководные части моря с юга на север и оканчивающийся в дельте р. Волга.

Применялся следующий методический подход к осреднению данных [30]. Введена регулярная сетка разрешением $15' \times 15'$, при этом рассматривались только квадраты, пересекающие разрезы. В этом случае каждому квадрату в пределах разрезов практически всегда соответствует одна стандартная станция разреза.

На первом шаге для каждого квадрата на стандартных горизонтах 0, 5, 10, 20, ..., 900 м данные были осреднены для каждого месяца каждого года. Крайние значения (минимум и максимум) отбрасывались. Таким образом, один квадрат каждого месяца каждого года характеризуется одним значением температуры или солёности (среднее по всем станциям, попадающим в квадрат).

На втором шаге для каждого месяца и каждого квадрата по стандартным горизонтам выполнено осреднение данных для всего рассматриваемого периода. При этом наблюдения, выполненные в годы с аномальными среднегодовыми значениями таких параметров, как температура воздуха, скорость ветра, осадки, испарение, сток р. Волга в расчёт среднеклиматической нормы не включались.

Для анализа межгодовой изменчивости солёности и температуры воды выделено пять временных периодов, исходя из совместного рассмотренных графиков изменения уровня моря, указанных выше метеорологических параметров и стока р. Волга (см. рис. 1 и пояснение к нему). В пределах каждого временного периода проводилось осреднение для каждого месяца и каждого квадрата по стандартным горизонтам.

Таким образом, построение вертикальных распределений для всех “вековых” разрезов выполнено для среднеклиматических условий и характерных периодов с относительно стабильным положением уровня моря (рис. 1). Для визуализации результатов использовались возможности программного комплекса ArcGIS ESRI.

Построение графиков сезонной изменчивости температуры и солёности воды по стандартным горизонтам выполнялось для каждого квадрата “вековых” и меридионального разрезов, но при обсуждении результатов приняты во внимание только центральные квадраты разрезов, наиболее обеспеченные данными наблюдений [30].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В XX в. климатические условия и водобалансовый режим Каспийского моря претерпел значительные изменения. Солёность и ее внутривековые флуктуации можно считать индикатором при

оценках изменения водообмена в море [2, 23]. Как будет показано ниже при рассмотрении солёности на “вековых” разрезах, она обладает сложной межгодовой изменчивостью, на фоне которой прослеживается некоторая цикличность. То же относится и к межгодовой динамике температуры воды. При этом в отдельных районах межгодовые изменения являются синхронными, но не всегда однонаправленными.

Период 1961–1967 гг. Для восточной части Северного Каспия [9, 18] и района Кулалинского порога период 1961–1967 гг. характеризуется пониженными значениями солёности по сравнению со среднеклиматической нормой до 1‰. Минимальные значения солёности в восточном районе отмечаются в мае, когда практически весь район занят водами с солёностью <3.5‰. 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‰. Воды с солёностью более 12‰ севернее о. Кулалы не отмечаются. Наименьшие изменения характерны для придонной центральной части разреза 4. Здесь относительно средне-многолетнего значения солёность ниже 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 (разрез 4) (рис. 2).

В Среднем и Южном Каспии [9, 18] в 1961–1967 гг. за пределами шельфа солёность от поверхности до дна одинакова, составляла 12.8 и 12.9‰ соответственно (рис. 2, разрез М). У восточного побережья значения солёности воды достигали 13.1‰. В узкой полосе вдоль западного побережья Среднего Каспия проявляется влияние волжских вод. По сравнению с 1914–1934 гг. произошло потепление (на 1°C) и осолонение (на 0.1‰) вод ниже 100 м в районе Апшеронского порога, что может быть следствием изменения механизма вентиляции глубоководных котловин (рис. 2 и 3 разрезы б и М).

Период 1972–1979 гг. В восточном районе Северного Каспия вертикальная стратификация вод отсутствует. Так же, как в 1961–1967 гг., в отдельные месяцы при условии большого объема поступающих среднекаспийских вод в районе Уральской бороздины формируются очаги с повышенными значениями солёности относительно вышележащих слоев на ≈0.5‰. В многолетнем режиме этому району свойственна наибольшая ее изменчивость (рис. 2). В период 1972–1979 гг. из-за минимального поступления речного стока и

увеличения компенсационного 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‰ [2]. Таким образом, солёности восточной и западной частей практически сравнялись (9.2 и 10.6‰ соответственно), но в западной солёность была выше.

В многолетней изменчивости солёности Северного Каспия выделяется два максимума: с 1974 по 1976 гг., с 1982 по 1983 гг. Первый связан со значительным уменьшением объема речного стока, количества осадков, снижением скоростей ветра. Второй – с ростом температуры воздуха и испарения, увеличением скоростей ветра и объемов речного стока. Как будет показано далее, после 1983 г. можно отметить относительное опреснение на всех горизонтах.

Также на фоне уменьшения объема речного стока и количества осадков в 1970-е гг. произошло значительное опреснение северной части разреза 3а и осолонение южной, что могло быть следствием перераспределения стока р. Волга по рукавам. В связи с падением уровня моря и обмелением значительных придельтовых площадей основной объем стока направился по западному рукаву реки. В это время на юге разреза отмечаются более солёные, чем при среднемноголетнем режиме, среднекаспийские воды. Таким образом, разрез 3а 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 разреза 4 (линия о. Чечень – п-ов. Мангышлак) в период половодья резко возросло. В июне минимум солёности быстро распространяется до крайней восточной части разреза, и так же быстро влияние паводка проходит. В августе следы пресных вод заметны только у Аграханского п-ова. При среднемноголетних условиях, в предыдущий и последующий периоды минимум солёности у п-ова Мангышлак отмечается в августе. При этом в районе разрезов 1, 2 и 3 увеличивается температура воды во все месяцы, за исключением июня – периода максимального речного стока. В районе Аграханского п-ова и о. Чечень также наблюдается увеличение температуры воды. Интенсивное поступление охлажденных и более солёных среднекаспийских вод происходит только в центральный и восточный районы Северного Каспия.

На всей акватории Среднего и Южного Каспия произошло усиление вертикальной страти-

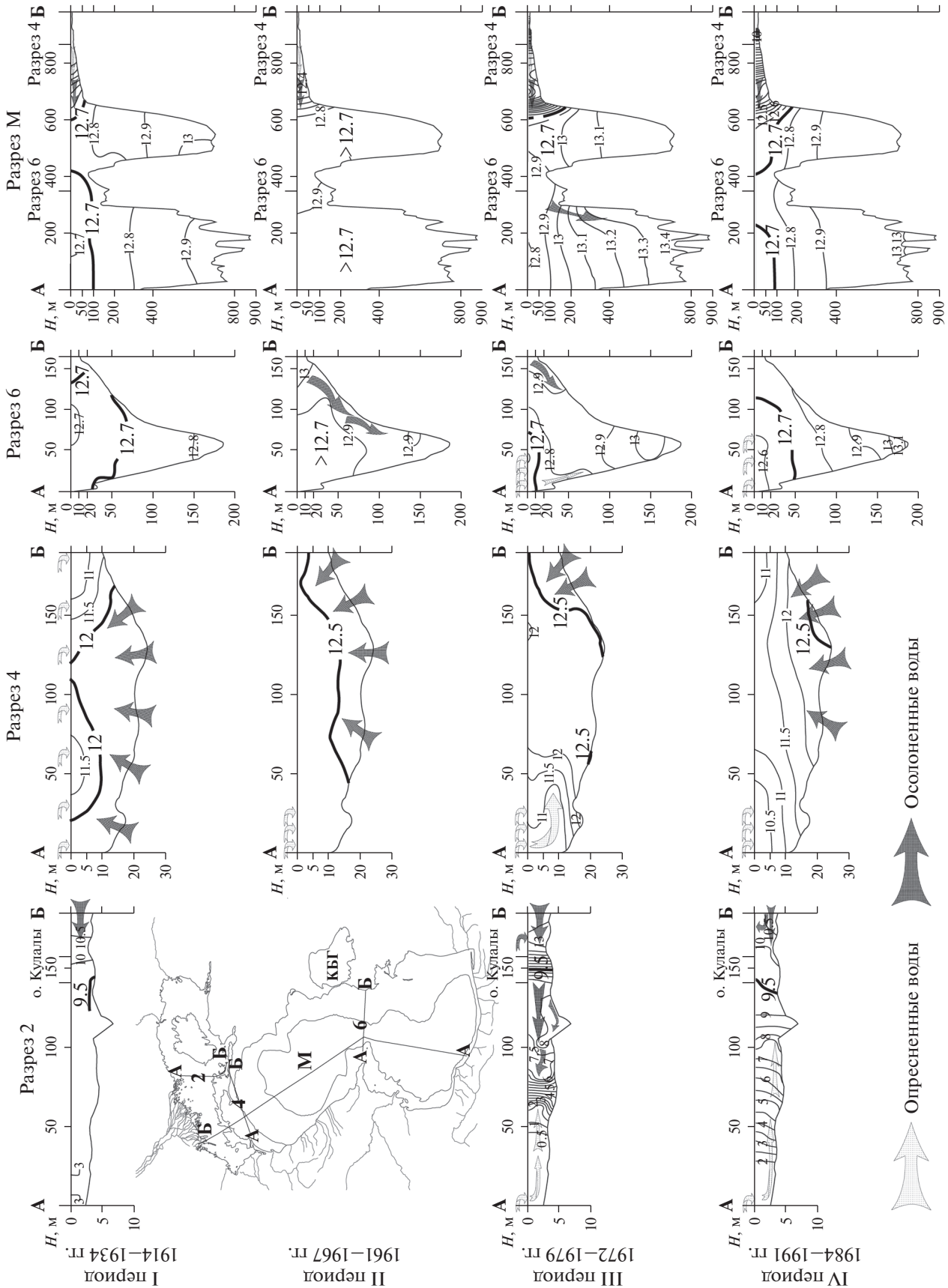


Рис. 2. Вертикальное распределение солёности (%) Каспийского моря для характерных периодов (август).

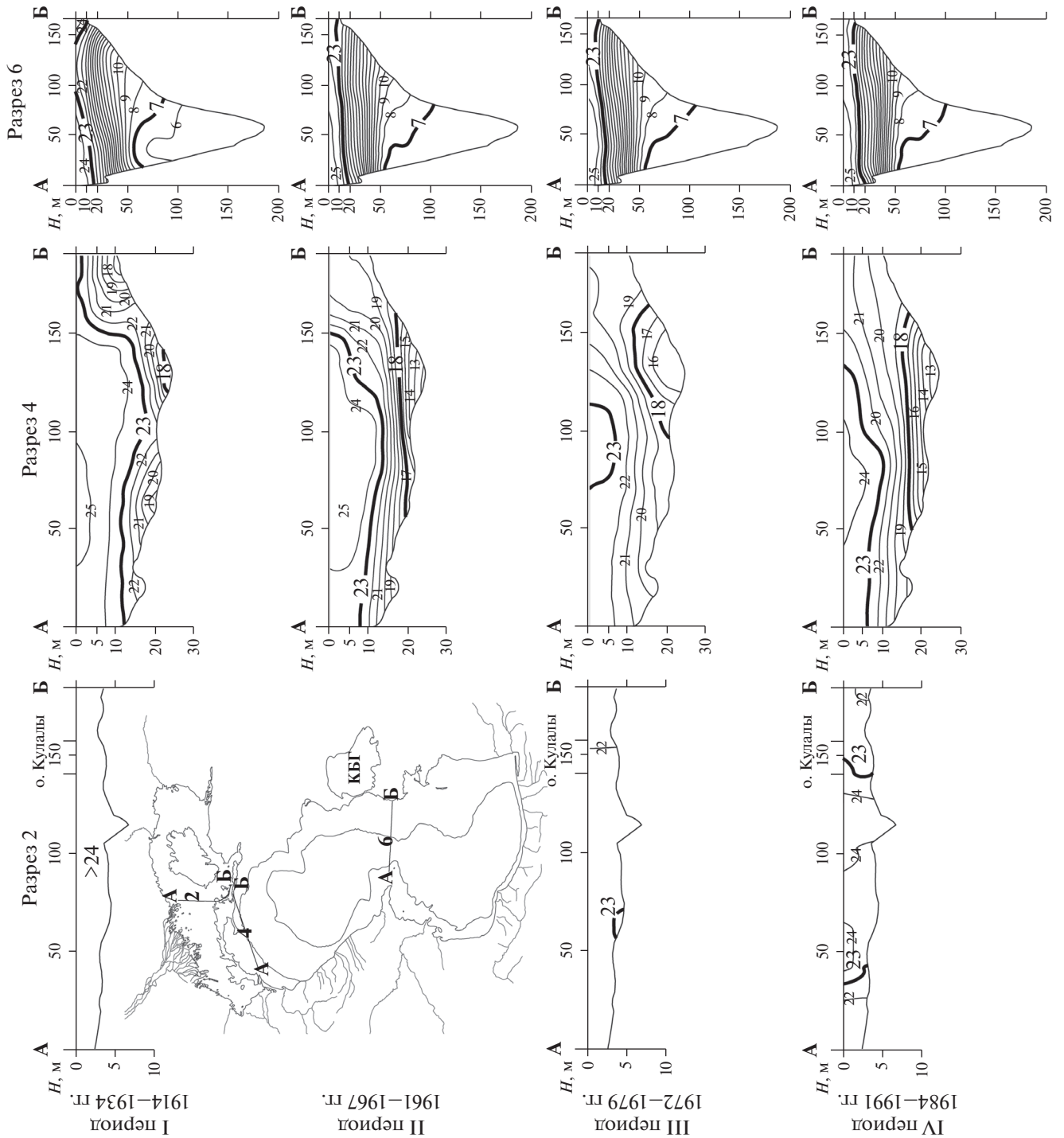


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры вод (°С) Каспийского моря для характерных периодов (август).

фикации вод за счет опреснения поверхностного слоя и осолонения нижележащих (рис. 2, разрез М). Причина данного явления – перераспределение стока р. Волга по рукавам и усиление западной волжской струи. Влияние речного стока на соленость западного шельфа Среднего Каспия резко возросло. Изменился сезонный ход солености и в районе разреза 6 (рис. 4).

Из-за конвективного перемешивания сезонное опреснение стало проникать глубже 50 м. В промежуточном слое и на 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 соле-

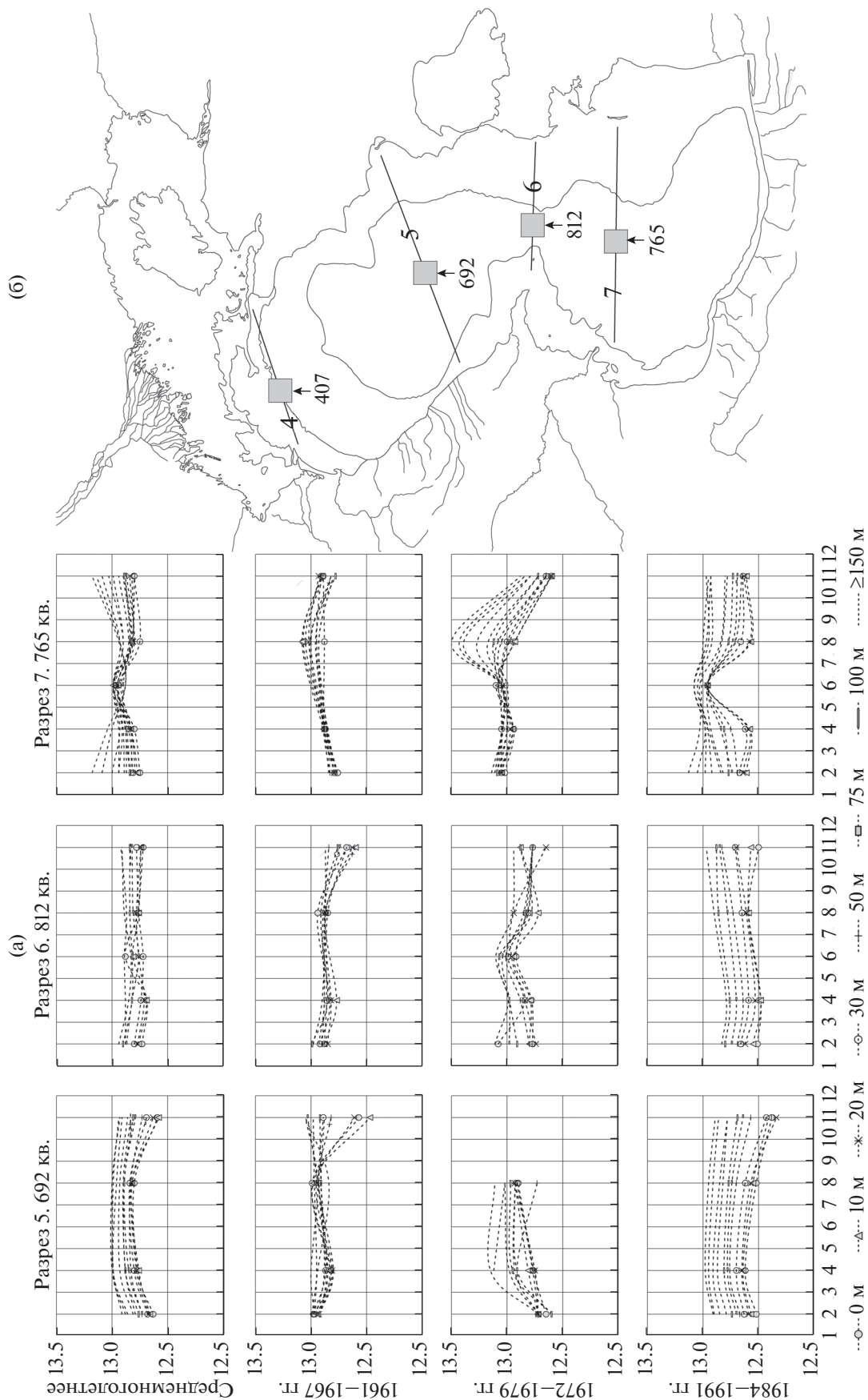


Рис. 4. Среднегодовое сезонное распределение солёности (‰) в центральных квадратах разрезов: среднегодовое и для выделенных периодов. (а) Распределение солёности, (б) положение квадратов.

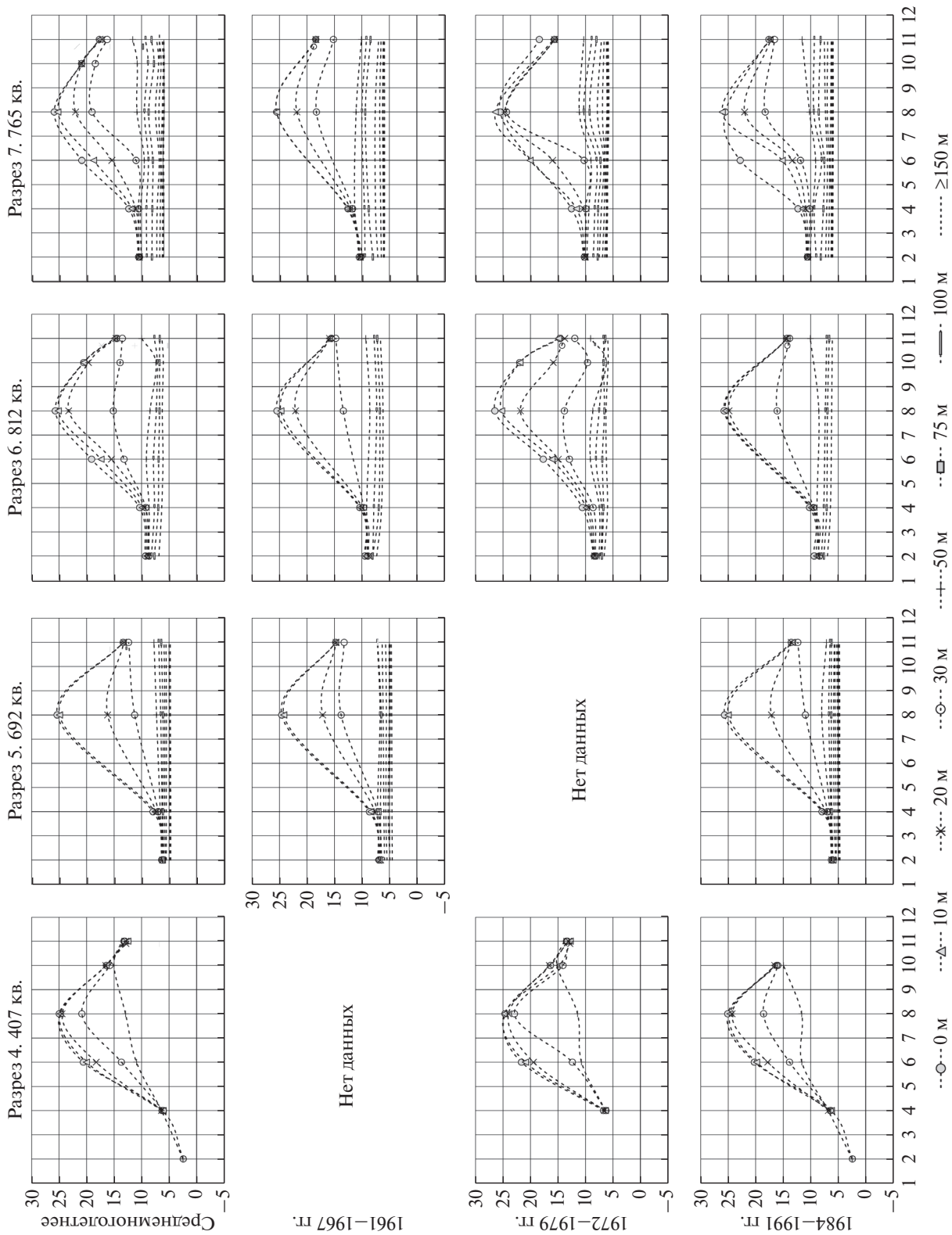


Рис. 5. Сезонное распределение температуры воды (°C) в центральных квадратах разрезов: среднемесячная “норма” и для выделенных периодов. Положение квадратов в Каспийском море в соответствии с рис. 4б.

ности, поэтому по сравнению с 1950-ми годами фоновые значения солености в районе разрезов 4 и 6 остались повышенными. Как показали расчеты [2], в районе разреза 4 средние значения составили в 1951–1965 гг. 11.9‰, а в 1974–1980 гг. — 12.4‰. В районе разреза 6: в 1951–1965 гг. они были равны 12.8‰, в 1974–1980 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 (рис. 5), показывает, что в 1970-х годах произошло увеличение температуры воды в пределах 1°C для этих районов в летний период на поверхностном горизонте. Как видно на разрезах (рис. 3), значительных качественных и количественных изменений в вертикальном распределении температуры в Среднем и Южном Каспии не наблюдалось после 1930-х годов.

Период 1984–1991 гг. В Северный Каспий основной объем пресного стока р. Волга поступал по западному рукаву. Характерной особенностью в многолетнем ходе для его восточного района является резкое снижение солености на всех горизонтах после 1982 г. в апреле, июне и октябре и увеличение разности значений между поверхностным и придонным горизонтами. В августе на приустьевом взморье р. Урал наблюдается похожая динамика. Но в пределах Уральской бороздины (глубина >5 м) тренд (как положительный, так и отрицательный) отсутствует. Только в 1991 г. заметно некоторое снижение солености, характерное для всей толщи.

На западе Северного Каспия пресные воды растекаются в поверхностном слое моря, а не как обычно вдоль берега. Южнее свала глубин воды стратифицированы весь год на всем разрезе 4 (рис. 2). Ранее [25] это явление отмечалось только в летние месяцы в юго-западном районе. Такая смена вертикальной стратификации и увеличение зоны поверхностного опреснения на границе Северного и Среднего Каспия может 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 эволюции вертикальных полей температуры и солености. Заток среднекаспийских вод происходит в придонной части разреза 4, далее распространяясь в восточную область вдоль о. Кулалы. Температура воды повышается, но не восстанавливается до значений 1914–1934 гг.

С подъемом уровня моря в 1984–1991 гг. произошло опреснение Каспийского моря [23]. Усилилась вертикальная стратификация вод в районе Апшеронского и Мангышлакского полуостровов.

В котловинах Среднего и Южного Каспия соленость уменьшилась и не превышала 12.8‰ (рис. 2, разрез М). Уменьшилась разница между восточным и западным побережьем. Формирование соленых вод с последующим их стеканием по склону восточного побережья не прослеживается. На границе с Южным Каспием сформировались водные массы с соленостью до 12.7‰ до горизонта 50 м (рис. 2, разрез М), что отмечалось ранее только в начале XX века [17].

Необходимо отметить, что значительные изменения температуры вод Каспийского моря характерны только для северной части и, по всей видимости, связаны с перенаправлением потоков в 1970-е гг. (рис. 3). Лишь в Южном Каспии в 1978–2000 гг. температура заметно повысилась на 0.3–0.5°C ниже 300 м. Также можно отметить потепление слоев ниже 100 м в районе Апшеронского порога на 1.0°C. Такие результаты согласуются с полученными ранее в работе [26].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ вертикальных разрезов позволил выявить некоторые важные закономерности в изменчивости солености и температуры вод Каспийского моря.

В 1914–1934 гг. отмечалась устойчивая соленостная стратификация [17]. Из Среднего Каспия воды поступали в северную часть по всему сечению разреза 4. Позже (1960-е годы) при уменьшении уровня на 2 метра сформировалась гомохалинная структура вод моря. С 1972 по 1979 гг. происходило усиление вертикальной неоднородности водных масс. При этом рассчитанные на основе информации из БД среднегодовые значения солености для “вековых” разрезов в слое 0–100 м показывают постепенное уменьшение со средним темпом 0.02–0.06‰ в год несмотря на продолжающееся падение уровня и относительно низкий сток. В 1980 г. снова происходит резкий рост солености (на 0.3‰ за год в районе разреза 6), затем опять соленость падает, более быстрыми темпами, чем в предыдущий период, теперь уже вследствие увеличения стока и на фоне подъема уровня моря (почти на 1.5 м). В современный период (2000–2010 гг.) в северо-западной части моря наблюдается снижение солености на 2.1‰ по сравнению с периодом минимального положения уровня [2], наличие выраженной вертикальной устойчивой стратификации. Таким образом, после более чем 30-летнего увеличения и смены типа *TS*-стратификации вод, режим солености практически вернулся к первоначальному состоянию (начала XX века).

Для мелководного Северного Каспия межгодовые колебания уровня моря и, как следствие, изменение морфометрических условий являются

одними из определяющих при формировании полей температуры и солёности. От этого зависит интенсивность водообмена между восточной и западной частями через Кулалинский порог, а также сама схема водных потоков. Существенные изменения гидрологического режима в глубоководном 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 1929 г. до конца 1940-х годов аномалий в режиме солёности, аналогичных рассмотренным выше, в литературе не отмечено.

Изменение режима солёности в Среднем и Южном Каспии, сопровождавшееся увеличением вертикальной стратификации, опреснением поверхностного слоя и осолонением более глубоких в 1970-х гг., и сам механизм, вызвавший такие трансформации, не характерны для Северного Каспия. В 1970-е годы, с падением уровня моря в Северном Каспии наблюдается осолонение, в наибольшей степени проявившееся в восточном районе. Это связано с перераспределением объемов поступающих речных и среднекаспийских вод, что подтверждают порядки величин изменения характеристик.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-60046 мол_а_дк, РФФИ и РГО в рамках научного проекта № 17-05-41190 РГО_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Черное, Азовское и Каспийское моря / Матишов Г.Г. и др. Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
2. 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. Ростов н/Д: ЮНЦ РАН. 2010. С. 29–43.
3. Биологическая продуктивность Каспийского моря / Под ред. Астахова Т.В. и др. М.: Наука, 1974. 245 с.
4. Болгов М.В., Красножен Г.Ф., Любушин А.А. Каспийское море: экстремальные гидрологические события. М.: Наука, 2007. 381 с.
5. Бондаренко А.Л. Течения Каспийского моря и формирование поля солёности вод Северного Каспия. М.: Наука, 1993. 122 с.
6. Бруевич В.С. Гидрохимия Среднего и Южного Каспия // Труды по комплексному изучению Каспийского моря. Вып. 4. М.: Изд-во АН СССР, 1937. 352 с.
7. Варущенко С.И., Варущенко А.Н., Клиге Р.К. Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени. М.: Наука, 1987. 240 с.
8. Воропаев Г.В., Исмаилов Г.Х., Фёдоров В.М. Проблемы управления водными ресурсами Арало-Каспийского региона. М.: Наука, 2003. 427 с.
9. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI Каспийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Терзиева Ф.С. и др. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 360 с.
10. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. VI Каспийское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Под ред. Терзиева Ф.С. и др. СПб.: Гидрометеоиздат, 1996. 224 с.
11. Каспийское море. Гидрологический справочник морей СССР. Том 2. Выпуск I-IV / Под ред. Книповича Н.М. Ленинград: Редакционно-издательский отдел ЦУЕГМС. Ленинградское отделение, 1935.
12. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия / Под ред. Добровольского А.Д. М.: Изд-во МГУ, 1969. 264 с.
13. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия / Под ред. Байдина С.С., Косарева А.Н. М.: Наука, 1986. 261 с.
14. Катунин Д.Н., Косарев А.Н. Солёность и биогенные вещества в Северном Каспии // Водные ресурсы. 1981. № 1. С. 77–88.
15. Катунин Д.Н., Хрипунов И.А. Многолетнее распределение температуры, солёности и прозрачности вод Северного Каспия. М.: Пищевая промышленность, 1976. 231 с.
16. Климатический и гидрологический атлас Каспийского моря / Под ред. Самойленко В.С. М.: Гидрометеоиздат, 1955. 87 с.
17. Книпович Н.М. Труды Каспийской экспедиции 1914–1915 гг. Гидрологические исследования в Каспийском море в 1914–1915 гг. Т.1. Петроград: Гос. Изд-во, 1921. 943 с.
18. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: Изд-во МГУ, 1975. 272 с.
19. Крицкий С.Н., Коренистов Д.В., Раткович Д.Я. Колебания уровня Каспийского моря. М.: Наука, 1975. 159 с.
20. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря // Вестник Каспия. 2004. № 3. С. 82–101.
21. Леднев В.А. Течения Северного и Среднего Каспия. М.: Изд-во “Морской транспорт”, 1943. 97 с.
22. Матишов Г.Г., Моисеев Д.В., Бердников С.В. и др. Совместные подходы ММБИ, ЮНЦ и Лаборатории климата океана НОАА (США) к организации океанографических и гидробиологических баз данных арктических и южных морей России // Труды Кольского научного центра РАН. Океанология. 2013. Вып. 1. С. 135–152.
23. Матишов Г.Г., Яицкая Н.А., Бердников С.В. Особенности внутривекового режима солёности Каспийского моря // Докл. РАН. 2012. Т. 444. № 5. С. 549–553.

24. Панин Г.Н., Мамедов Р.М., Митрофанов И.В. Современное состояние Каспийского моря. Институт водных проблем РАН. М.: Наука, 2005. 356 с.
25. Пахомова А.С., Затучная Б.М. Гидрохимия Каспийского моря. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 343 с.
26. Тужилкин В.С. Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования: Дис. ... д-ра. геогр. наук: 25.00.28. Москва, 2008. 313 с.
27. Фролов А.В. Моделирование многолетних колебаний уровня Каспийского моря: теория и приложения. М.: ГЕОС, 2003. 171 с.
28. Хвацкая Ю.А. Современное состояние режима солености воды в Северном Каспии // Водные ресурсы АН СССР. 1980. № 4. С. 183–191.
29. 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: ЮНЦ РАН, 2009. С. 59–60.
30. Яицкая Н.А. Термохалинный режим Каспийского моря при изменении уровня: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: Мурманск, 2012. 28 с.
31. Climatic Atlas of the Barents Sea 1998: Temperature, salinity, oxygen / Eds. Matishov G. et al. NOAA Atlas NESDIS 36, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1998. 138 p.
32. Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004. Part I. Database of the Barents, Kara, Laptev, and White Seas - Oceanography and Marine Biology / Eds. Matishov G. et al. National Oceanographic Data Center/NOAA, Silver Spring, MD, USA, 2004. 356 p. (+DVD).
33. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006 / Eds. Matishov G. et al. NOAA Atlas NESDIS 58, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2006. 103 p., CD-ROM.
34. Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008. Editors Matishov G. NOAA Atlas NESDIS 65, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 2008, 148 p., CD-ROM.
35. Matishov G.G., Berdnikov S.V., Zhichkin A.P. et al. Atlas of Climatic Changes in Nine Large Marine Ecosystems of the Northern Hemisphere (1827–2013) / Eds. Matishov G.G. et al. NOAA Atlas NESDIS 78. 2014. 131 p.

Title of the Manuscript Changes of Water Temperature and Salinity of the Caspian Sea during the XX Century

D. G. Matichov, N. A. Yaitskaya, S. V. Berdnikov

The paper considers the geoinformation system of the Caspian Sea, which includes the mega database of primary oceanographic and meteorological information for period 1914–2010, historical cartography information and modules for spatio-temporal analysis. Based on this mega database the average annual vertical climatic sections of the salinity and water temperature and anomalies of them for specific periods were created. The new quantitative and qualitative changes, occurred during the XX century in the structure of sea water, were described. The simplified scheme of water exchange between various areas at different positions of the sea level were proposed.