

УДК 551.46.062.5(262.81)

## ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОД КАСПИЙСКОГО МОРЯ В XX ВЕКЕ

© 2018 г. **Д. Г. Матишов**<sup>1, 2, 3</sup>, **Н. А. Яицкая**<sup>1, 3, 4, 5, \*</sup>, **С. В. Бердников**<sup>1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>Институт аридных зон ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>2</sup>Азовский филиал Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>4</sup>Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия

<sup>5</sup>Филиал 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 среднегодовые 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.

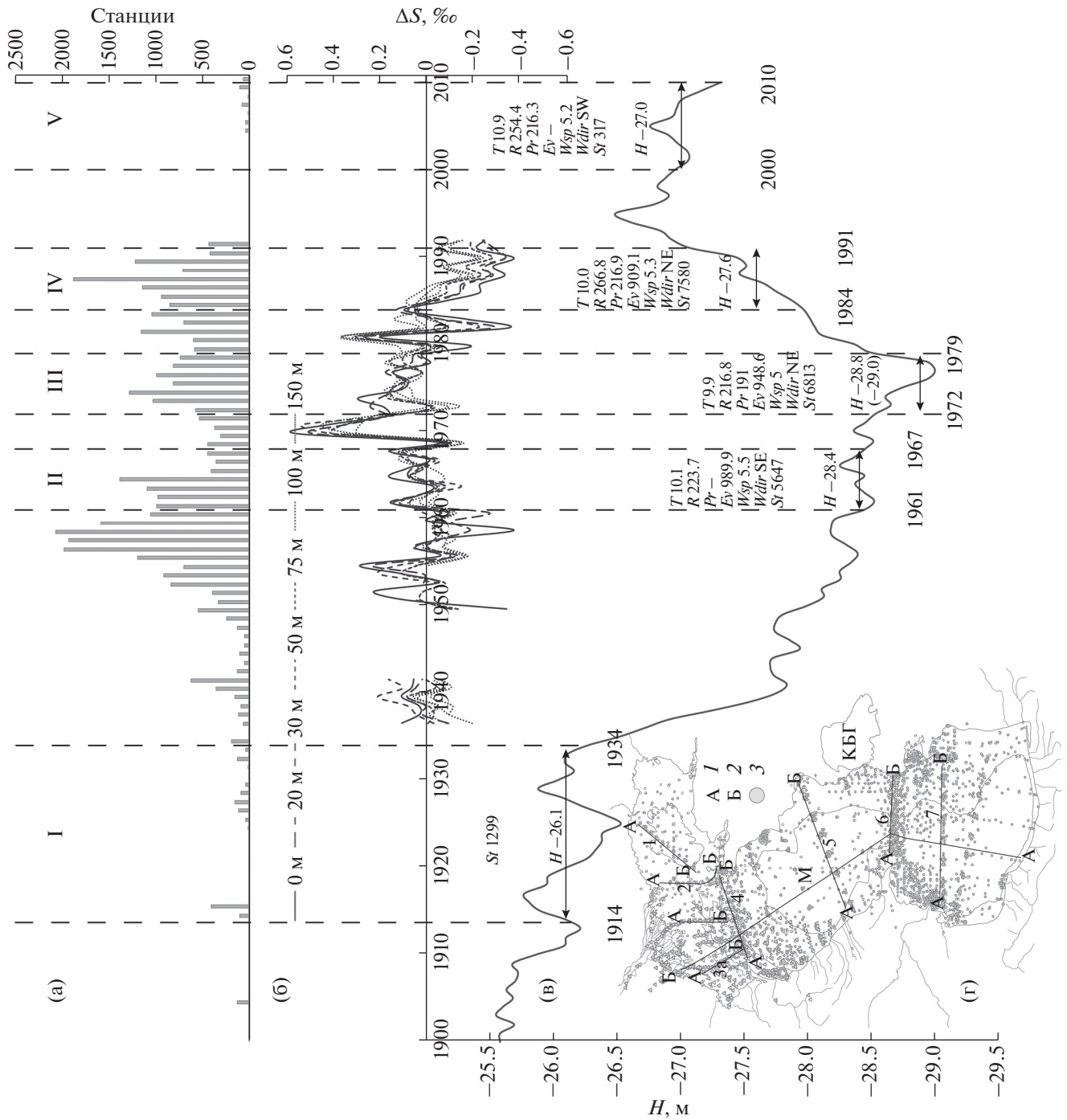
В XIX–XXI вв. выполнен ряд комплексных исследований Каспийского моря, основные результаты которых опубликованы в монографиях и обобщающих климатических справочниках [3–21, 24–27]. Выявлены основные закономерности сезонной и многолетней динамики элементов гидрологического режима моря. При этом исходные 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 ( $\Delta S, \text{‰}$ ) 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];  
*Wsp* – среднееголетняя скорость ветра по данным ре-анализа (м/с);  
*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/](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 расчет среднеклиматической нормы не включались.

Для анализа межгодовой изменчивости солёности и температуры воды выделено пять временных периодов, исходя из совместного рассмотрения 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-

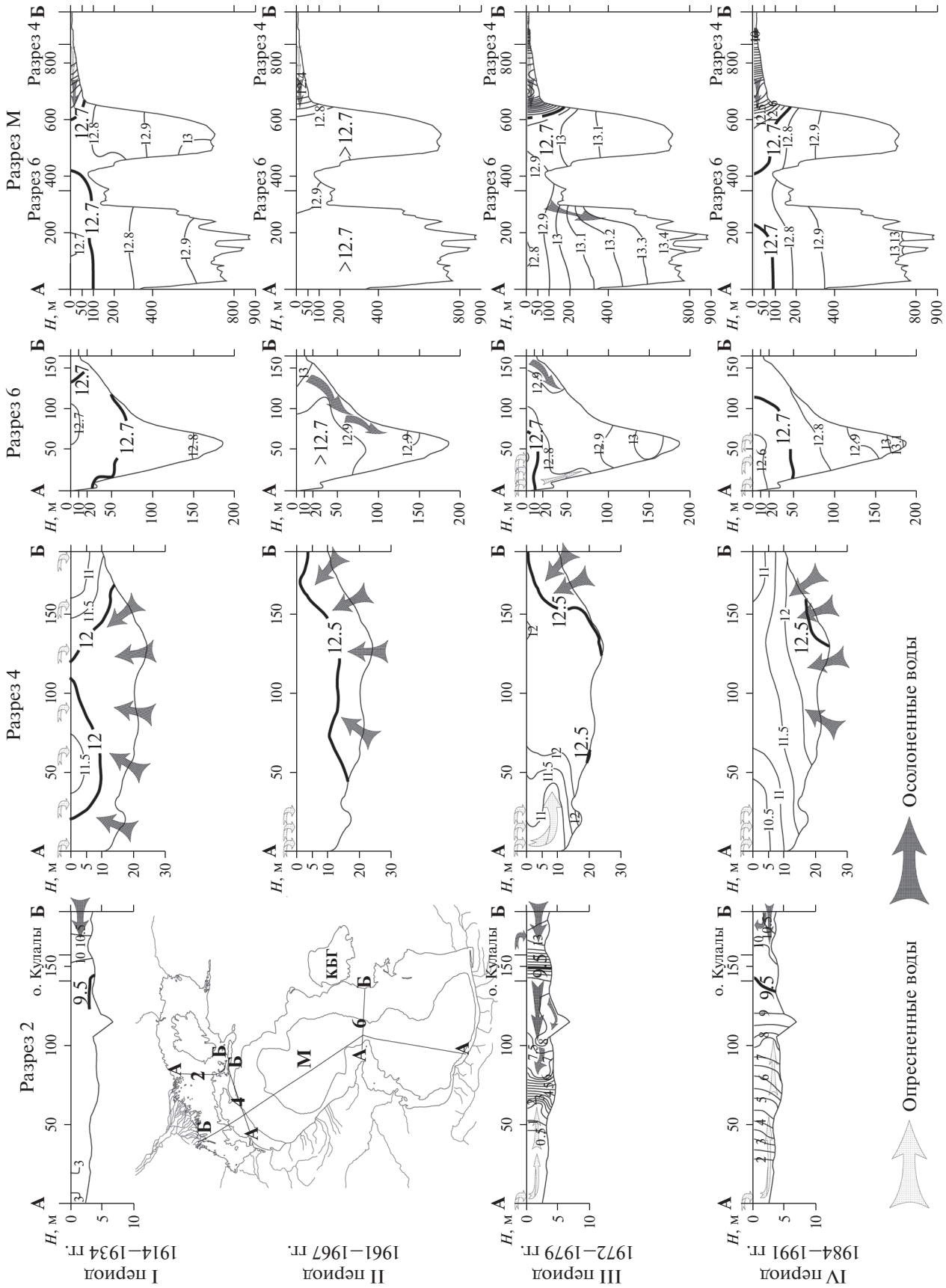


Рис. 2. Вертикальное распределение солёности (‰) Каспийского моря для характерных периодов (август).

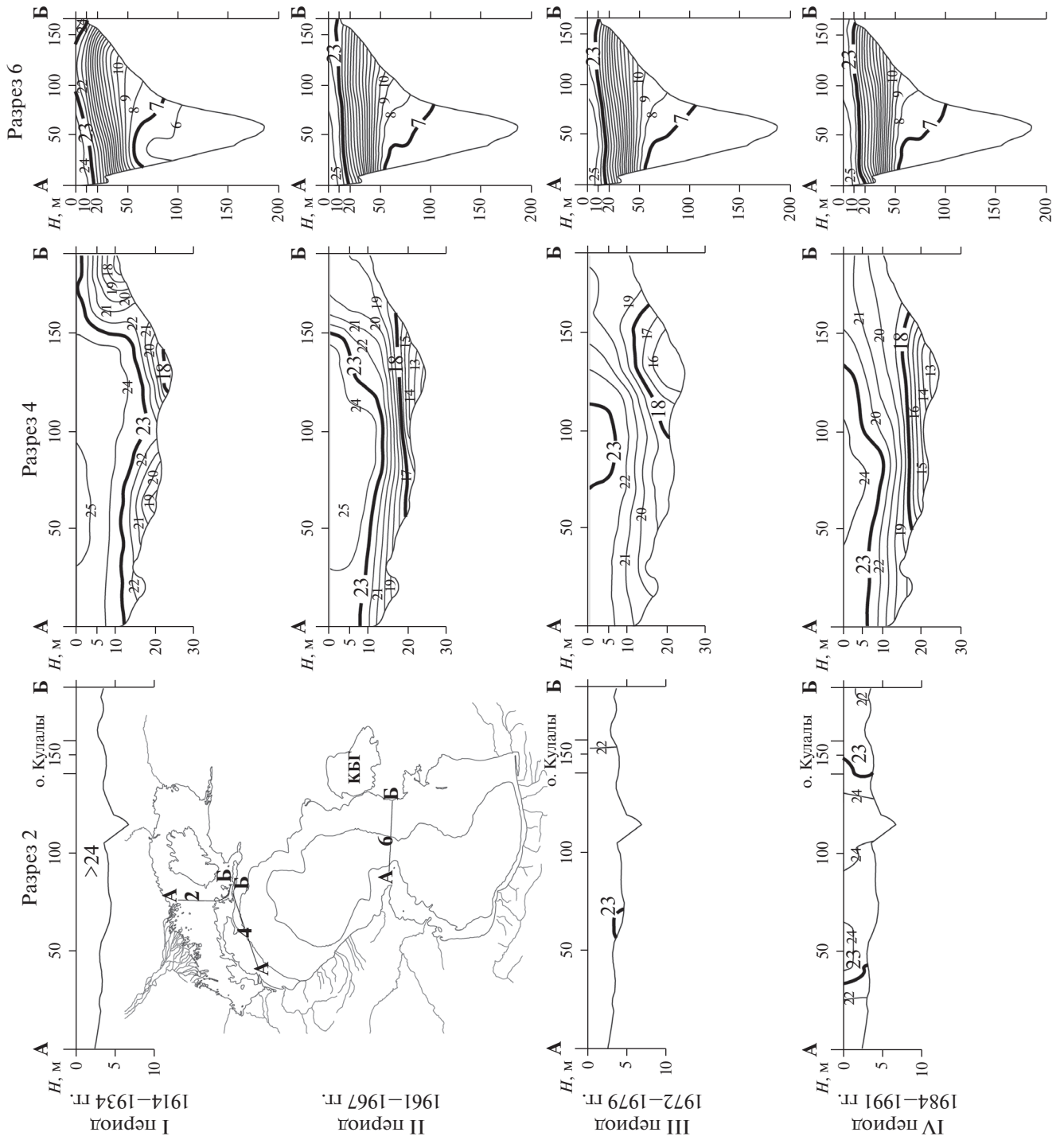


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры вод (°С) Каспийского моря для характерных периодов (август).

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-

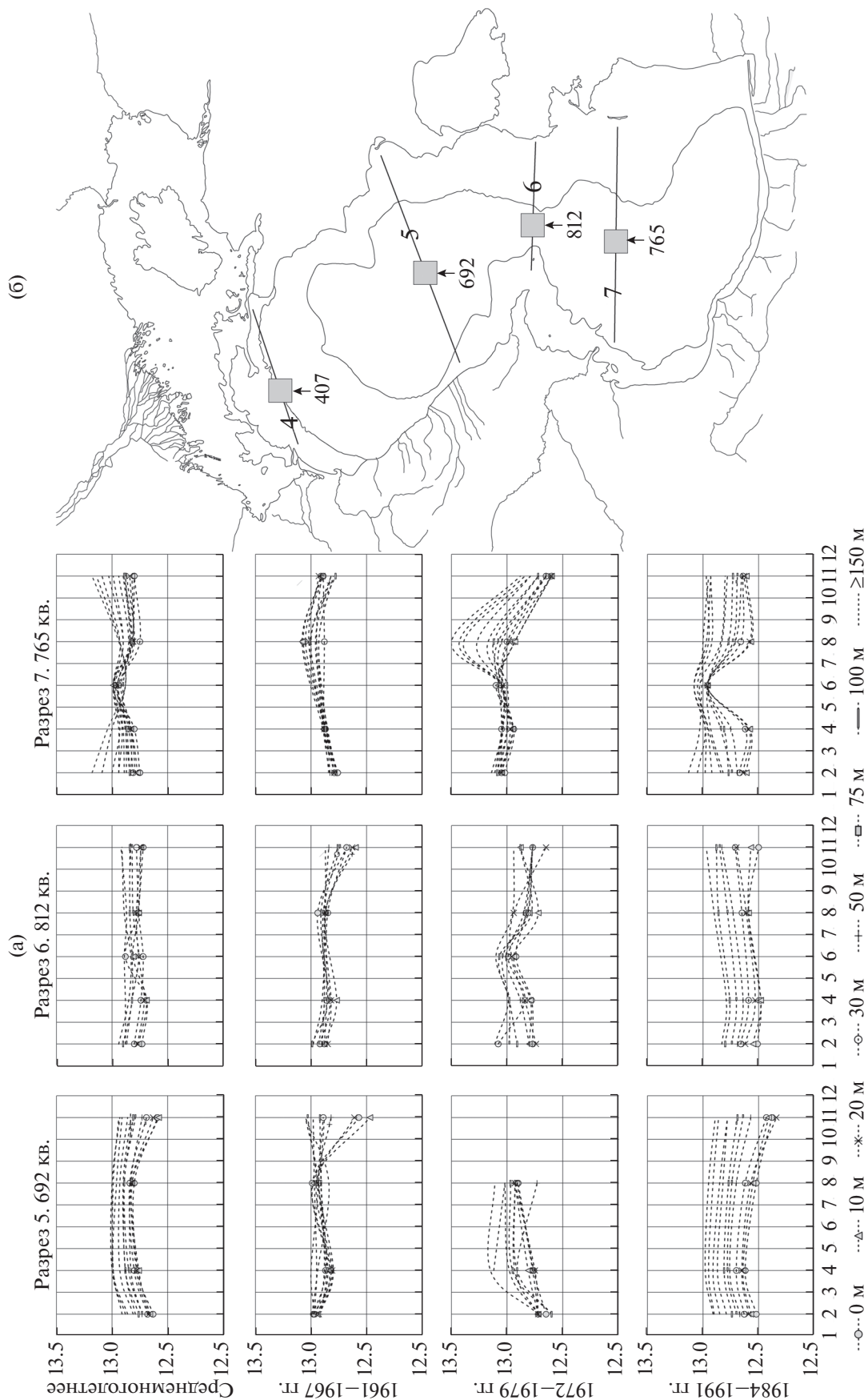


Рис. 4. Среднемесячное сезонное распределение солёности (‰) в центральных квадратах разрезов: среднемесячные “норма” и для выделенных периодов. (а) Распределение солёности, (б) положение квадратов.



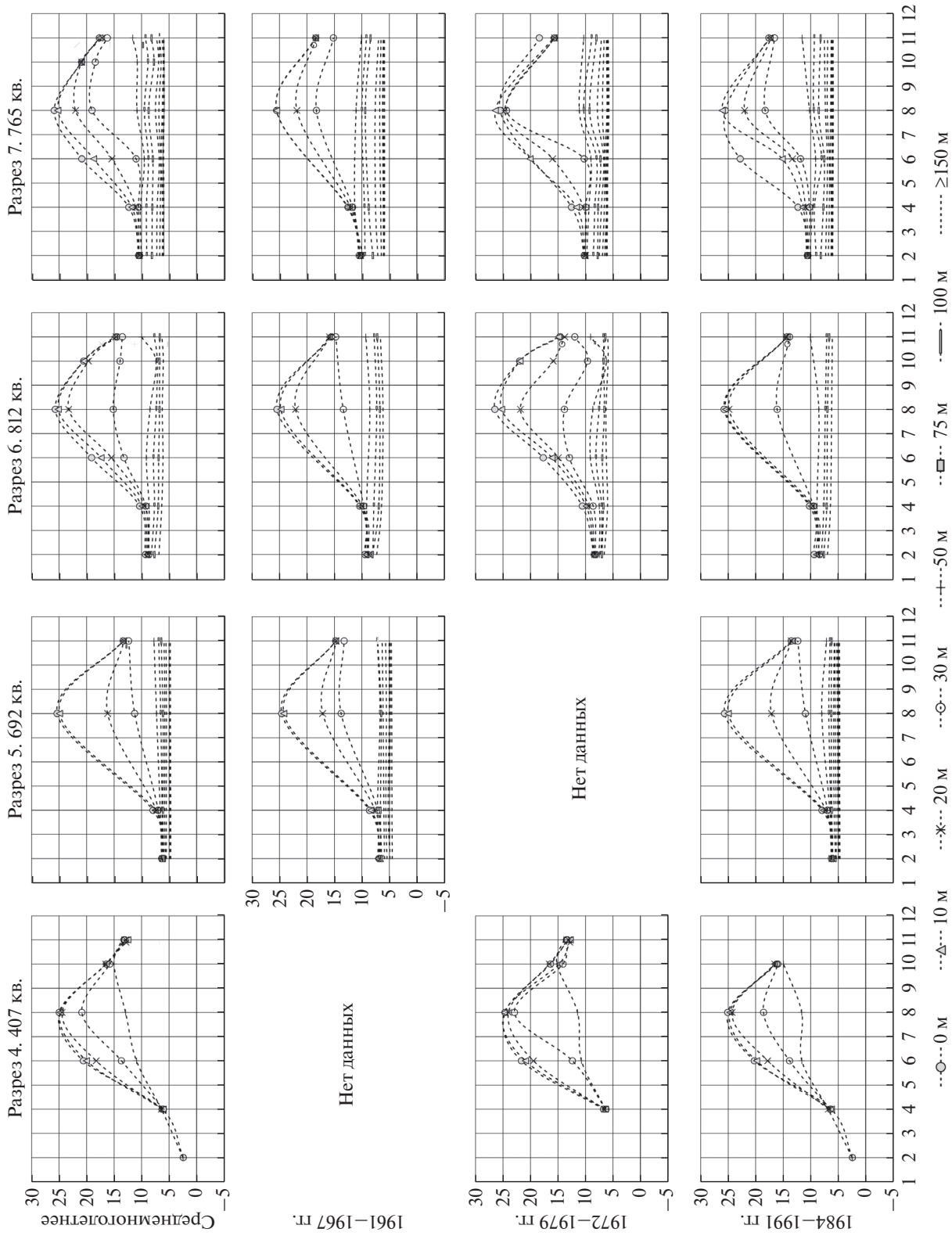


Рис. 5. Сезонное распределение температуры воды (°C) в центральных квадратах разрезов: среднемесячные “норма” и для выделенных периодов. Положение квадратов в Каспийском море в соответствии с рис. 4б.



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 значимо 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.: Гидрометеиздат, 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.: Гидрометеиздат, 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.: Гидрометеиздат, 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.

## Temperature and Salinity Variations in Caspian Sea Waters in the 20th Century

D. G. Matishov<sup>a, b, c, †</sup>, N. A. Yaitskaya<sup>a, c, d, e, \*</sup>, and S. V. Berdnikov<sup>a, b, c</sup>

<sup>a</sup>*Institute of Arid Zones, Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 344006 Russia*

<sup>b</sup>*Azov Branch, Murmansk Marine Biological Institute, Kola Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 344006 Russia*

<sup>c</sup>*Southern Science Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 344006 Russia*

<sup>d</sup>*Sochi Research Centre, Russian Academy of Sciences, Sochi, 354000 Russia*

<sup>e</sup>*Branch of the Institute of Natural and Technical Systems, Sochi, 354024 Russia*

\**e-mail: yaitskayan@gmail.com*

Received December 7, 2016; in final form, June 22, 2017

**Abstract**—One the most complete megadatabases for the period of 1914–2010 is used to study the interannual dynamics of salinity and temperature of Caspian Sea waters. Periods with relatively stable sea levels but different climatic conditions are considered. Average interannual climatic salinity and temperature profiles of water and corresponding anomalies are analyzed. Quantitative and qualitative changes in the structure of sea-water that took place during the 20th century are described. Schemes of water exchange between particular sea regions for different sea levels are proposed.

DOI: 10.1134/S0001437018060103

### INTRODUCTION

There are several stages of the Caspian Sea level that can be distinguished throughout the 20th century (Fig. 1c): high stand (–26 m before 1934), drop (down to –28.9 m by 1977), growth (up to 1992), and stabilization at a relatively high level (about –27 m until 2000). After 2010, a slow drop in sea level began, which, given ongoing climate change, may lead to restructuring of the sea's entire hydrological regime.

In the 19th–21st centuries, a number of comprehensive studies were carried out in the Caspian Sea, the main results of which were published in monographs and general reference books on climate [3–21, 24–27]. The main regularities in the seasonal and interannual dynamics of the elements of the sea's hydrological regime were revealed. Meanwhile, virtually the whole time, the initial primary data underlying these studies were unavailable to a broad range of users, while the cartographic data were compiled into schematic charts.

It should be noted that the mentioned publications utilized the data obtained in different years, with different processing methods, and this lack of unity influences interpretation of the results, especially when comparing publications considering different periods. For example, salinity studies in the Northern

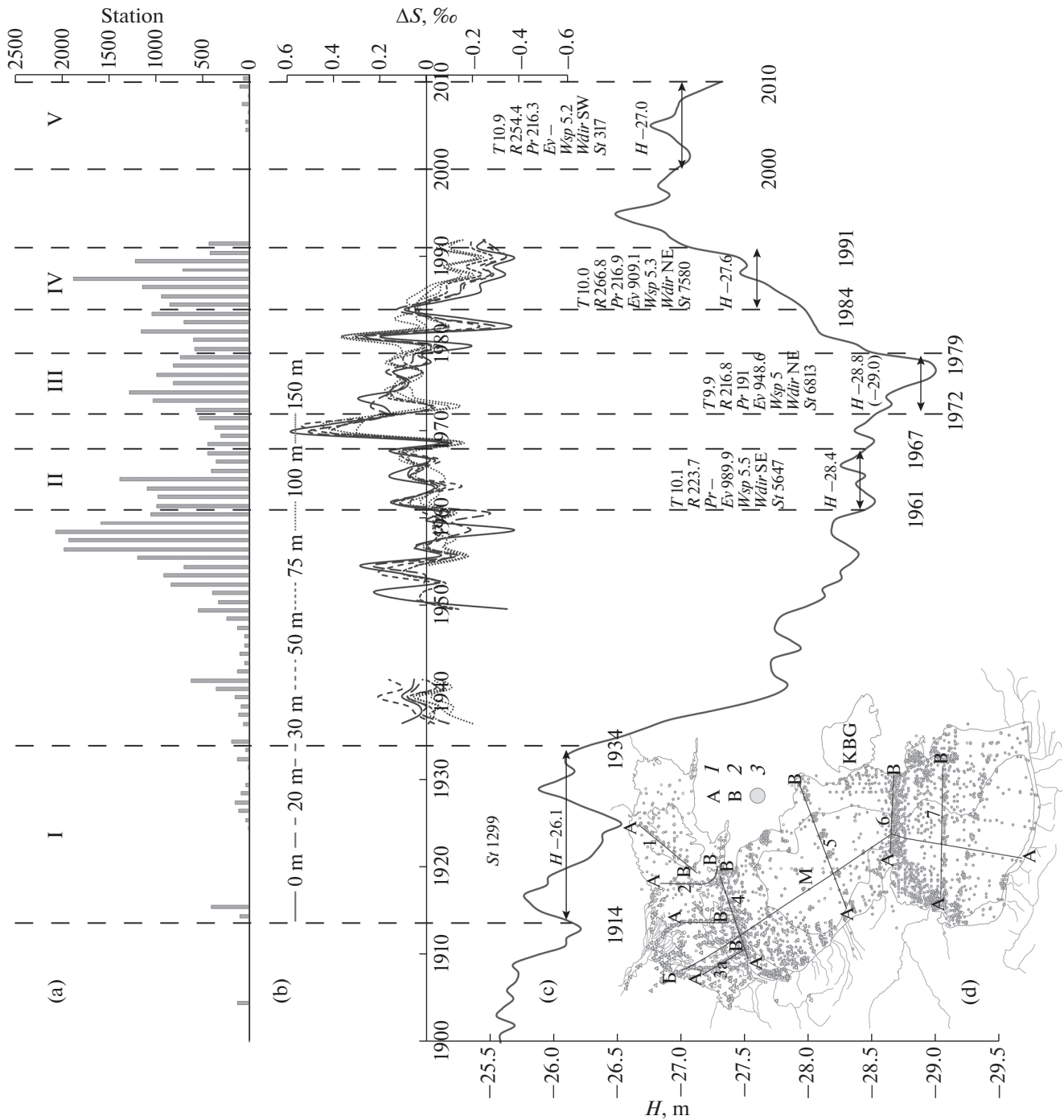
Caspian Sea in the period of lowest sea level stand (1977–1978) led specialists to ambiguous conclusions: (a) by 1977, there was almost no difference between salinity in the western and eastern parts of the sea [5]; (b) from 1945 to 1980, salinity in the western part remained much higher than in the eastern [28]; (c) salinity in the eastern part approached that of the western part, even exceeding it in 1977 [14].

In the 20th century, informational and technological support for these studies considerably improved. Manual data-processing methods and physical paper storage were replaced by automated observation systems and digital databases. Information technologies which tested and broadly used in geographic sciences allow researchers to document (or digitize) historical data with retention of measurement systems and cartographic projections, which is especially important for constant sea level variations in the Caspian Sea and, therefore, changes of its shoreline.

The creation of a digital database of initial oceanographic data for the Caspian Sea, taking into consideration world-level standards on its design, storage, and distribution of information, has the goal of saving and reconstructing study results that have accumulated from long-term instrumental observations. In addition, such a database is subsequently used to obtain new conclusions and generalizations.

In the present work, we attempted to reveal and analyze the main peculiarities of seasonal, spatial, and

<sup>†</sup> Deceased.



**Fig. 1.** Interannual variations of Caspian Sea level in selected period: (a) distribution of stations presented in database by year; (b) water salinity anomalies ( $\Delta S, \text{‰}$ ) relative to mean interannual value along profile 6; (c) interannual variations of Caspian Sea level; (d) spatial distribution of data in database and locations of centennial profiles: (1) starting point of profile, (2) end point of profile, (3) observation data. *T*, mean interannual temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) according to Astrakhan meteorological station; *R*, mean interannual river discharge ( $\text{km}^3/\text{yr}$ ) in Verkhnee Lebyazh'e River section; *Pr*, mean interannual precipitation (mm) according to Astrakhan meteorological station; *Ev*, mean interannual evaporation (mm/yr; after R. Wardlow [36, 37]); *Wsp*, mean interannual wind speed, based on reanalysis data (m/s); *Wdir*, mean interannual wind direction based on reanalysis data; *Sr*, total number of stations employed in period; *H*, sea level (m) in Makhachkala; -, no data. Hereinafter, KBG stands for Kara Bogaz Gol Gulf.

interannual temperature and salinity variations in Caspian Sea waters for a nearly 100-year observation period using a combined methodological approach and the currently available database.

### MATERIALS AND METHODS

The factual basis of the work was the archive of initial oceanological and meteorological data for the period from 1897 to 2013 from 43 333 marine stations [1, 35]

(Figs. 1a, 1d). The data sources were archives of the US National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA), United Ocean Data System (ESIMO), and particular publications, including the scientific results of expeditions conducted by the Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences (SSC RAS). All these data passed a multistage quality control system in accordance with the approaches elaborated in [22, 29–34].

Today this database is probably the most complete among those commonly accessible. Free access is provided by NOAA ([http://data.nodc.noaa.gov/woa/DATA\\_ANALYSIS/LME\\_supplementary/](http://data.nodc.noaa.gov/woa/DATA_ANALYSIS/LME_supplementary/)) and SSC RAS (<http://atlas.ssc-ras.ru/>). The data registry on the Caspian Sea, organized in the framework of the Caspian Environmental Program (CEP), contain metadata on 88 311 marine stations, but these data were available at different organizations. In his doctoral dissertation, V.S. Tuzhilkin [26] referred to a database that included more than 60 000 marine stations, but its today access status is unknown.

Studies in the Caspian Sea are almost always carried out along so-called centennial hydrological profiles (Fig. 1d) [9, 18], where marine observation stations are usually located. This is exactly why we consider profiles in our study to reveal interannual and seasonal temperature and salinity variability in Caspian Sea waters. The vertical temperature and salinity distributions for these profiles have been constructed, averaged over the entire observation period—so called “climatic norms” published in climate atlases [1, 35]—and for particular periods; the corresponding seasonal and interannual variability curves have calculated. Additionally, we considered the meridional profile across the deepest parts of the sea running from the south to the Volga River delta.

The data were averaged as follows [30]. On a regular grid with  $15 \times 15$  cells (squares), we considered only squares that crossed the sections. In this case, each square within the limits of the profile almost always contains one standard station.

At the first stage, the data within each square were averaged at standard depths of 0, 5, 10, 20, ..., 900 m for each month of every year. The extreme (minimum and maximum) values were rejected. Thus, one square of each month of every year is characterized by single temperature and salinity values (the mean for all stations falls within the square).

At the second stage, the data for the entire considered period were averaged within months and squares at the mentioned standard horizons. Note that observations in years when such parameters as air temperature, wind speed, precipitation, evaporation, and water discharge of the Volga River had anomalous mean annual values were not used in calculating the mean climatic norm.

To analyze interannual water salinity and temperature variability, five time periods were distinguished based on combined consideration of graphs showing

sea level changes, mentioned meteorological parameters, and water discharge of the Volga River (see Fig. 1 and its explanation). Within each time period, data for each month and square were averaged over the standard depths.

Thus, the vertical distributions for all centennial profiles were constructed for mean climatic conditions and characteristic periods with relatively stable sea levels (Fig. 1). We used ArcGIS ESRI software to visualize the results.

Plots of the seasonal water salinity and temperature variability at the standard depths were constructed for each square along the centennial and meridional profiles; however, in the next section, we take into account only the central squares of all sections, because they had the most abundant observation data [30].

## RESULTS AND DISCUSSION

In the 20th century, the climatic conditions and water budget regime of the Caspian Sea changed considerably. Salinity and its centennial fluctuations can be considered indicators when estimating changes in water exchange in the sea [2, 23]. Below, we demonstrate that when salinity is considered in the centennial profiles, it shows a complex interannual variability with a certain cyclicity in the background. The same is applicable to the interannual water temperature dynamics. Remarkably, in some areas, interannual changes are synchronous, but not always unidirectional.

### 1961–1967

For the eastern part of the Northern Caspian Sea [9, 18] and the area of Kulaly sill, the period of 1961–1967 was characterized by a salinity that decreased by 1‰ compared to the mean climatic norm. The minimum salinity values in the eastern part were reported in May, when almost the entire region is filled by water with salinity less than 3.5‰. Vertical salinity stratification is absent in all months. In April, July, and October, clusters of colder (by 1°C relative to the surrounding water) and saltier (by 0.5‰) water formed above the Ural Furrow. The northern area of the Kulaly sill is occupied by waters with salinity up to 3.5‰ from May to July. Waters with salinity more than 12‰ are not reported to the north of Kulaly Island. The smallest variations are observed in the near-bottom central part of profile 4. Salinity here is lower than the mean interannual value by 0.1–0.2‰. Inflow of transformed Middle Caspian waters with salinity more than 12.5‰ into the Northern Caspian Sea took place in the layer lower than 10 m. Near the eastern coast, Middle Caspian waters wedged up to the surface (Fig. 2, profile 4).

In the period of 1961–1967, salinity in the Middle and Southern Caspian [9, 18] beyond the offshore zone was the same, 12.8 and 12.9‰, respectively (Fig. 2, profile M). Near the eastern coast, salinity

reached 13.1‰. In the narrow zone along the western coast of the Middle Caspian, the influence of water inflow from the Volga River becomes noticeable. Compared to the period of 1914–1934, water below 100 m in the area of the Apsheron sill warmed by 1°C and became 0.1‰ saltier, probably because of the changed in the water exchange mechanism for the deep basins (Figs. 2, 3, profiles 6 and M).

#### 1972–1979

In the eastern part of the Northern Caspian Sea, vertical water stratification is absent. Similarly to the period of 1961–1967, in particular months, if the volume of supplied Middle Caspian water is large enough, clusters of higher salinity (by  $\approx 0.5\%$  relative to the overlying layers) formed in the area of the Ural Furrow. Notably, in the interannual regime, this area is marked by the highest salinity variability (Fig. 2). In the period of 1972–1979, due to minimum water discharge and increased compensatory inflow from the Middle Caspian, salinity increased by 2.5–3.0‰, reaching 10.1‰ in the area of the Ural Furrow (the average value for the entire profile is 9.2‰) [2]. Thus, salinity in the eastern and western parts were almost equalized (9.2 and 10.6‰, respectively), although salinity in the western part was higher.

Interannual variations in salinity in the Northern Caspian Sea demonstrate two peaks, in 1974–1976 and 1982–1983. The former is related to a significant decrease in river water discharge, precipitation, and lower wind speeds; the latter, to an increase in air temperature and evaporation, combined with higher wind speeds and greater river water discharge. As shown below, relative freshening is seen in all horizons after 1983.

On the background of a decreasing volume of river discharge and precipitation, the 1970s were marked by significant freshening of the northern part of profile 3a and salinization of the southern, which could have been caused by redistribution of Volga River discharge through arms. With respect to the drop in sea level and shallowing of significant areas near the delta, the main water discharge volume was directed to the western river arm. In the same time, the southern part of the section was marked by the presence of saltier (compared to the mean interannual regime) Middle Caspian water. Thus, the profile 3a in this period is characterized by significant horizontal gradients in all months. Shallowing of the water area led to impeded water exchange between the Northern and Middle Caspian. Middle Caspian water masses flowed in along the coast of the Mangyshlak Peninsula and then across the northern part of the Kulaly sill, forming a vast frontal zone. Water flowed out through the strait between Kulaly Island and the Mangyshlak Peninsula. The influence of discharge currents along the entire extent of profile 4 (Chechen Island–Mangyshlak Peninsula) in the high water period abruptly increased. In

June, the salinity peak quickly spreads to the eastern terminus of the profile, but the influence of high water also quickly disappears. In August, traces of fresh water are noticeable only near the Agrakhan Peninsula. Under mean interannual conditions, the minimum salinity near the Mangyshlak Peninsula was reported in August in the periods that preceded and followed. Notably, water temperature in the areas of profiles 1, 2, and 3 increased in all months, with the exception of June, when river water discharge was maximum. Water temperature in the area of the Agrakhan Peninsula and Chechen Island, also increased. Intensive supply of cooler and more salty Middle Caspian waters occurs only into the central and eastern parts of the Northern Caspian Sea.

In the entire water area of the Middle and Southern Caspian Sea, vertical stratification of waters intensified owing to freshening of the surface layer and salinization of the lower ones (Fig. 2, profile M). This phenomenon was caused by redistribution of Volga River water discharge through its arms and by intensification of the western arm of the Volga River. The influence of river water discharge on salinity on the western shelf of the Middle Caspian Sea abruptly increased. The seasonal salinity variation pattern also changed along the profile 6 (Fig. 4).

Due to convective mixing, seasonal freshening began to reach layers deeper than 50 m. In the intermediate layer and in the near-bottom horizons, salinity increased by 0.5–1.1‰, while vice versa, in the layer above 50 m depth, it decreased by 0.2–0.3‰ (maximum change by 0.4‰ in June) with respect to the previous period. Near the eastern shelf, a slight increase in salinity is observed; therefore, the background salinity along profiles 4 and 6 remained higher compared to the 1950s. As shown by the calculations in [2], the mean salinity values along profile 4 were 11.9‰ in 1951–1965 and 12.4‰ in 1974–1980. Along profile 6, they were 12.8 and 12.9‰, respectively. In the 10–30 m layer, the mean salinity also increased.

The seasonal pattern of water temperature variations calculated for squares in the central parts of profiles over periods (Fig. 5) shows that the temperature increased by up to 1°C in summer within the near-surface layer in the 1970s. As seen in the profiles (Fig. 3), the vertical temperature distribution in the Middle and Southern Caspian demonstrated no significant qualitative and quantitative changes after the 1930s.

#### 1984–1991

The main volume of freshwater discharge from the Volga River reached the Northern Caspian Sea through the western arm. A characteristic feature of interannual variations in freshwater discharge for the eastern part of the Northern Caspian is an abrupt decrease in salinity at all horizons after 1982 in April, June, and October, and an increase in the difference



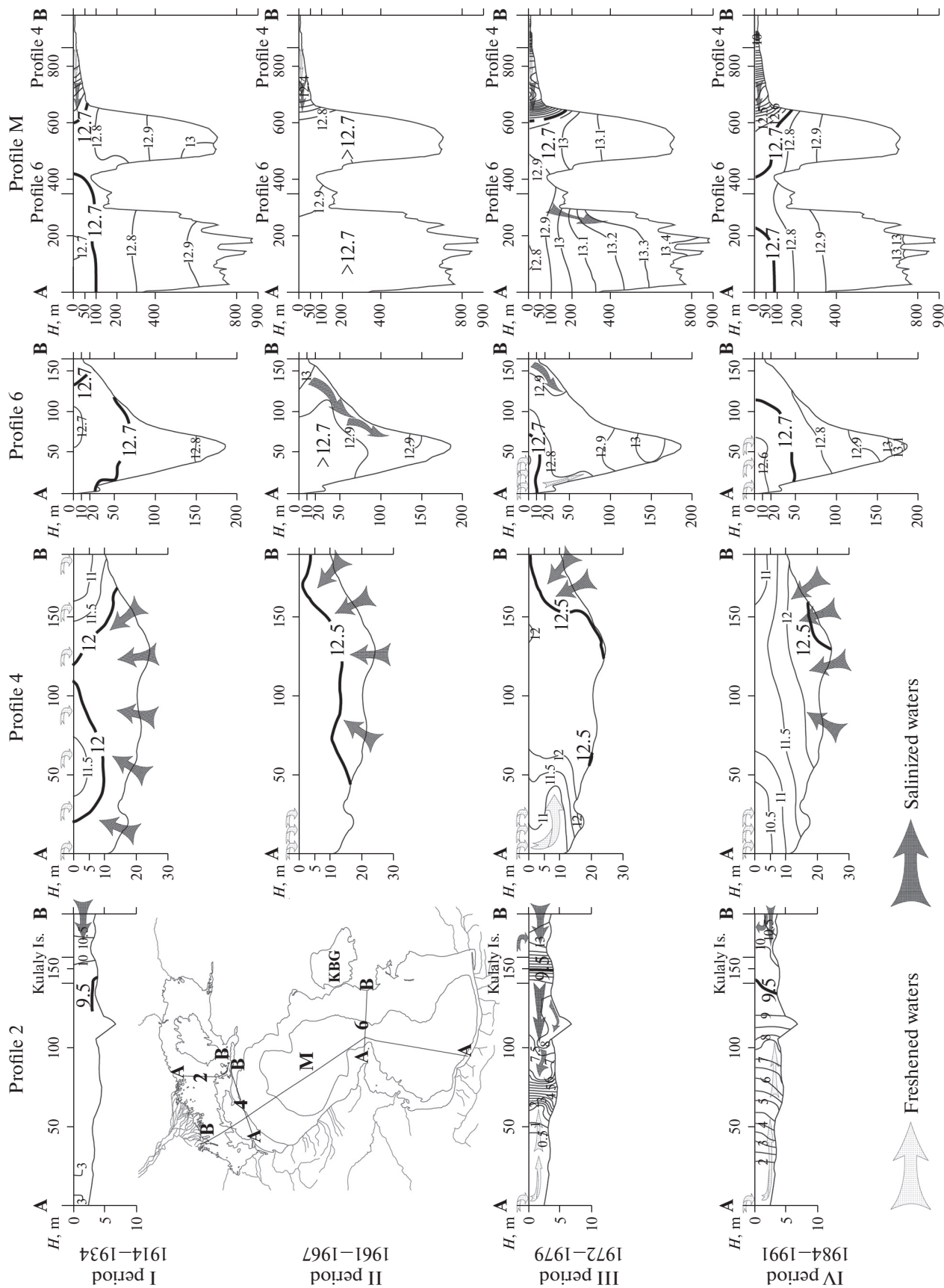


Fig. 2. Vertical distribution of salinity (‰) in Caspian Sea for characteristic periods (August).

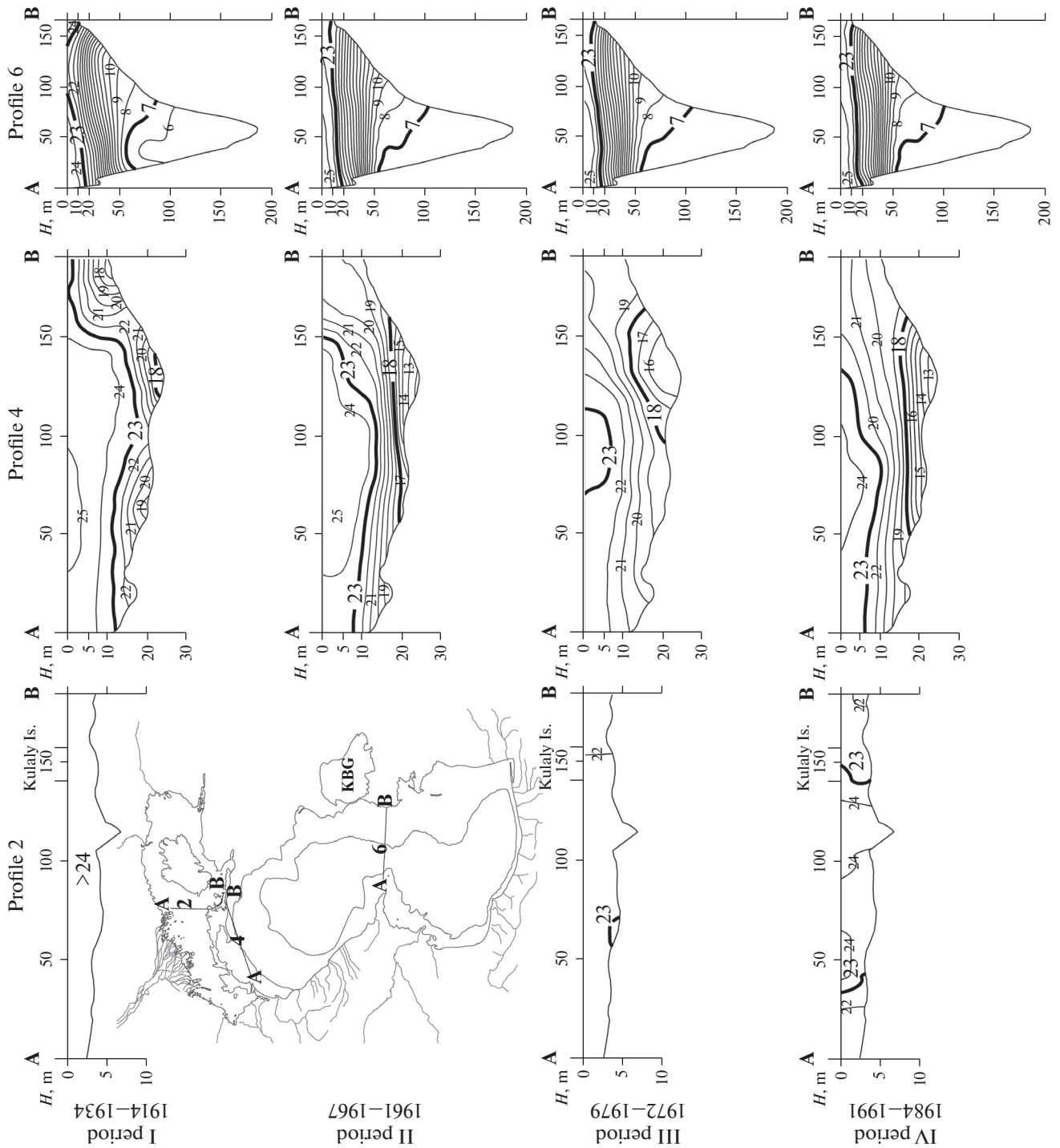


Fig. 3. Vertical distribution of water temperature (°C) in Caspian Sea for characteristic periods (August).

between surface and near-bottom horizons. A similar dynamics is observed in August at the nearshore area of the Ural River; however, no trend (either positive or negative) is seen within the limits of the Ural Furrow (>5 m depth). Only in 1991 did salinity slightly decrease in the entire water column.

In the western part of the Northern Caspian, fresh water propagated in the near-surface sea layer rather

than in the usual manner along the coast. South of the continental slope, water all along profile 4 is stratified year round (Fig. 2). The same phenomenon was noted earlier [25] only in summer months in the southwestern part of the Northern Caspian. Such a change in vertical stratification and expansion of the surface freshening zone at the boundary between the Northern and Middle Caspian could have been caused by the

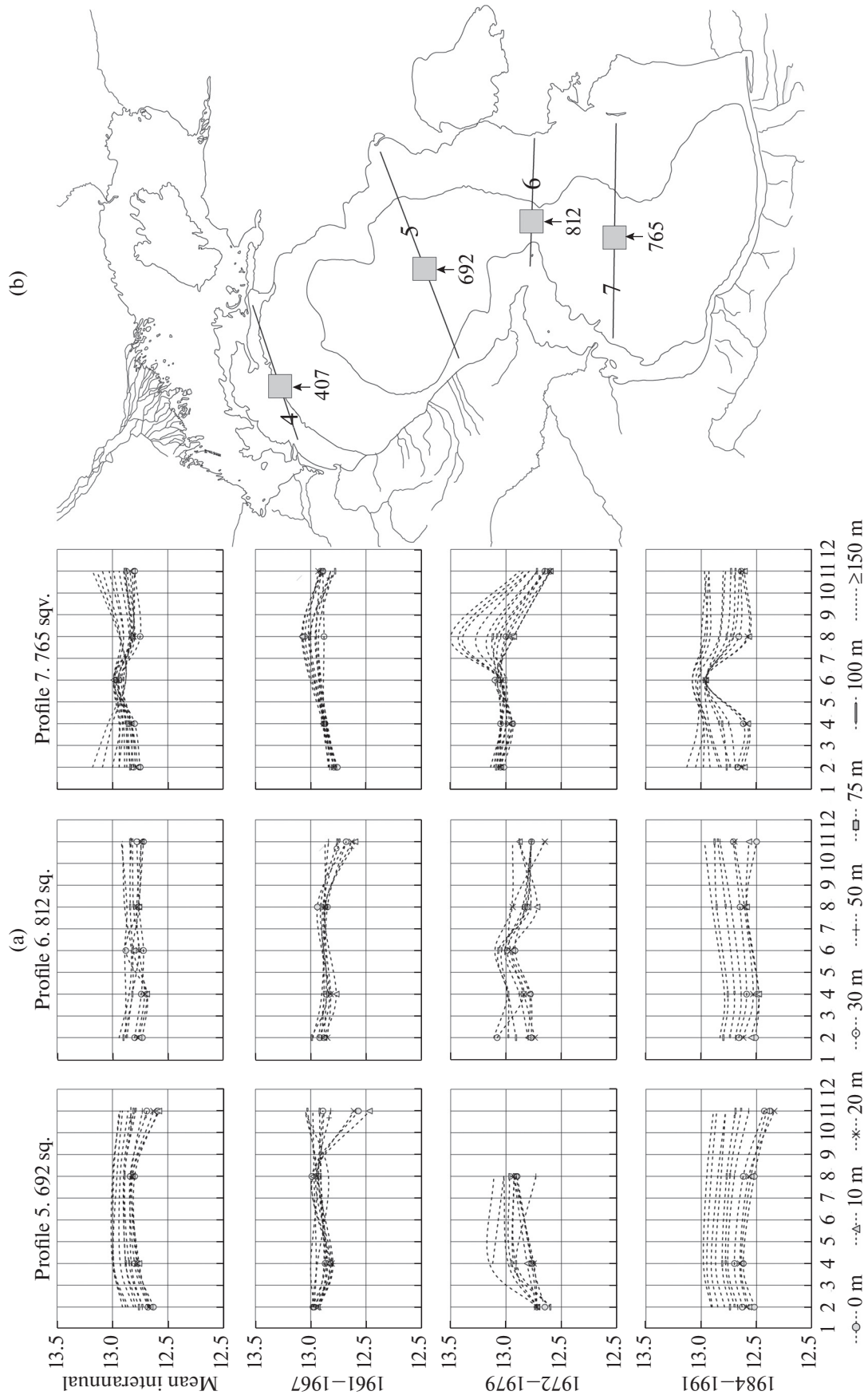


Fig. 4. Mean interannual seasonal distribution of salinity (‰) in central squares along profiles: mean interannual norm and values for selected periods: (a) salinity distribution, (b) locations of squares.

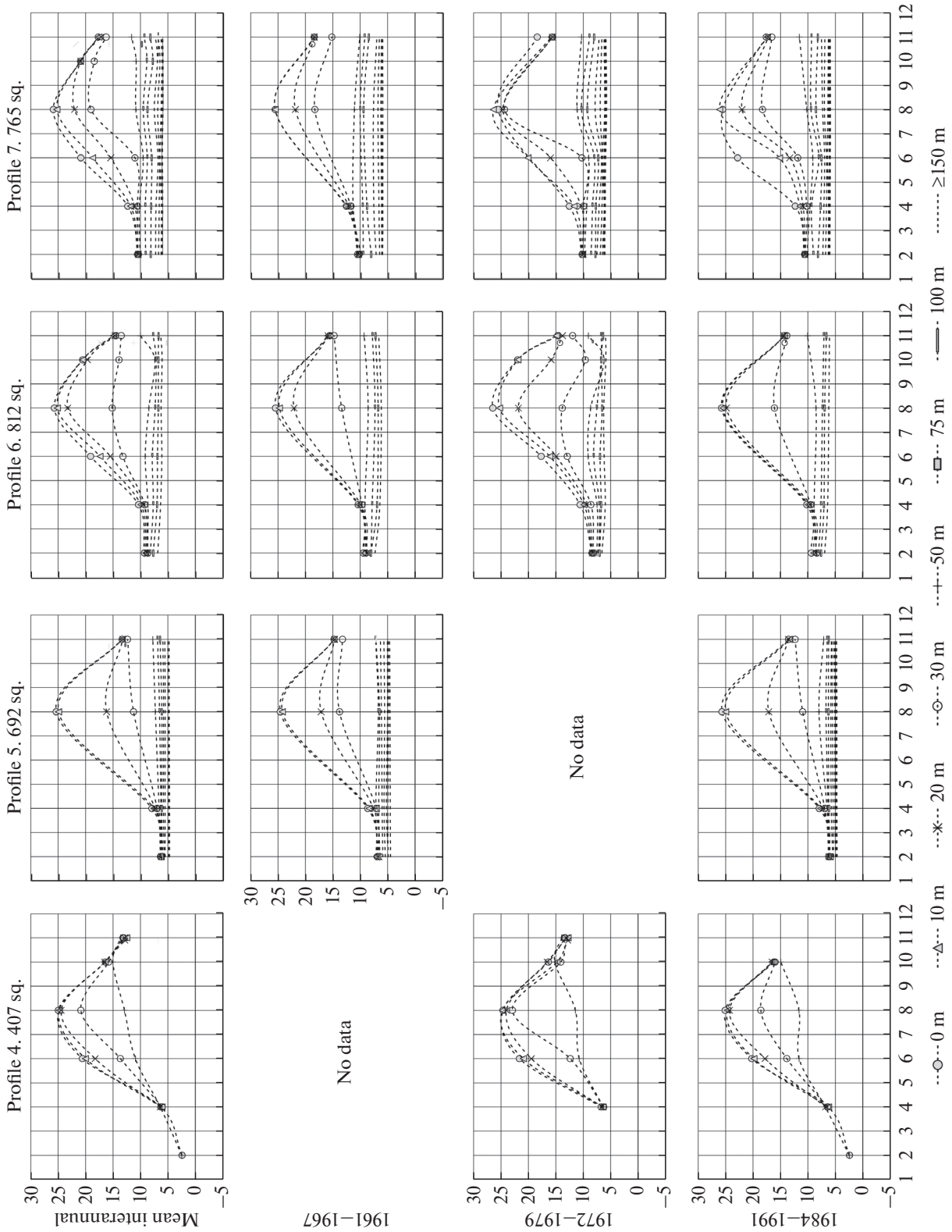


Fig. 5. Seasonal distribution of water temperature (°C) in central squares along profiles: mean interannual norm and values for selected periods. For locations of squares, see Fig. 4b.

changed wind direction and increase in wind speed, as well as by a larger volume of river water discharge. These factors together could lead to freshening of the near-surface layer in the Northern Caspian and intensification of the near-bottom compensatory current that could be traced from the evolution of the vertical temperature and salinity fields. Inflow of Middle Caspian waters takes place in the near-bottom part of profile 4, running farther into the eastern part, along Kulaly Island. Water temperature increases but does not reach 1914–1934 values.

A sea level rise in 1984–1991 caused freshening of Caspian Sea waters [23]. Vertical stratification of waters in the areas of the Apsheron and Mangyshlak peninsulas intensified. Salinity in the Middle and Southern Caspian basins decreased and did not exceed 12.8‰ (Fig. 2, profile M). The difference between the eastern and western coasts became smaller. Formation of saline waters and their subsequent flow down the slope of the eastern coast are not observed. At the boundary with the Southern Caspian Sea, water masses with salinity up to 12.7‰ formed at depths down to 50 m (Fig. 2, profile M); this phenomenon was reported earlier only at the beginning of the 20th century [17].

It should be noted that significant changes in temperature of Caspian Sea waters were characteristic only of the northern part and were most likely related to redirection of flows in the 1970s (Fig. 3). Only in the Southern Caspian Sea does temperature in the layers below 300 m significantly increase by 0.3–0.5°C in 1978–2000. It is also possible to see warming of layers below 100 m in the area of the Apsheron sill by 1.0°C. These results agree with those obtained earlier in [26].

## CONCLUSIONS

Analysis of vertical profiles has allowed us to reveal some important regularities in the salinity and temperature variability of Caspian Sea waters.

In 1914–1934, stable salinity stratification was reported [17]. Waters from the Middle Caspian flowed to North Caspian all along profile 4. Later, in the 1960s, on the background of a drop in sea level by 2 m, a homohaline structure of the water column had formed. In 1972–1979, vertical inhomogeneity of water masses intensified. Notably, the mean annual salinity values, calculated based on information from the database for centennial profiles in the 0–100 m layer, demonstrate a gradual decrease at a rate 0.02–0.06‰ per year on average, despite the continuing drop in sea level and relatively small water discharge. In 1980, an abrupt surge of salinity occurred again (by 0.3‰ per year in profile 6), then it dropped again at rates faster than in the previous period; the cause was an increase in water discharge combined with sea level rise by almost 1.5 m. In the recent period (2000–2010), in the northwestern part of the sea, salinity decreased by 2.1‰ compared to the period of the low-

est sea level [2] and a clear stable vertical stratification was noted. Thus, after more than 30 years of increase and change in the type of *TS* stratification of waters, the salinity regime was almost completely restored to its initial state (beginning of the 20th century).

For the shallow Northern Caspian Sea basin, inter-annual variations in sea level and, therefore, changes in morphometric conditions are some of the key factors forming the temperature and salinity fields. Intensity of water exchange between the eastern and western parts of the sea over the Kulaly sill, as well as the scheme of water flows itself, depends on them. Significant changes in the hydrological regime of the deep-water Middle and Southern Caspian are primarily caused by the complex effect of climatic and anthropogenic factors in the catchment area. The submeridional orientation of the sea also contributes to a certain degree; sea level oscillations, only in part. This can be seen from the fact that after the abrupt drop in sea level in 1929 and until the late 1940s, the published study results mentioned no anomalies in the salinity regime.

A change in the salinity regime in the Middle and Southern Caspian, accompanied by intensified vertical stratification, freshening of the surface horizon, and salinization of the deeper layers in the 1970s, as well as the mechanism itself that caused these transformations, were not characteristic of the Northern Caspian. In the 1970s, a drop in sea level in the Northern Caspian Sea was accompanied by salinization, which was especially noticeable in the eastern part. This was related to redistribution of discharged river and Middle Caspian waters, as supported by the order of observed changes.

## ACKNOWLEDGMENTS

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 16-35-60046 mol\_a\_dk) and by joint project no. 17-05-41190 RGO\_a of the Russian Foundation for Basic Research and Russian Geographic Society.

## REFERENCES

1. G. G. Matishov, et al., *Atlas of Climatic Changes in the Large Marine Ecosystems of Northern Hemisphere (1878–2013). Region 1. East Arctic Seas. Region 2. Black, Azov, and Caspian Seas* (Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 2014) [in Russian].
2. S. V. Berdnikov, N. A. Yaitskaya, and I. V. Smolyar, “Change of hydrological regime of the Northern Caspian during water level fluctuations in 20th century: model analysis” in *Modern Status and Monitoring of Arid and Semiarid Ecosystems of the Southern Russia* (Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 2010), pp. 29–43.
3. *Biological Productivity of the Caspian Sea*, Ed. by T. V. Astakhov, (Nauka, Moscow, 1974) [in Russian].

4. M. V. Bolgov, G. F. Krasnozhen, and A. A. Lyubushin, *Extreme Hydrological Events in the Caspian Sea* (Nauka, Moscow, 2007) [in Russian].
5. A. L. Bondarenko, *Currents in the Caspian Sea and Salinity Formation in the Northern Caspian* (Nauka, Moscow, 1993) [in Russian].
6. V. S. Bruevich, *Hydrochemistry of the Central and Southern Caspian*, Tr. Kompl. Izuch. Kasp. Morya no. 4 (Academy of Sciences of USSR, Moscow, 1937) [in Russian].
7. S. I. Varushchenko, A. N. Varushchenko, and R. K. Klige, Regime Dynamics of the Caspian Sea and Closed Reservoirs in Paleotime (Nauka, Moscow, 1987) [in Russian].
8. G. V. Voropaev, G. Kh. Ismayilov, and V. M. Fedorov, *Management of Water Resources of Aral-Caspian Region* (Nauka, Moscow, 2003) [in Russian].
9. *Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas*, Vol. 4: *The Caspian Sea*, No. 1: *Hydrometeorological Conditions*, Ed. by F. S. Terziev, (Gidrometeoizdat, St. Petersburg, 1992) [in Russian].
10. *Hydrometeorology and Hydrochemistry of the Seas*, Vol. 4: *The Caspian Sea*, No. 2: *Hydrochemical Conditions and Oceanological Basis for Development of Biological Productivity*, Ed. by F. S. Terziev, (Gidrometeoizdat, St. Petersburg, 1996) [in Russian].
11. *Hydrological Handbook of the Soviet Seas*, Vol. 2, No. 1-4: *The Caspian Sea*, Ed. by N. M. Knipovich (Joint Centre of the Academy of Sciences and the Main Directorate of Hydrometeorological Service, Leningrad, 1935) [in Russian].
12. *The Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry*, Ed. by A. D. Dobrovolskii (Moscow State Univ., Moscow, 1969) [in Russian].
13. *The Caspian Sea: Hydrology and Hydrochemistry*, Ed. by S. S. Baidin and A. N. Kosarev (Nauka, Moscow, 1986) [in Russian].
14. D. N. Katunin and A. N. Kosarev, "Salinity and biogenic substances in the Northern Caspian," *Vodn. Resur.*, No. 1, 77–88 (1981).
15. D. N. Katunin and I. A. Khripunov, *Long-Term Distribution of Temperature, Salinity, and Transparency of Water in the Northern Caspian* (Pishchevaya Prom-st, Moscow, 1976) [in Russian].
16. *Climatic and Hydrological Atlas of the Caspian Sea*, Ed. by V. S. Samoilenko (Gidrometeoizdat, Moscow, 1955) [in Russian].
17. N. M. Knipovich, *Transactions of the Caspian Expedition in 1914–1915*, Vol. 1: *Hydrological Studies in the Caspian Sea in 1914–1915* (Gos. Izd., Petrograd, 1921) [in Russian].
18. A. N. Kosarev, *Hydrology of the Caspian and Aral Seas* (Moscow State Univ., Moscow, 1975) [in Russian].
19. S. N. Kritskii, D. V. Korenistov, and D. Ya. Ratkovich, *Water Level Fluctuations of the Caspian Sea* (Nauka, Moscow, 1975) [in Russian].
20. S. A. Lebedev and A. G. Kostyanoi, "Satellite altimetry of the Caspian Sea," *Vestn. Kasp.*, No. 3, 82–101 (2004).
21. V. A. Lednev, *Currents of the Northern and Central Caspian* (Morskoi Transport, Moscow, 1943) [in Russian].
22. G. G. Matishov, D. V. Moiseev, S. V. Berdnikov, et al., "Joint Murmansk Marine Biological Institute, Southern Science Center, and NODC/NOAA Ocean Climate Laboratory (United States) approach to organization of oceanographic and hydrobiological databases of the Arctic and southern seas of Russia," *Tr. Kol'sk. Nauch. Tsentra, Ross. Akad. Nauk, Okeanol.* No. 1, 135–152 (2013).
23. G. G. Matishov, N. A. Yaitskaya, and S. V. Berdnikov, "Peculiarities of the centennial salinity regime of the Caspian Sea," *Dokl. Earth Sci.* **444**, 747–751 (2012).
24. G. N. Panin, R. M. Mamedov, and I. V. Mitrofanov, *Modern Status of the Caspian Sea* (Nauka, Moscow, 2005) [in Russian].
25. A. S. Pakhomova and B. M. Zatuchnaya, *Hydrochemistry of the Caspian Sea* (Gidrometeoizdat, Leningrad, 1966) [in Russian].
26. V. S. Tuzhilkin, Doctoral Dissertation in Geography (Moscow, 2008).
27. A. V. Frolov, *Modeling of Prolonged Fluctuations of the Caspian Sea Level: Theory and Applications* (GEOS, Moscow, 2003) [in Russian].
28. Yu. A. Khvatskaya, "Modern water salinity in the Caspian Sea," *Vodn. Resur.*, No. 4, 183–191 (1980).
29. N. A. Yaitskaya, "Development of database of primary oceanographic information about the Caspian Sea," in *The V Annual Scientific Conference of Undergraduate and Postgraduate Students of the General Chairs of Southern Science Center of Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, April 8–27, 2009, Abstracts of Papers* (Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, 2009), pp. 59–60.
30. N. A. Yaitskaya, Candidate's Dissertation in Geography (Murmansk, 2012).
31. *Climatic Atlas of the Barents Sea 1998: Temperature, Salinity, Oxygen*, NOAA Atlas NESDIS vol. 36, Ed. by G. Matishov, (US Government Printing Office, Washington, DC, 1998).
32. *Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004*, Part 1: *Database of the Barents, Kara, Laptev, and White Seas—Oceanography and Marine Biology*, Ed. by G. Matishov, et al. (National Oceanographic Data Center/NOAA, Silver Spring, MD, 2004).
33. *Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006*, NOAA Atlas NESDIS vol. 58, Ed. by G. Matishov, (US Government Printing Office, Washington, DC, 2006).
34. *Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008*, NOAA Atlas NESDIS vol. 65, Ed. by G. Matishov, (US Government Printing Office, Washington, DC, 2008).
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)*, NOAA Atlas NESDIS vol. 78, Ed. by G. G. Matishov, (US Government Printing Office, Washington, DC, 2014).

Translated by N. Astafiev

also developed by scimago:



SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS

SJR

Scimago Journal & Country Rank

Enter Journal Title, ISSN or Publisher Name

Home

Journal Rankings

Country Rankings

Viz Tools

Help

About Us

# Oceanology

# 21

H Index

Country

[Russian Federation](#) - [SJR Ranking of Russian Federation](#)

Subject Area and Category

[Earth and Planetary Sciences](#)  
[Oceanography](#)

Publisher

[Maik Nauka/Interperiodica Publishing](#)

Publication type

Journals

ISSN

00014370

Coverage

1972-1973, 1976-1980, 1982-1984, 1986-1990, 1992, 1996-ongoing

Scope

Oceanology, founded in 1961, is the leading journal in all areas of the marine sciences. It publishes original papers in all fields of theoretical and experimental research in physical, chemical, biological, geological, and technical oceanology. The journal also offers reviews and information about conferences, symposia, cruises, and other events of interest to the oceanographic community.



[Homepage](#)

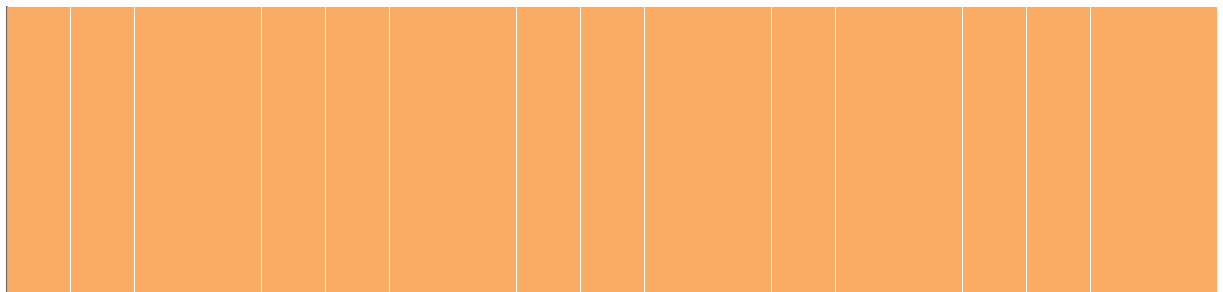


[Join the conversation about this journal](#)

Quartiles



Oceanography



1999 2001 2003 2005 2007 2009 2011 2013 2015 2017

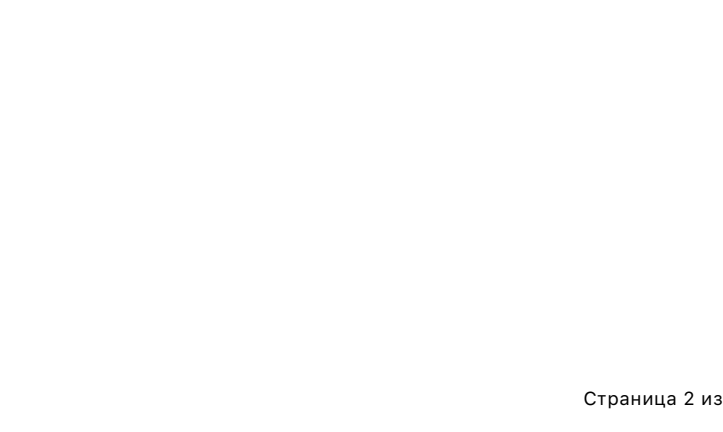
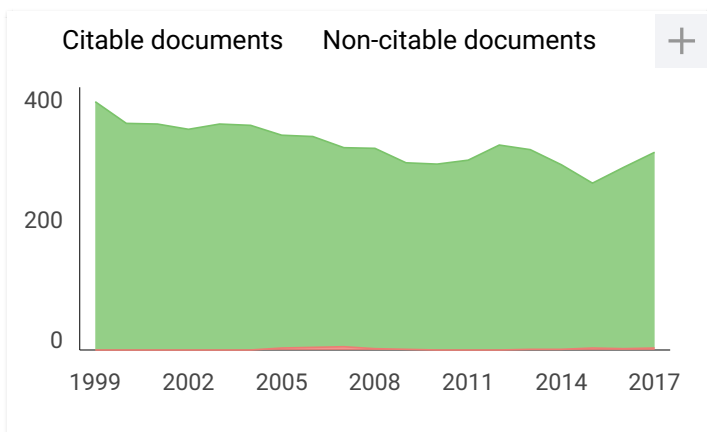
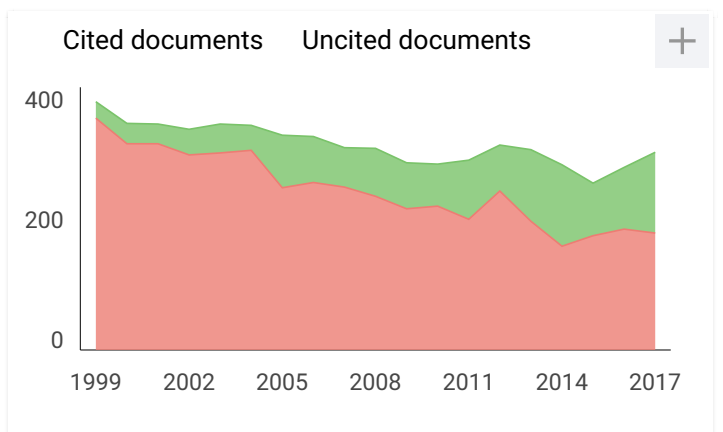
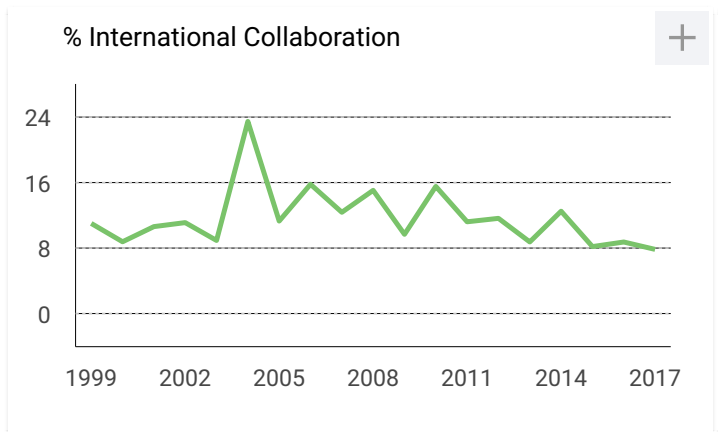
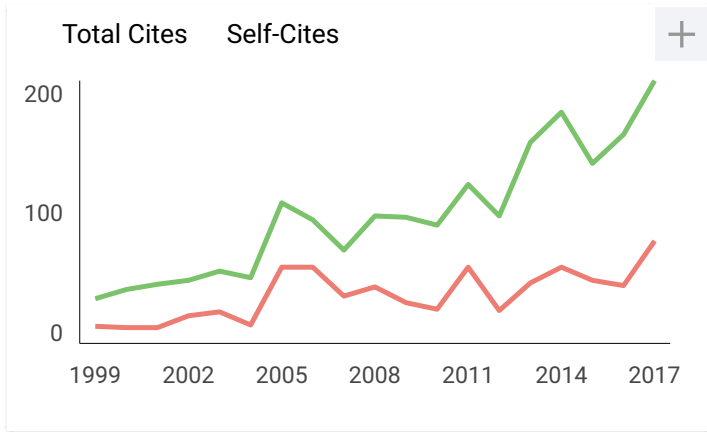
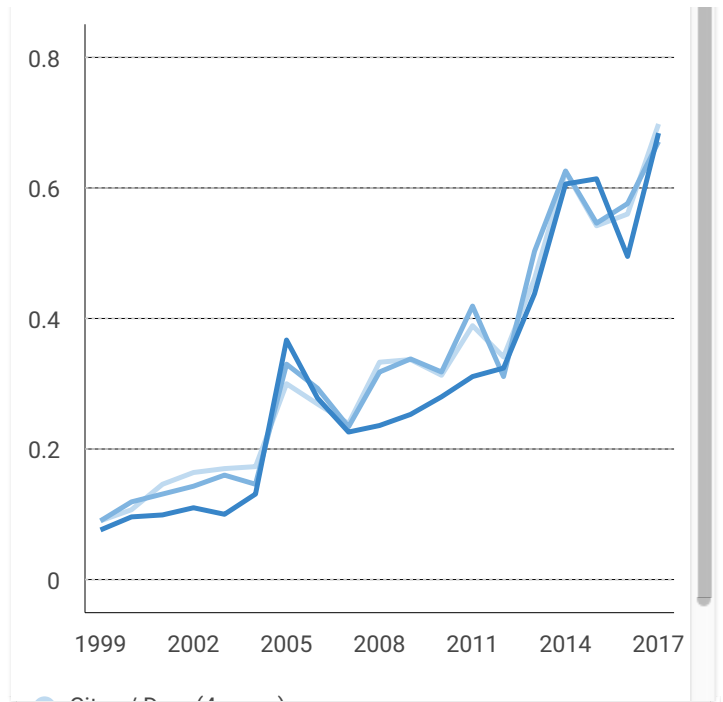
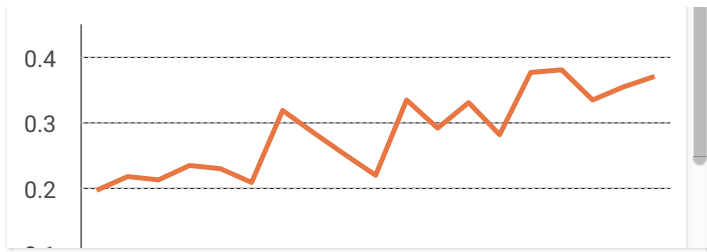
SJR



Citations per document







Show this widget in your own website

Just copy the code below and paste within your html code:

```
<a href="https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=28420&tip=sid&clean=0
```



### Leave a comment

Name

Email

(will not be published)

Я не робот

reCAPTCHA  
Конфиденциальность - Условия использования

Submit

The users of Scimago Journal & Country Rank have the possibility to dialogue through comments linked to a specific journal. The purpose is to have a forum in which general doubts about the processes of publication in the journal, experiences and other issues derived from the publication of papers are resolved. For topics on particular articles, maintain the dialogue through the usual channels with your editor.

Developed by:



Powered by:



Follow us on @ScimagoJR

Scimago Lab, Copyright 2007-2018. Data Source: Scopus®

EST MODUS IN REBUS  
Horatio (Satire 1,1,106)

---