

А. К. БОГДАНОВА

**ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА
СРЕДИЗЕМНОГО МОРЯ****В ЗИМЫ 1960/61 И 1961/62 гг.****(ПО НАБЛЮДЕНИЯМ Э/С****«АКАДЕМИК КОВАЛЕВСКИЙ»)**

Основные черты гидрологического режима Средиземного моря определяются, с одной стороны, его географическим положением, с другой, — значительной изолированностью от океана. Это типичное внутреннее море с незначительным водообменом с соседними морями и океанами. С Атлантическим океаном оно связано узким (примерно 14 км) и мелководным (320 м) Гибралтарским проливом, с Черным морем — проливом Дарданеллы через Мраморное море и узкий мелководный Босфорский пролив, с Красным морем — через Суэцкий канал.

Решающую роль в формировании своеобразного гидрологического режима Средиземного моря играет Гибралтарский пролив. В силу его мелководности глубинные океанические воды с довольно низкой температурой в Средиземное море не проникают. Температура его глубинной воды определяется зимними термическими условиями в поверхностных слоях моря. Поэтому температура воды в толще Средиземного моря начиная с глубины 200—300 м и до дна значительно выше, чем на тех же глубинах в Атлантическом океане. Географическое положение Средиземного моря определяет постоянное превышение испарения с поверхности моря над осадками и речным стоком, вследствие чего в нем непрерывно поддерживается более низкий уровень и более высокая соленость вод по сравнению с Атлантическим океаном и Черным морем. Только в Красном море соленость и температура воды более высоки — 40,52—40,61‰ и 21,74—21°,64 соответственно. Разность уровней вызывает постоянный приток менее соленых атлантических и черноморских вод в поверхностные горизонты Средиземного моря. И, наоборот, разность плотностей (средиземноморские воды более соленые и плотные) определяет постоянный отток средиземноморских вод нижнегибралтарским и нижнебосфорским течениями в Атлантический океан и Черное море. Водообмен с Красным морем из-за мелководности и узости канала на гидрологию Средиземного моря заметного влияния не оказывает.

Наличие кислорода во всей толще вод Средиземного моря и даже некоторое его увеличение на больших глубинах (глубже 2000 м) указывает на довольно интенсивную и глубокую аэрацию вод, что отмечено многими авторами. Уже ранние исследования (Hann, 1906; Nathan-

sohn, 1910; Nielsen, 1912; Schott, 1915) показали, что в феврале—марте на поверхности наиболее северных районов Средиземного моря (Лионский залив и Лигурийское море, центральная и южная часть Адриатики, возможно юго-восточная часть Эгейского моря) вследствие большой отдачи тепла формируются относительно холодные ($12,0-12,1$) и следовательно более тяжелые ($29,1-29,2$ усл. ед. пл.) водные массы. В результате вертикальной конвекции и перемешивания эти холодные и тяжелые воды опускаются на большую глубину. Вюст (Wust, 1961) в своей работе подтверждает это заключение и несколько уточняет механизм формирования глубинных вод в западной половине Средиземного моря. Глубинные воды формируются зимой в наиболее северных районах западной половины Средиземного моря путем конвекционных и адвентивных процессов, сопровождаемых смешением охлажденных поверхностных вод северных районов с промежуточной левантийской водой. Черния и Сен-Гили (Tchernia and Saint-Guily, 1959) предполагают, что смешение происходит в пропорции 1:4 (одна часть левантийской воды — с четырьмя частями охлажденной поверхностной воды). Формирование и смешение происходит вследствие интенсивного зимнего испарения и радиационного выхолаживания поверхностных вод. Вторжение с севера холодных и сухих континентальных полярных воздушных масс усиливает эти процессы.

Поллак (Pollak, 1951) в противоположность высказываниям Нильсена (1912) и др. считает, что в образовании глубинной воды восточной половины Средиземного моря воды Эгейского моря участия не принимают. Единственным районом формирования глубинных вод является Адриатика. Механизм этого процесса по Поллаку следующий: значительное охлаждение поверхностных вод в южной Адриатике сопровождается конвекцией и смешением их с более соленой и теплой водой из верхних слоев Ионического моря. Смешанные, более плотные воды погружаются до глубины 800 м и «спорадически» вытекают через пролив Отранто в Ионическое море. Здесь они движутся против часовой стрелки, продолжая заглубляться. Этот вывод подтверждается разрезами распределения кислорода в проливе Отранто, по данным э/с «Наяда» в феврале 1912 г., и картами глубинного максимума растворенного кислорода в восточной половине Средиземного моря, по данным э/с «Атлантис». Вторичный максимум кислорода находится на глубине 2500 м по всей акватории морей Ионического и Леванта. Вюст (1961) согласен с Поллаком в отношении направления глубинной циркуляции, но предполагает, что в отдельные моменты возможны слабые потоки соленой воды из Эгейского моря в бассейн Леванта.

Изменение гидрологического режима Средиземного моря от года к году тесно связано с интенсивностью атмосферной циркуляции. В зависимости от того, усиливается ли циклоническая или антициклоническая деятельность, наблюдается ли широтный или меридиональный перенос воздушных масс, меняется температурный режим, количество осадков и соотношение между суммой осадков и речного стока и величиной испарения с поверхности моря. Изменение соотношения между поступлением пресных вод и испарением приводит к изменению водообмена через проливы Гибралтар и Босфор. В работе Черния и Сен-Гили (1959) указывается на существенное влияние метеорологических условий на гидрологический режим Средиземного моря. Так, формирование глубинных вод в западном бассейне Средиземного мо-

ря Черниа и Сен-Гили связывают с присутствием в зимнее время континентального полярного воздуха над северной частью Алжира-Прованского бассейна. Холодный, относительно сухой воздух вызывает в этом районе моря интенсивное испарение и охлаждение поверхностных вод, сопровождающееся мощным конвекционным перемешиванием. Поскольку в зависимости от интенсивности атмосферной циркуляции меняется частота и мощность вторжений полярного воздуха, то меняется и интенсивность процесса формирования глубинных вод.

Механизм вертикального обмена и особенности формирования глубинных вод Средиземного моря полностью не раскрыты и до настоящего времени. Поскольку зимних наблюдений в Средиземном море очень мало, а интенсивное конвекционное перемешивание и формирование глубинных вод происходит зимой, то наблюдения, выполненные советскими экспедициями в зимы 1960—1961 и 1961—1962 гг. на э/с «Академик Ковалевский», «Академик Вавилов», «Гонец» и др., представляют значительный интерес.

Основная задача экспедиций Севастопольской биологической станции состояла в изучении биологических процессов в зимние месяцы в разных районах Средиземного моря. Гидрологические работы являлись вспомогательными, поскольку знание гидрологических условий необходимо при анализе биологических процессов.

В 1960—1961 гг. исследования проводились в западной половине моря, где сделано 28 гидрологических станций, из них три суточных с наблюдениями в дрейфе через три часа. Погода во время рейса была весьма неблагоприятная для выполнения гидрологических работ. В течение всего рейса преобладали штормовые ветры. Из 87 суток плавания в эту зиму 36 дней было со штормовым ветром 11—20 м/сек и волнением 4—7 баллов, 25 дней — с ветром 8—11 м/сек и состоянием моря 3—4 балла и только в течение 20 суток была погода благоприятная для выполнения гидрологических работ. Особенности атмосферной циркуляции и характер погоды в западной половине моря зимой 1960—1961 гг. изложены Ю. С. Георгиевым в этом же сборнике.

В восточной половине Средиземного моря работы проводились в основном в феврале 1962 г. Сделано 26 гидрологических станций, из них две суточные с наблюдением через 6 часов. Погода в течение всего месяца также была штормовая. При работах в юго-восточном районе моря наблюдались сильные юго-западные ветры до штормовых, вследствие чего работы были прекращены. Из-за штормовой погоды мы не могли строго придерживаться намеченной сетки станций. Приходилось пользоваться отдельными небольшими промежутками относительно удовлетворительной погоды (рис. 1).

В настоящей статье приведена предварительная характеристика гидрологических условий на Средиземном море в зимы 1960—1961 и 1961—1962 гг. Обе зимы, как и зимы периода максимальной солнечной активности (1957—1958 и 1958—1959 гг.), были аномально теплые. Синоптические процессы характеризовались преобладанием широтной циркуляции с переносом теплых и влажных воздушных масс с Атлантики в глубь континента Европы, что и обусловило относительно теплую погоду над Средиземным морем. Как температура воздуха, так и температура воды в поверхностных слоях моря в декабре—январе 1960—1961 и 1961—1962 гг. была выше средней. В эти месяцы холодный и сухой континентальный полярный воздух ни разу не проник в район Средиземного моря. Последнему фактору, как уже отме-

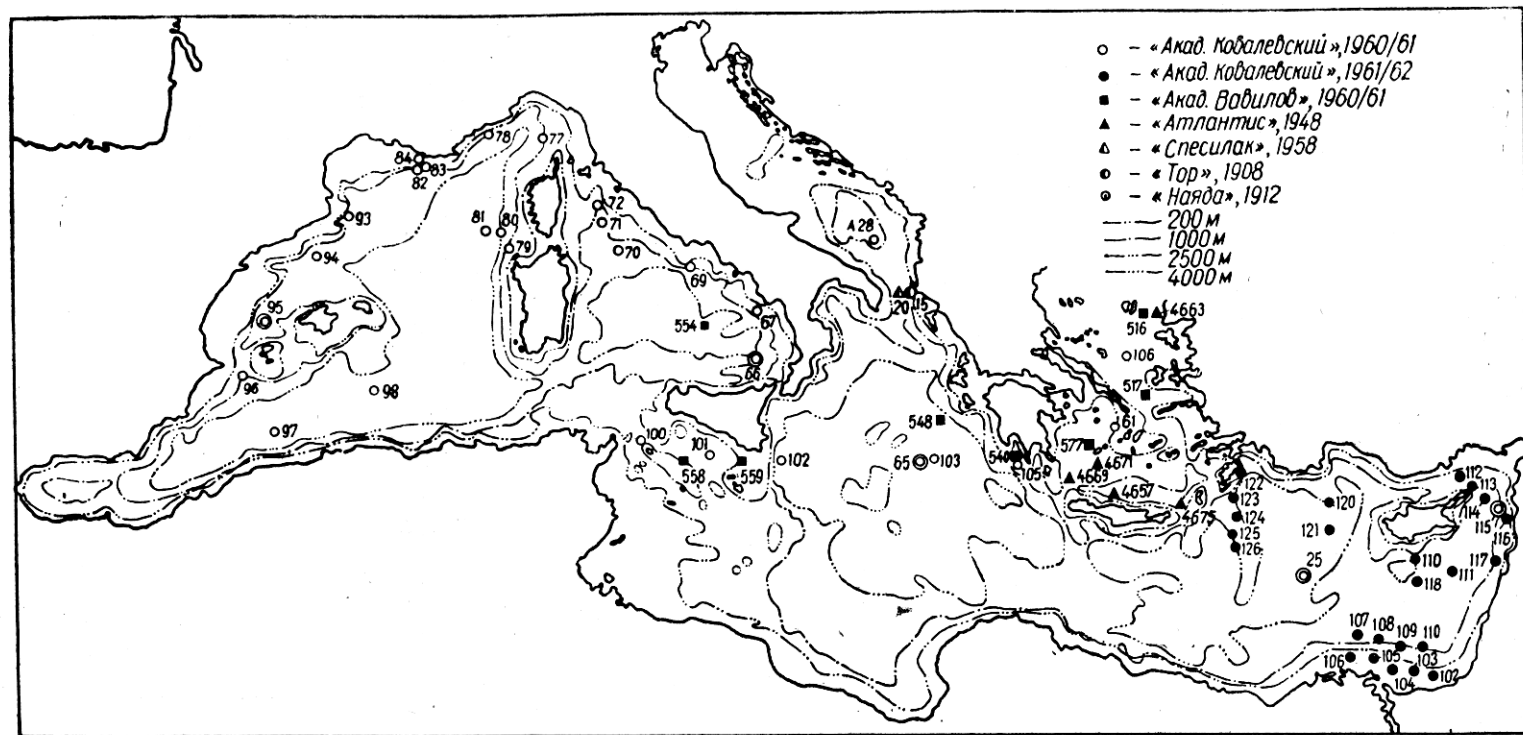


Рис. 1. Схема гидрологических станций, выполненных э/с «Акад. Ковалевский» зимой 1960/61 и 1961/62 гг.

чалось, отводится важная роль в формировании глубинных вод Средиземного моря (Черниа и Сен-Гили, 1959; Вюст, 1961).

Наблюдения на э/с «Академик Ковалевский» показали, что в эти зимы по всему Средиземному морю конвекционное перемешивание ограничивалось небольшой глубиной — от 50 до 100—150 м. В течение всего времени наблюдений отмечалась значительная пересоленность водных масс по температуре и солёности. Даже в самое холодное время года не было полного выравнивания этих элементов по вертикали, т. е. адвекция водных масс с различной температурой и солёностью была интенсивнее, чем вертикальное конвекционное перемешивание.

Поскольку наблюдения были значительно растянуты по времени, то характеристика гидрологических условий дается по отдельным морям и районам Средиземноморского бассейна.

ЭГЕЙСКОЕ МОРЕ

Эгейское море, как известно, характеризуется чрезвычайной изрезанностью берегов и многочисленностью островов. Это определяет и своеобразие его гидрологического режима. По особенностям рельефа дна и гидрологического режима Эгейское море можно разделить на три бассейна, отделенных друг от друга порогами с довольно сложным рельефом. Северный бассейн — Афос, ограниченный на юге порогом с глубиной 400 м (юго-восточнее о. Лемнос); в центре — бассейн Хиос, ограниченный на юге порогами, расположенными между островов Киклады с максимальной глубиной 200 м; южный бассейн носит название Критское море. Оно представляет собой длинную депрессию, вытянутую с северо-запада на юго-восток и расчлененную на меридиане $24^{\circ}30'$ порогом с глубиной 750 м. На севере Эгейское море сообщается через проливы Босфор и Дарданеллы с Черным морем. На юге оно многими проливами соединяется со Средиземным морем; максимальные глубины проливов Элафонисос и Антикитира — на юго-западе и Касос и Карпатос — на юго-востоке достигают 600—800 м, в Родосском проливе наибольшая глубина 300 м.

Северная часть Эгейского моря находится под большим воздействием черноморских вод, значительно распресненных, а зимой и холодных, южная часть — под влиянием средиземноморских вод. Поэтому вертикальное распределение температуры и солёности в этом море меняется не только по времени, но и в зависимости от расположения станций.

В Эгейском море э/с «Академик Ковалевский» специальных наблюдений не проводило. По пути движения сделано две станции: 2 декабря 1960 г. (ст. 61) в южной части моря и 19 февраля 1961 г. (ст. 106) — в центральной. В этом же году проведены наблюдения на э/с «Академик Вавилов» (три станции сделаны 8—9 ноября и две — 14—15 декабря 1960 г.). Этих наблюдений недостаточно для полной характеристики гидрологического режима моря в зиму 1960—1961 гг. Поэтому ограничимся лишь некоторыми замечаниями о вертикальном распределении температуры, солёности и плотности на данных станциях и сопоставлением их с распределением гидрологических показателей в этих же районах по наблюдениям э/с «Атлантис» зимой 1948 г. По данным Севастопольской обсерватории УГМС, зима 1948 г. также была аномально теплой, что облегчает сопоставление.

На севере Критского моря наблюдения проведены 2 декабря при сильном северо-восточном ветре (11—13 м/сек). Температура воды на поверхности была $19^{\circ},44$, соленость — $38,88\text{‰}$. Слой скачка температуры в начале декабря еще сохранялся, но по величине был небольшой. Вертикальное распределение солености неравномерное, с некоторым понижением на поверхности, на глубине 75 м и у дна и повышением на глубине 90 и 100 м, однако эти изменения солености по величине небольшие — $0,10$ — $0,12\text{‰}$. 15 декабря в северо-восточной части Критского моря (наблюдения на э/с «Академик Вавилов») отмечалось распреснение верхнего 50-метрового слоя ($38,64\text{‰}$), связанное с влиянием черноморских вод. В вертикальном распределении солености сохранялась переслоенность с максимумом $39,07\text{‰}$ на глубине 100 м и промежуточным минимумом на глубине 150—200 м ($38,96\text{‰}$). Температура поверхностного слоя была высокой ($19^{\circ},63$) и несколько увеличивалась с глубиной, достигая максимума $20^{\circ},38$ на глубине 25 м. Глубже 25 м уменьшение температуры совпадало с нарастанием солености. В середине февраля 1961 г. в центральной части Эгейского моря (ст. 106) наблюдения проводились вскоре после сильного северо-северо-восточного ветра (до 16 м/сек). Понижение температуры на поверхности до $16^{\circ},15$ размыло температурный скачок, но оно было недостаточным для полного перемешивания воды от поверхности до дна (520 м). Хорошо перемешанным оказался лишь верхний 100-метровый слой. Наибольшее уменьшение температуры отмечалось в слое 100—150 м с $16^{\circ},04$ до $15^{\circ},35$, минимальная температура $14^{\circ},24$ была на глубине 450 м. Однако по солености вода была однородная от поверхности до дна — $38,78\text{‰}$. Следовательно, для полного перемешивания от поверхности до дна необходимо было бы понижение температуры воды еще на два градуса, что, вероятно, и имеет место в этом районе в нормальные зимы.

Подробные наблюдения в Эгейском море в январе—марте 1948 г. выполнены э/с «Атлантис», сделано 24 станции. Одна из них (4657) расположена в районе ст. 106 и выполнялась примерно в одно и то же время года (27.II 1948 г.). В феврале 1948 г. полного перемешивания на этой станции также не было. Перемешан был лишь верхний слой воды до глубины 90 м, где температура была $15^{\circ},43$ и соленость — $39,07\text{‰}$, на глубине 300 м температура и соленость понизились до $14,05$ и $38,86\text{‰}$ соответственно. На рис. 2 представлены Т—S кривые и вертикальное распределение температуры и солености для северной, центральной и южной частей Эгейского моря по наблюдениям в ноябре 1960 г. (э/с «Академик Вавилов»), в декабре 1960 г. и феврале 1961 г. (э/с «Академик Ковалевский») и в феврале—марте 1948 г. (э/с «Атлантис»).

Как отмечалось, на режим Эгейского моря влияет приток черноморских вод. Значительное распреснение и понижение температуры в поверхностном слое до $10^{\circ},60$ и $33,82\text{‰}$ наблюдали и на э/с «Атлантис» (ст. 4662) в северо-восточном районе моря в феврале—марте 1948 г. По данным Черния и Лакомба (Lacombe et Tchernia, 1958), в июле—августе 1955 г. и октябре 1956 г. черноморские воды прослеживались на севере и западе до о. Эвбея. Изогалина $38,7\text{‰}$ вытягивалась двумя языками по направлению о. Самос и в районе пролива Доро. У западного побережья о. Икария несколько распресненные воды были направлены к югу. Динамическая карта, построенная этими авторами, указывает на циклонический круговорот в центральной части Эгей-

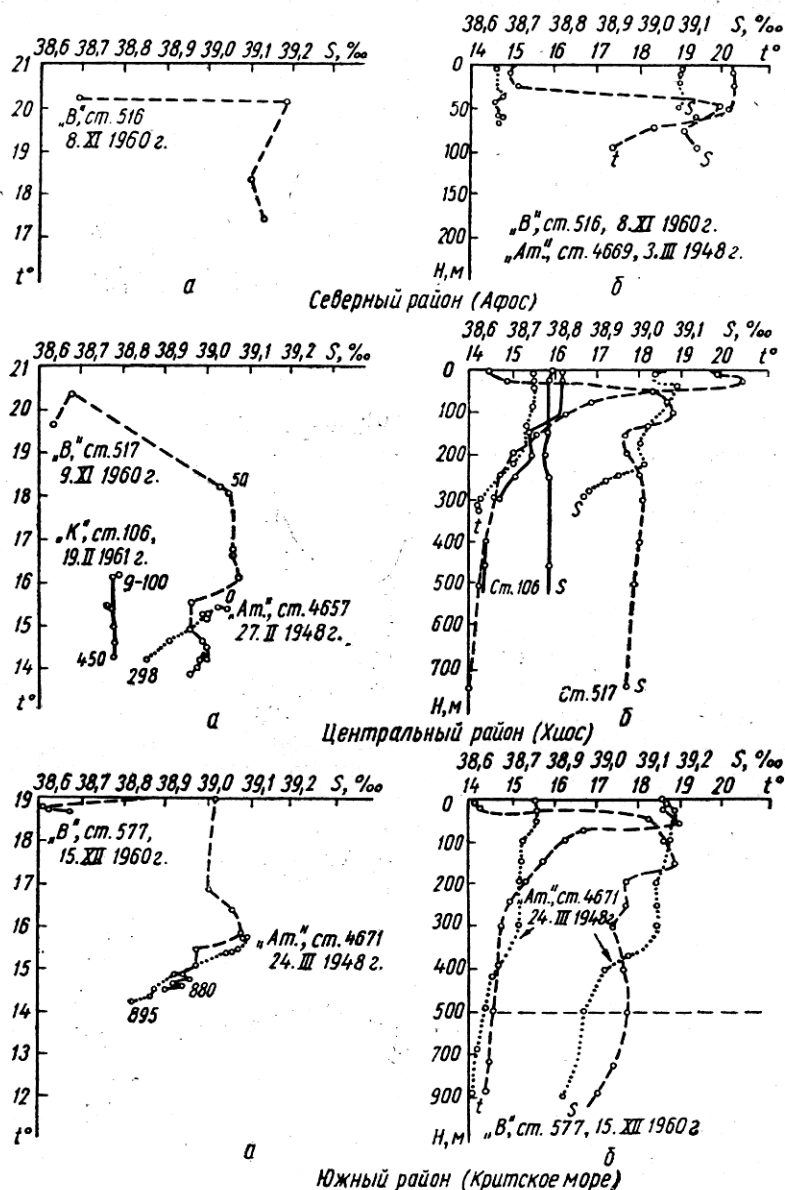


Рис. 2. Т—S кривые (а) и вертикальное распределение температуры и солености (б) для северного, центрального и южного районов Эгейского моря по наблюдениям в ноябре 1960 г. (э/с «Академик Вавилов»), в декабре 1960 г. и в феврале 1961 г. (э/с «Академик Ковалевский») и феврале — марте 1948 г. (э/с «Атлантис»).

ского моря. В Критском море течение с примесью черноморской воды разделялось на две ветви. Одна ветвь шла вдоль юго-восточного побережья о. Эвбея и далее, прижимаясь к берегам Пиренейского полуострова, поворачивала у м. Малей через пролив Элафонисос в Средиземное море. Другая ветвь, пройдя вдоль западного побережья

о. Икария, направлялась на юго-восток к островам Киклады и уходила на юг к проливу Касос. Наличие минимума солености в северном и центральном районах Эгейского моря Черниа и Лакомб (1958) связывают с влиянием черноморских вод, а в Критском море — атлантических.

Подробные исследования режима Эгейского моря в первой половине октября 1959 г., выполненные Азовско-Черноморским научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии на э/с «Гонец», также показали, что черноморские воды прослеживались не только в северо-восточном и северном районах моря (температура была $16^{\circ},70$, соленость — $35,43\text{‰}$), но и в западном и юго-западном районах Эгейского моря, где температура была $20^{\circ},80$, и соленость — $38,24\text{‰}$. На станциях, расположенных несколько восточнее, соленость поверхностных вод составляла $39,13$ — $39,22\text{‰}$.

ИОНИЧЕСКОЕ МОРЕ

Ионическое море располагается в центральной глубоководной части Средиземного моря. Гидрологический режим его формируется под влиянием погодных условий и характера водообмена со смежными районами моря. С западным бассейном Ионическое море соединяется Тунисским проливом (глубина 350 м) и узким Мессинским проливом (глубина 115 м), с Адриатикой — проливом Отранто (максимальная глубина 800 м), с Эгейским — проливами Элафонисос и Антикитира (максимальные глубины 600—800 м). От моря Леванта Ионическое море отделяется лишь возвышением дна, простирающимся к югу от о. Крит (глубина 2000 м).

Режим верхнего слоя Ионического моря связан с поступлением атлантических менее соленых вод и их трансформацией, что в свою очередь зависит от погодных условий. Изменение характеристик промежуточных вод тесно связано со степенью суровости зимы и водообменом с морями Леванта и Критским, где эти воды формируются. Режим глубинных вод относительно более устойчив. Определяется он суровостью зим, т. е. условиями охлаждения и перемешивания в районах формирования глубинных вод (в южной Адриатике и частично в Критском море) и интенсивностью водообмена через проливы Отранто и наиболее глубоководные проливы Критского моря. Поскольку обновление глубинных вод в холодное время года происходит лишь частично, а в годы с аномально теплыми зимами его может и совсем не быть, изменения гидрологических характеристик в толще вод можно обнаружить лишь по истечении какого-то длительного относительно холодного и сухого или теплого и влажного периода.

Зима 1960/61 г., как указывалось, была аномально теплой. В Ионическом море э/с «Академик Ковалевский» сделано четыре станции. В начале (4—5 декабря) проведена полуторасуточная станция в центральной части моря с наблюдением через три часа. Наблюдения проводились в период затишья, вскоре после сильного северо-северо-восточного ветра — 11 — 13 м/сек. Взято 14 батометрических серий с определением температуры и солености и столько же записей температуры верхнего 200-метрового слоя батитермографом. Толщина теплогс ($19^{\circ},14$) поверхностного слоя равнялась 35 — 40 м, с глубиной соленость в нем увеличивалась от $37,96$ до $38,04\text{‰}$ на 25 м. Под этим слоем расположен слой довольно резкого понижения температуры и незначительного уменьшения солености — до $37,84\text{‰}$ на глубине 50 м.

Минимум солёности указывает на нижнюю границу атлантических вод. Глубже наблюдалось резкое увеличение солёности до 38,62‰ и плавное понижение температуры до 15°,80 на глубине 100 м. Слой резкого увеличения солёности является слоем смешения атлантических вод с солёными левантийскими водами. На глубинах 100—250 м отмечалось несколько более быстрое понижение температуры до 14°,80

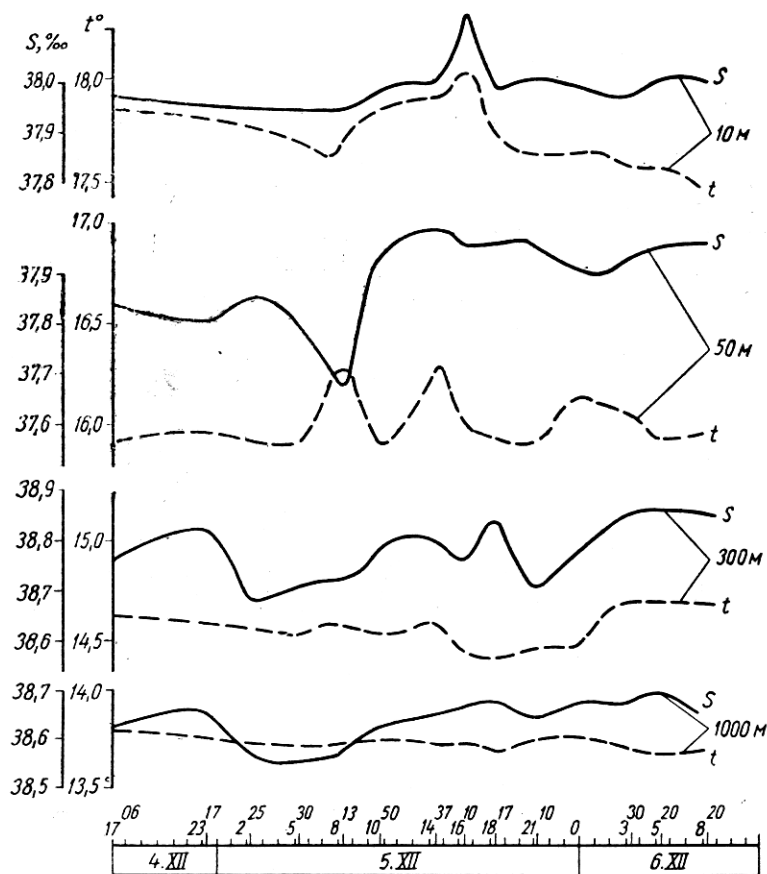


Рис. 3. Суточный ход температуры и солёности в центральной части Ионического моря 4—5 декабря 1960 г. по наблюдениям на э/с «Академик Ковалевский».

и плавное увеличение солёности до максимума 38,80—38,85‰ на глубинах 250—400 м. Глубже промежуточного слоя максимума солёности отмечалось плавное понижение температуры до 13°,66 и уменьшение солёности до 38,64‰ на 1000 м и соответственно — до 13°,65 и 38,55‰ на 2500 м.

Суточный ход температуры и солёности (рис. 3) прослеживается до 1000 м (глубже серийных наблюдений не проводилось). Наибольшие амплитуды колебаний температуры (0,40°) отмечены на глубине 50 м (16,40—16,80), солёности — на глубине 50 и 250 м (37,63—37,98‰ и 38,67—38,86‰ соответственно), т. е. в слое минимума и максимума солёности, что связано с приливо-отливным перемещением

водных масс. На глубине 1000 м суточные колебания температуры и солености были небольшие, что обуславливается довольно равномерным распределением гидрологических характеристик в глубинных слоях Средиземного моря.

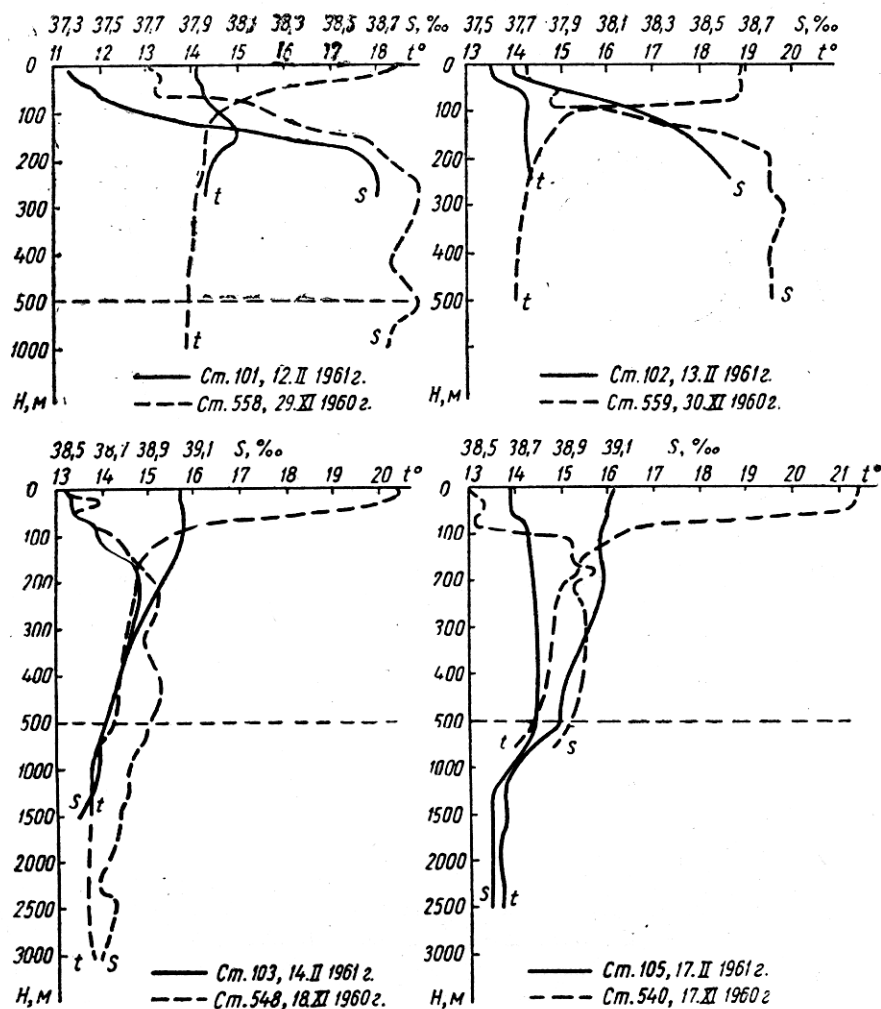


Рис. 4. Вертикальное распределение температуры и солености для западного, центрального и восточного районов Ионического моря по наблюдениям на э/с «Академик Ковалевский» в феврале 1961 г. и на э/с «Академик Вавилов» в ноябре 1960 г.

В центральной части Средиземного моря несколько станций выполнено в середине февраля 1961 г.: в Тунисском проливе (ст. 100), к юго-юго-востоку от о. Сицилия (ст. 101 и 102), в центре Ионического моря (ст. 103) и к юго-западу от п-ва Пелопоннес (ст. 105). Наблюдения проводились при сильном ветре (9—12 м/сек) преимущественно северного направления. Вертикальное распределение температуры и солености характеризовало гидрологические условия зимы 1960/61 г. В этом районе моря на э/с «Академик Вавилов» проведены

наблюдения во второй половине ноября 1960 г., поэтому представляется возможность проследить, как изменились гидрологические характеристики за три холодных месяца — с ноября по февраль. На рис. 4 приведено вертикальное распределение температуры, солености для

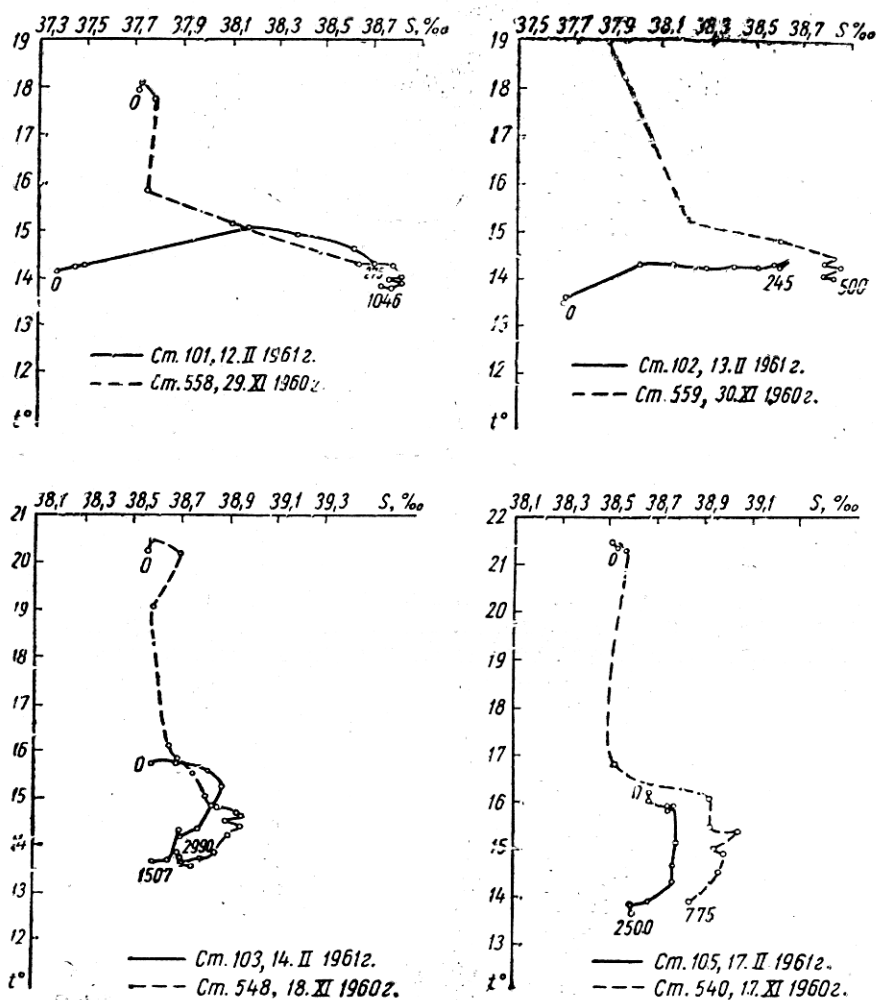


Рис. 5. Т—S кривые для западного, центрального и восточного районов Ионического моря по наблюдениям на э/с «Академик Ковалевский» в феврале 1961 г. и на э/с «Академик Вавилов» в ноябре 1960 г.

западного, центрального и восточного районов Ионического моря по наблюдениям на э/с «Академик Вавилов» в ноябре 1960 г. и на э/с «Академик Ковалевский» в феврале 1961 г. На рис. 5 для тех же районов моря приведены Т—S кривые для характеристики водных масс и их изменчивости. Из этих данных видно, что за два-три зимних месяца произошло изменение температуры и солености не только в поверхностном 100-метровом слое, но и в промежуточном слое максимума солености. В середине февраля вертикальное распределение температуры и

солёности значительно отличалось от такового в ноябре и декабре. В центральном районе Ионического моря температура воды на поверхности понизилась с $20^{\circ},28$ в середине ноября до $19^{\circ},14$ в начале декабря и до $15^{\circ},78$ в середине февраля 1961 г. Солёность в поверхностном слое была $38,57\text{‰}$ в ноябре и феврале и $37,99\text{‰}$ — в декабре. В западном районе моря температура воды на поверхности с конца ноября 1960 г. до середины февраля 1961 г. понизилась с $17,96$ — $18^{\circ},86$ до $14,14$ — $13^{\circ},57$, а в слое максимума солёности, наоборот, несколько повысилась — с $14,08$ — $14^{\circ},26$ до $14,35$ — $14^{\circ},36$, солёность же несколько уменьшилась — с $38,82$ — $38,86$ до $38,63$ — $38,70\text{‰}$ как на поверхности, так и в промежуточном слое. В центральном и восточном районах Ионического моря за это время температура воды на поверхности понизилась с $20,28$ — $21^{\circ},38$ до $15,77$ — $16^{\circ},19$. В слое максимума солёности произошло повышение температуры с $14,66$ — $14^{\circ},90$ до $15,36$ — $15^{\circ},58$ и уменьшение солёности с $38,95$ — $38,99$ до $38,86$ — $38,79\text{‰}$.

Изменения в поверхностном слое связаны с выхолаживанием и конвекционным перемешиванием. Изменения в промежуточном слое максимума солёности определялись не столько перемешиванием поверхностных вод в данном месте моря, сколько поступлением вод из моря Леванта и Эгейского моря, где они формируются. Глубже 500 м температура и солёность воды в феврале очень мало отличались от таковых в декабре, что, вероятно, объясняется очень слабым процессом формирования и обновления глубинных вод в эту мягкую зиму.

В теплую зиму 1960/61 г. конвекционное перемешивание в центральном районе Ионического моря ограничивалось небольшим поверхностным слоем (50 м). В такие зимы аэрация глубинных вод если и происходит, то очень слабая. Но даже в суровые зимы аэрация глубинных вод осуществляется не столько процессами конвекционного перемешивания в открытом море, сколько адвекцией охлажденных вод из северных наиболее холодных районов моря и послойным их перемешиванием. Поскольку в Ионическом море в холодное время года преобладает циклоническая система течения (Metallo, 1958), районами заглублиения поверхностных более охлажденных вод, вероятно, может быть лишь северная периферия этих течений. Относительно высокая температура в поверхностном 400-метровом слое в центральной части Ионического моря в середине февраля 1961 г. указывает на более интенсивный приток их из восточных районов Средиземного моря, морей Леванта и Критского.

Вертикальное распределение температуры и солёности по разрезу Тунисский пролив (м. Бон) — о. Китира (южная оконечность полуострова Пелопоннес) приведено на рис. 6. В середине февраля 1961 г. восточный район Ионического моря (ст. 102) был заполнен более теплыми и солёными водами с температурой $15,77$ — $16^{\circ},16$ и солёностью $38,56$ — $38,68\text{‰}$ на поверхности и $13,83$ — $13^{\circ},90$ и $38,67\text{‰}$ на глубине 1000 м. По направлению с востока на запад температура и солёность воды уменьшались как на поверхности (от $16,19$ до $14^{\circ},14$ и от $38,68$ до $37,37\text{‰}$), так и на глубине 360 м (от $15,27$ до $13^{\circ},94$ и от $38,78$ до $38,69\text{‰}$). У юго-восточного берега о. Сицилия в поверхностном 25-метровом слое отмечались наиболее холодные и солёные воды ($13^{\circ},57$ и $37,71\text{‰}$). Вероятно, здесь сказывалось влияние поверхностных вод Адриатики. Южнее о. Сицилия (ст. 100) и в Тунисском проливе (ст. 101) температура в поверхностном слое была несколько выше ($14,44$ — $14^{\circ},22$), а солёность ниже ($37,37\text{‰}$), чем на ст. 102. На обе-

их станциях хорошо прослеживался промежуточный слой с повышенной температурой $16,64$ — $15,05$ и соленостью $38,76$ — $38,70\text{‰}$.

Для сопоставления гидрологических характеристик глубинных вод Ионического моря с водами Адриатики, Критского моря и северного района моря Леванта на рис. 7 нанесены Т—S кривые по зимним наблюдениям различных экспедиций («Тор» — декабрь 1908 г., «Наяда» — февраль 1912 г., «Атлантис» — март 1948 г., «Спесилак» — де-

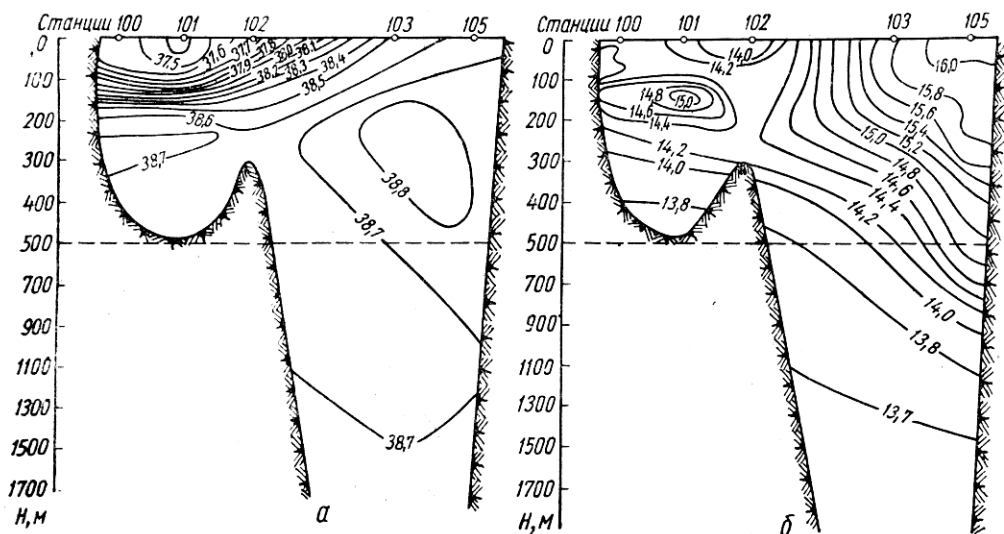


Рис. 6. Вертикальное распределение солености (а) и температуры (б) по разрезу Тунисский пролив (м. Бон) — о. Китира в середине февраля 1961 г. по наблюдениям на э/с «Академик Ковалевский».

кабрь 1958 г., «Академик Ковалевский» — февраль 1961 г. и февраль 1962 г.). Анализ Т—S кривых показывает, что Поллак несомненно прав в том, что наиболее мощным источником обновления глубинных вод восточной половины Средиземного моря является Адриатика. Она снабжает глубинные слои наиболее холодной и несколько распресненной водой. На ст. 28 А, выполненной 28 февраля 1912 г. э/с «Наяда», температура воды в южной Адриатике по всей толще моря (от 0 до 1100 м) была ниже, чем в глубинных слоях в проливе Отранто, в Ионическом море, в проливе Касос и в северных районах Леванта по наблюдениям в различные годы. На глубине пролива Отранто (600—800 м) температура воды на ст. 28 А была $13,14$ — $13,02$, соленость $38,57$ — $38,55\text{‰}$ и плотность $29,14$ — $29,15$. Глубинная вода южной Адриатики образовалась путем смешения значительно охлажденных вод северных районов моря, которые, перемещаясь по дну к югу, постепенно перемешиваются с вышележащей более теплой и соленой водой ионического происхождения. Холодная и несколько распресненная глубинная вода Адриатики имеет большую плотность, чем воды Ионического моря на глубине пролива, поэтому, вливаясь в Ионическое море, она несомненно заглубляется. По пути движения в Ионическом море холодные воды Адриатики смешиваются не с водами промежуточного слоя максимальной солености и повышенной температуры, а с более глубокими водами, в образовании которых принимают уча-

стие глубинные воды Критского моря и северного района моря Леванта. Так, плотность воды в Критском море на глубине проливов (600—800 м), соединяющих его с морем Леванта и Ионическим, была не-

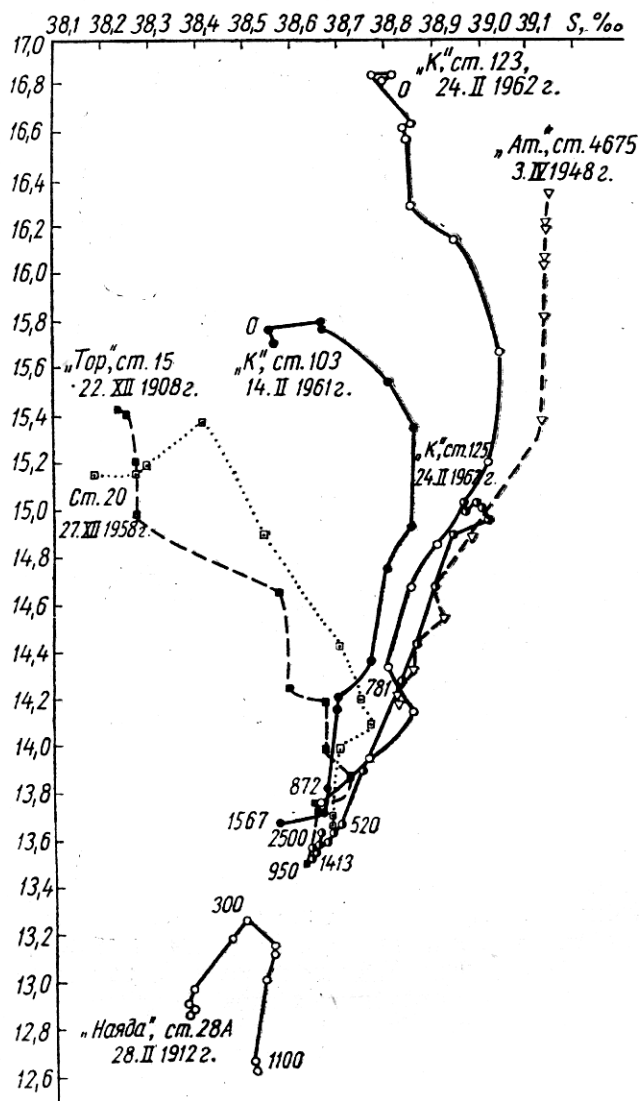


Рис. 7. Т—S кривые по зимним наблюдениям в Ионическом море («Академик Ковалевский», февраль 1961 г.), в Южной Адриатике и проливе Отранто («Наяда», февраль 1912 г., «Тор», декабрь 1908 г., «Спесилак», декабрь 1958 г.), в Критском море («Атлантис», март 1948 г.) и северном районе моря Леванта «Академик Ковалевский», февраль 1962 г.).

сколько выше, чем на соответствующих глубинах в данных морях (29,09—29,14). Поэтому глубинные воды Критского моря, как более соленые и тяжелые, втекают на глубине порогов в Ионическое море и море Леванта, где постепенно заглубляются. Поскольку их плот-

ность несколько меньше плотности более холодных вод адриатического происхождения, то они располагаются над ними. Это создает благоприятные условия для их смешения, так как незначительное охлаждение вышележащих соленых вод и нагревание менее соленых глубинных вод сопровождается конвекционным перемешиванием.

МОРЕ ЛЕВАНТА

В центре моря Леванта 4—5 декабря 1961 г. сделана суточная станция 25. Наблюдения проводились при гидрометеорологических условиях, характерных для позднего осеннего гидрологического сезона. Над морем стояла теплая малооблачная погода со слабыми южными и юго-западными ветрами (3—7 м/сек). Море медленно отдавало тепло в атмосферу. Конвективное перемешивание ограничивалось 50-метровым слоем. Верхний слой воды характеризовался не только повышенной температурой (19,00—18°,90), но и повышенной соленостью (38,96—39,02‰). Сохранялась переслоенность вод с максимальным градиентом плотности на глубине 75—100 м. В слое 50—100 м понижение температуры совпадало с уменьшением солености, т. е. градиент плотности несколько сглаживался. С глубины 100—150 м падение температуры сопровождалось увеличением солености до 39,12‰. Температура воды начиная от верхнего перемешанного слоя уменьшалась с глубиной: от 16°,44 на 100 м до 14°,02 на 500 м. Глубже температура воды понижалась незначительно, так с глубины 500—1000 м она понизилась всего на 0°,41, начиная с 1000 м вода была почти однородной (температура 13,6—13°,7 и соленость—38,57—38,66‰). Вертикальное распределение температуры, солености и градиента плотности, а также T—S кривые в центральной части моря Леванта в декабре 1961 г. и в его восточной части в феврале 1962 г. представлены на рис. 8. По характеру T—S кривых в море Леванта можно выделить четыре водные массы: 1) поверхностную, 2) промежуточную с минимумом солености (следы атлантической воды), 3) промежуточную с максимумом солености и 4) глубинную воду.

Суточные колебания температуры и солености воды в центральном море Леванта были незначительные. На поверхности суточная амплитуда составляла 0°,17 и 0,07‰ (18,85—18°,98 и 38,95—39,02‰), а на глубине 150 м—соответственно 0°,49 и 0,20‰ (15,60—16°,09 и 38,92—39,18‰), на глубине 1000 м она соответственно была 0°,03 и 0,01‰ (13,61—13°,64 и 38,62—38,63‰).

При возвращении из Красного моря на э/с «Академик Ковалевский» проведены наблюдения в присуэцком районе Средиземного моря. Сделано два разреза вдоль египетского берега—в 12 и 30 милях от него. Наблюдения проводились 3—5 февраля 1962 г. при устойчивых западных и юго-западных ветрах, усилившихся с 7 до 13 м/сек. Из-за шторма работы были прекращены. Сделано 9 станций (102—110). Температура поверхностного слоя в присуэцком районе Средиземного моря была 17,42—17°,80, соленость—38,40—38,75‰, т. е. несколько увеличивалась в направлении с запада на восток. Температурный скачок был уже разрушен, однако конвекционное перемешивание ограничивалось небольшими глубинами. В 12 милях от берега вода по температуре и солености была однородная от поверхности до дна (0—60 м). В расстоянии 40 миль от берега однородный по температуре и солености поверхностный слой изменялся по толщине от 50 м на ст. 109 до 150 м на ст. 108, что, вероятно, обусловлено антициклониче-

ским течением с центром, расположенным в районе ст. 108. На последней отмечалось скопление поверхностных вод, несколько распресненных

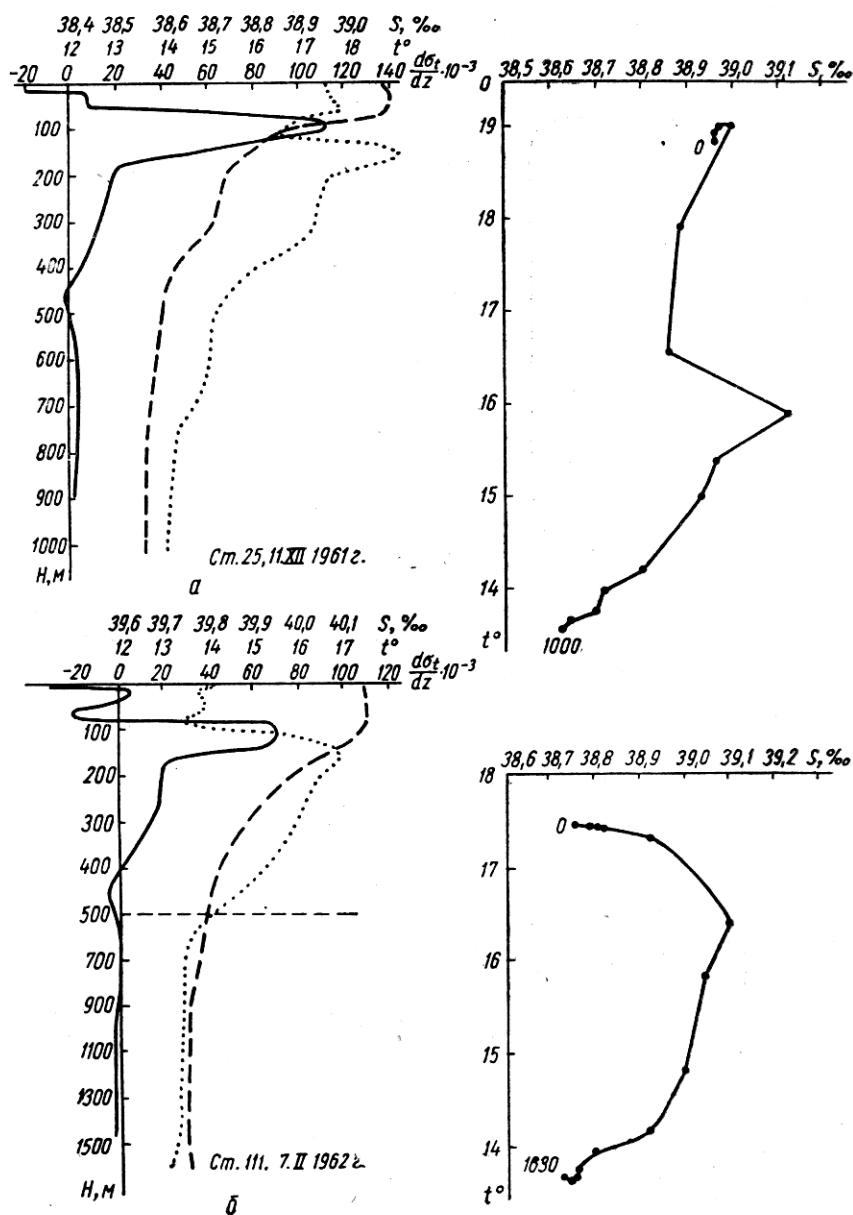


Рис. 8. Вертикальное распределение температуры, солености и градиента плотности и Т—S кривые в центральном районе моря Леванта в декабре 1961 г. (а) и его восточной части в феврале 1962 г. (б)

— $\frac{d\sigma_t}{dz}$, — t° , $S^\circ/\text{‰}$

нильскими водами. Вертикальное распределение температуры, солености и градиента плотности на ст. 108 представлено на рис. 9. Начиная со 150 м температура плавно убывала до минимума (13,63) на

глубине 1000 м, а соленость с глубины 100—300 м увеличивалась до 38,66‰ на глубине 920 м. Наибольшее распреснение отмечалось на станциях, расположенных ближе к устью Нила (105, 106, 107 и 108), где температура и соленость изменялись в небольших пределах — 17,48—17°,80 и 38,40—38,48‰.

Распресняющее влияние нильских вод в первой половине февраля 1962 г. прослеживалось в северо-восточном направлении далеко от

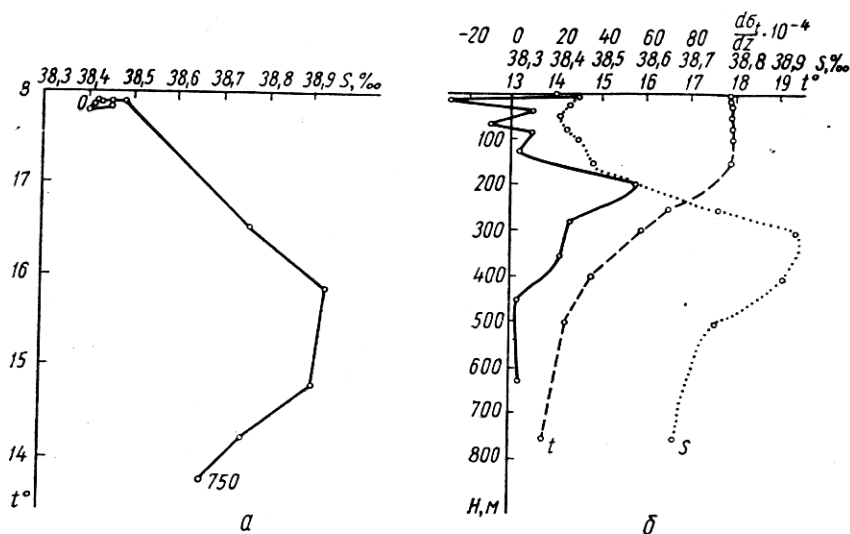


Рис. 9. Т—S кривая (а) и вертикальное распределение температуры, солености и градиента плотности (б) в присузком районе Средиземного моря (ст. 108) по наблюдениям 6 февраля 1962 г.

устья Нила. Так, в 50 милях от устья соленость была 38,40‰, в 140 милях — 38,63‰ и в 180 милях — 38,81‰. Направление движения распресненных вод, по-видимому, определялось сильными (10—15 м/сек) и устойчивыми в период наблюдения юго-западными ветрами. Некоторое распреснение отмечалось также и вдоль восточного побережья Средиземного моря (ст. 117, 116), где соленость поверхностной воды была 38,68—38,74‰. В табл. 1 приведены данные по температуре и солености воды на поверхности моря и в слоях максимума и минимума солености, позволяющие проследить распространение нильских вод. Станции 105, 108, 111 расположены к северо-востоку от устья, а ст. 30 — к северо-западу. Последняя станция относится к другому сезону и даже году (наблюдения э/с «Академик Ковалевский» в сентябре 1959 г.). Станция 30 приведена лишь для сопоставления, так как на ней в сентябре 1959 г. в поверхностном 10-метровом слое также отмечалось резкое понижение солености (на 0,63‰ по сравнению с 50-метровым слоем), связанное с влиянием нильских вод. Промежуточный минимум солености (38,96‰), обусловленный влиянием атлантической воды на ст. 30, отмечался на глубине 75—100 м. Здесь соленость была на 0,43‰ меньше, чем на 50 м, и только на 0,05‰ меньше, чем в слое промежуточного максимума, — на глубинах 150—300 м. Как следует из табл. 1, в феврале 1962 г. отмечалось несколько большее распреснение поверхностных вод — к северо-востоку от устья Нила оно прослеживалось

Таблица 2

Характеристика воды в слоях, максимума и минимума солености на станциях, расположенных вдоль берегов Ливана

№ ст., дата	117, 11.II 1962 г.			116, 11.II 1962 г.			115, 9.II 1962 г.		
Ветер	ССВ—3—5 м/сек			ВСВ—3—5 м/сек			ССЗ—3 м/сек		
Показатели	Н, м	t, °C	S, ‰	Н, м	t, °C	S, ‰	Н, м	t, °C	S, ‰
Поверхность	0	17,49	38,68	0	17,72	38,75	0	17,96	38,74
Следы атлантических вод	50	17,46	38,58	50	17,77	38,68	75	17,77	38,75
Промежуточный максимум солености	250	15,93	39,04	398	15,26	38,93	300	15,88	39,06
Минимум солености на глубине	1250	13,56	38,69	697	13,85	38,76	1000	13,54	38,68

Таблица 3

Изменение температуры и солености на поверхности и в слоях максимума и минимума солености с удалением от берегов Ливана в море

№ ст., дата	117, 11.II 1962 г.			111, 7.II 1962 г.			119, 16.II 1962 г.			126, 25.II 1962 г.		
Ветер	ССВ—3—5 м/сек			ЗЮЗ—10—12 м/сек			ЮЗ—10—12 м/сек			ЮЮЗ—3—5 м/сек		
Показатели	Н, м	t, °C	S, ‰	Н, м	t, °C	S, ‰	Н, м	t, °C	S, ‰	Н, м	t, °C	S, ‰
Поверхность	0	17,49	38,68	0	17,40	38,81	0	17,02	38,86	0	15,61	38,99
Следы атлантических вод	250	17,46	38,58	75	17,46	38,75	48	16,90	38,86		Нет	
Максимум солености	250	15,93	39,04	200	15,80	39,04	192	15,92	38,98	100	15,26	39,02
Минимум солености на глубине	1250	13,56	38,69	1589	13,64	38,72	1500	13,61	38,67	1500	13,57	38,63
Расстояние от берега	20 миль			60 миль			105 миль			360 миль		

выполнялся 24—25 февраля при слабых ветрах (3—7 м/сек), меняющихся по направлению от юго-восточного до юго-западного.

Распределение температуры и солености по разрезу от ливанского берега в море, примерно по параллели 34° северной широты, представлено на рис. 10. Характерно опускание всех изотерм по направлению к берегу, прослеживаемое до глубины 1200 м. Изотерма 15° заглублялась по направлению к берегу от 55 м (на ст. 125) до 340 м (на ст. 117), изотерма 13°,6 — с 700 м до 1100 м. Наиболее высокая температура — 17°,50 была в поверхностном слое в прибрежной полосе (ст. 117). По направлению к открытому морю температура воды понижалась и на крайней западной станции была 15°,12. Станции 121 и 125 сделаны на большом расстоянии (120—140 миль) и несколько растянуты во времени, поэтому разрез, представленный на рис. 10, в левой своей части дает лишь примерную картину распределения температуры и солености. Как следует из рис. 10, распределение солености по разрезу несколько отличается от распределения температуры. Прибрежные станции (117, 111) имели несколько пониженные солености: на поверхности — 38,68—38,81‰, на глубинах 50—75 м — 38,58—38,75‰ и более повышенную соленость в промежуточном слое максимума солености — 39,09‰. На крайних западных станциях отмечается очень

незначительное уменьшение солености (на 0,03‰) на глубинах 25 и 50 м по сравнению с поверхностью и на 0,05‰ по сравнению с максимумом солености, наблюдающимся на глубине 150 м (39,02‰). По данным Металло (1958), в осенний и зимний период в море Леванта преобладает антициклоническая система течения. Однако, судя по распределению изотерм и изохалин на двух разрезах, представленных на рис. 10, можно предположить, что в этот период в море Леванта наблюда-

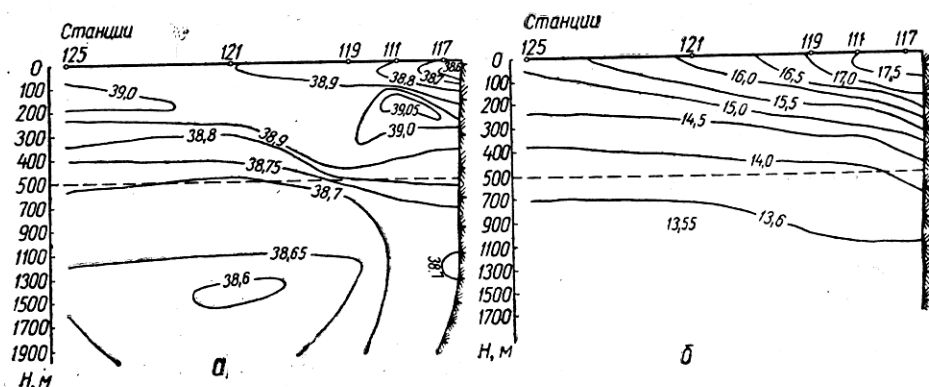


Рис. 10. Распределение солености (а) и температуры (б) по разрезу от Ливанского берега в море в середине февраля 1962 г. (по наблюдениям на э/с «Академик Ковалевский»).

лось циклоническое течение с перемещением поверхностных вод по направлению к берегу. Только существованием такого перемещения и можно объяснить, что на ст. 125 и 126, расположенных ближе к центру, полностью отсутствовал теплый и несколько распресненный слой воды, в то время как на периферийных станциях (117 на востоке и 123 на севере) эти воды располагались слоем толщиной 100—150 м. Это распределение солености может быть обусловлено тем, что при образовании циклонического течения по направлению к берегам вначале перемещались поверхностные воды, значительно осолоненные за лето. Для них достаточно незначительного охлаждения, чтобы вызвать их опускание у берегов. Области наиболее соленой воды справа на разрезе (рис. 10), по-видимому, и являются следствием такого заглубления осолоненных поверхностных вод в начальный период охлаждения. Судя по наблюдениям э/с «Академик Ковалевский», в феврале 1962 г. промежуточные воды, по-видимому, формировались лишь в центральной части моря Леванта. Здесь отмечались самые низкие температуры (15°,12) и высокие солености (38,99‰) и плотности (29,09) на поверхности. Однако в связи с мягкой зимой этот процесс протекал слабо, опускание охлажденных вод прослеживалось лишь до глубины 150—200 м. В теплые зимы 1960/61 и 1961/62 гг. в северных районах моря Леванта и южных районах Эгейского моря поверхностные воды не принимали участия в формировании глубинной воды, поскольку температура и плотность воды на поверхности не опускались ниже 16°,62 и 28,50.

В северо-восточном углу Средиземного моря (к СВ от о. Кипр) выполнен разрез из 5 станций (с 112 до 116 ст.), из которых ст. 115 была суточной с наблюдениями через 6 часов. Распределение температуры и солености на этом разрезе представлены на рис. 11. Все изо-

термы и изохалины на разрезах имеют четко выраженный куполообразный характер, что указывает на подъем глубинных вод в районе ст. 113 и заглубление поверхностных вод на концах разреза (на ст. 112 и 116). Толщина поверхностного перемешанного слоя по разрезу неодинакова, она увеличивалась от 100 м на ст. 113 до 200 м в северо-западном направлении к ст. 112 и до 250 м в юго-восточном направлении к ст. 116. Толщина перемешанного слоя определяется не раз-

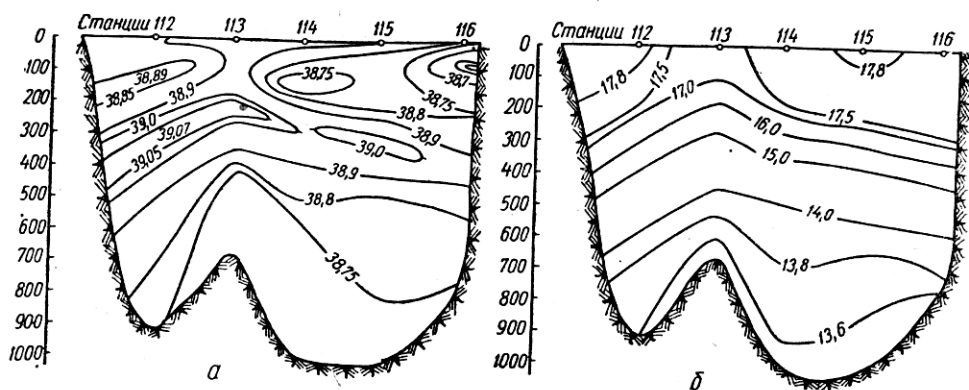


Рис. 11. Распределение солёности (а) и температуры (б) по разрезу, расположенному северо-восточнее о. Кипр, 8—11 февраля 1962 г.

личными условиями охлаждения и конвекционного перемешивания, а перераспределением поверхностных вод течениями. В районе расположения ст. 113 (вблизи СВ оконечности о. Крит) был хорошо заметен сгон поверхностных вод и подъем глубинных. На ст. 112 и 116, наоборот, отмечался нагон и значительное заглубление поверхностных вод. Соответственно более теплые ($17,70$ — $17,72$) и менее соленые ($38,75$ — $38,79\text{‰}$) воды располагались на концах разреза, а на ст. 113 поверхностные воды имели несколько пониженную температуру и повышенную солёность ($17,28$ и $38,93\text{‰}$). На разрезе распределения солёности (рис. 11,а) прослеживается промежуточный слой воды повышенной солёности с максимумом $39,06$ — $39,07\text{‰}$ (на ст. 112 и 115). Мощность этого слоя увеличивается с юго-востока на северо-запад, глубина залегания его изменяется от 200 м на ст. 113 до 400 м на концах разреза. Суточные колебания температуры и солёности были небольшие: от $0,21$ и $0,25\text{‰}$ на поверхности до $0,08$ и $0,01\text{‰}$ на глубине 1000 м.

Разрез от о. Родос на юг (ст. 122—126) был выполнен с 21 по 25 февраля при сильном — до 15 м/сек северном ветре. На ст. 122, расположенной примерно в 10 милях к юго-востоку от о. Родос, заметен сгон поверхностных вод. Толщина поверхностного перемешанного слоя была небольшая — 125 м. Температура поверхностных вод колебалась от $16,8$ до $15,8$ и солёность — от $38,85$ до $38,95\text{‰}$. Глубже этого слоя, на глубине 750 м температура плавно уменьшалась до $13,6$. В более глубоких слоях (1250—2000 м) температура увеличивалась, по существу, лишь на адиабатическую поправку — на $0,1$. Солёность же вначале возрастала до $38,99\text{‰}$ на глубине 185 м, затем плавно убывала до $38,65\text{‰}$ на глубине 2000 м. Из-за штормового ветра корабль вынужден был отставиваться за о. Родос и работы были возоб-

новлены только 24 февраля, когда ветер сменился на юго-юго-восточный. Последние четыре станции были выполнены в течение полутора суток при юго-юго-восточном ветре 8—3 м/сек. Вертикальное распределение солёности и температуры по этому разрезу дано на рис. 12. Отмечается значительное заглубление всех изотерм на ст. 123 (наиболее северной), где поверхностный перемешанный слой с более или менее постоянной температурой (16,8—16°,2) и солёностью (38,78—

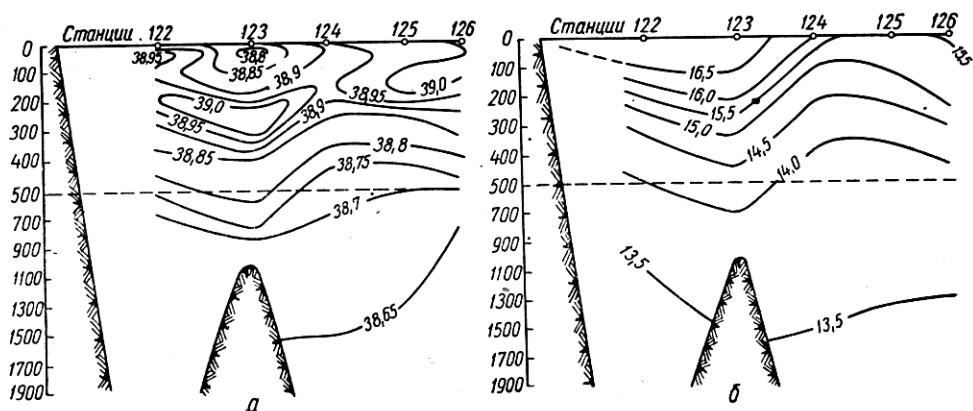


Рис. 12. Распределение солёности (а) и температуры (б) по разрезу от о. Родос на юг по наблюдениям 8—11 февраля 1962 г.

38,86‰) достигает толщины 150 м. Значительное заглубление всех изотерм в районе этой станции прослеживалось до 900 м.

По направлению к ст. 125 все изотермы приподнимаются, южнее же они вновь несколько заглубляются. На ст. 123 отмечено скопление поверхностной воды с несколько повышенной температурой (16,8—16°,9) и пониженной солёностью (38,67—38,80‰) по сравнению со станциями 122, 124, 125, 126 (15,1—15°,9, 38,94—39,02‰). Эта станция, вероятно, располагалась или на периферии циклического течения, или же в зоне сходимости течений. Изотерма в 14° от 350 м на ст. 125 заглублялась до 800 м на ст. 123.

Минимальные температура (13°,6) и солёность (38,64—38,68‰) на трех южных станциях располагались на глубинах 800—1250 м, а вблизи о. Родос (ст. 122) — на глубине 750 м. Температура воды в поверхностном слое уменьшалась с севера на юг от ст. 122 и 126 с 16,8 до 15°,5, а солёность увеличивалась с 38,80 до 38,99‰.

Вертикальное распределение температуры и солёности на всех исследуемых участках восточной половины Средиземного моря в феврале 1961 и 1962 гг. свидетельствует о неглубоком конвекционном перемешивании (до 250—300 м). Поэтому надо полагать, что поверхностные воды исследуемых районов моря в образовании глубинных вод восточной половины Средиземного моря с температурой 13,6—14°,3 участия не принимали.

Наличие кислорода в глубинных слоях моря и даже некоторое увеличение его на больших глубинах свидетельствует об активном обновлении этих слоев, однако осуществляется это обновление не непосредственным конвекционным перемешиванием. Поступление кислорода в глубинные слои Средиземного моря происходит путем поперечной циркуляции, перемещающей поверхностные воды из районов, подвержен-

ных наибольшему охлаждению, в глубины открытого моря, и послойного конвекционного и турбулентного перемешивания. Приливо-отливные течения обеспечивают, вероятно, интенсивное перемешивание между различными слоями. Прямое конвекционное перемешивание в открытом море происходит лишь в поверхностных слоях и только в отдельных мелководных районах на севере с более суровым климатом оно захватывает всю толщу воды от поверхности до дна (Адриатика, Эгейское море, северные районы моря Леванта).

ТИРРЕНСКОЕ МОРЕ

Тирренское море с северо-востока и востока ограничено Апеннинским полуостровом, с запада — островами Корсика и Сардиния, с юга — о. Сицилия. Это глубокое море с максимальной глубиной свыше 3500 м. Значительная центральная область моря оконтурена 2500-метровой изобатой. Гидрологический режим моря определяется климатическими условиями и характером водообмена с соседними районами Средиземного моря. С Алжиро-Прованским бассейном Тирренское море соединяется проливами: с севера — Корсиканским с максимальной глубиной 650 м, с запада — узким мелководным проливом Банифас, с юга — широким проливом между островами Сардиния и Сицилия. Последний имеет глубокую долину, вытянутую с юго-запада на северо-восток с глубиной до 2000 м, через которую происходит обмен глубинными водами с Алжиро-Прованским бассейном. С Ионическим морем Тирренское море соединяется очень узким Мессинским проливом и широким, но неглубоким Тунисским проливом с максимальной глубиной 350 м. Глубина Тунисского пролива ограничивает водообмен между восточной и западной половиной Средиземного моря лишь водами верхнего 400-метрового слоя. Таким образом, гидрологический режим поверхностных слоев Тирренского моря складывается под воздействием погодных условий, поступления в поверхностные горизонты атлантических вод и в промежуточные слои относительно теплых и соленых «ливантийских вод» из восточного бассейна. Атлантические воды входят в Тирренское море поверхностным слоем через южный пролив, прижимаясь к берегам о. Сицилия. Обходя остров, они поворачивают на восток, затем на север, образуя циклонический круговорот (Lacombe et Tchernia, 1960). Промежуточные относительно теплые и соленые воды движутся с востока на запад, проходя Тунисский пролив, часть этих вод ответвляется вправо и входит в Тирренское море, где они, как и атлантические воды, только на глубине 250—750 м совершают циклоническое движение (Tchernia, 1958, Wüst, 1960). Интенсивность поступления как атлантических, так и ливантийских вод не остается постоянной, она меняется от сезона к сезону, от года к году и от периода к периоду, что связано с изменением количества осадков, испарения, ветрового режима, т. е. с изменением интенсивности атмосферной циркуляции.

В Тирренском море на э/с «Академик Ковалевский» наблюдения проводились во второй половине декабря 1960 г. В юго-восточном районе моря была выполнена одна суточная станция с пятью сериями наблюдений и пять разовых станций: две — вдоль итальянского побережья и три — в северном районе моря. В конце января 1961 г. в юго-восточном районе Тирренского моря были сделаны две станции э/с «Академик Вавилов». Полученных наблюдений недостаточно для

детальной характеристики гидрологического режима всего моря, однако они позволяют все же отметить некоторые особенности в вертикальном распределении температуры и солености в ноябре—декабре 1960 г. в отдельных районах моря.

С конца ноября до середины декабря 1960 г. в поверхностном слое юго-восточного района моря произошло незначительное понижение температуры и солености. На мористых станциях температура понизилась с 17,78 до 17°,42, соленость — с 37,92 до 37,74‰, на более прибрежных — с 19,58 до 17°,36 и с 37,96 до 37,65‰. Теплый хорошо перемешанный слой в районе суточной ст. 66 ограничивался глубиной 50 м. Далее наблюдалось значительное понижение температуры и некоторое уменьшение солености до 37,64—37,74‰. Это понижение солености указывает на присутствие в Тирренском море атлантических вод. Положение минимума солености обычно совпадает со слоем максимального градиента температуры, что связано с затуханием перемешивания в этом слое. Именно ослаблением перемешивания и объясняется продолжительное сохранение характеристик атлантических вод на всем пространстве Средиземного моря, несмотря на относительно небольшую толщину их слоя. Некоторое понижение температуры воды, наблюдаемое на глубине 100—200 м, обусловлено заглублением охлажденных поверхностных вод в северных районах Тирренского и Лигурийского морей. В табл. 4 приведены величины температуры и солености в промежуточных слоях.

На всех станциях западной половины Средиземного моря четко прослеживался мощный промежуточный слой с относительным максимумом солености и температуры. Этот слой располагался на глубинах 250—750 м, с наибольшей величиной солености на 500 м. Эти воды сформировались в северо-восточном районе моря Леванта, где они имели температуру 15,26—15°,93 и соленость 39,02—39,04‰. Пройдя путь с востока Средиземного моря на запад, их температура и соленость несколько понизились — до 13,16—13°,52 и 38,40—38,57‰. Толщина же слоя увеличилась за счет смешения их с водами соседних слоев, имеющих более низкую температуру и соленость. Глубже 1300—1500 м температура и соленость незначительно уменьшались до значений 13°,10 и 38,44‰. Суточные колебания температуры и солености прослеживались до глубины 1800 м, однако из-за штормовой погоды наблюдения на суточной станции были прерваны, поэтому определенной закономерности в суточном ходе уловить не удалось.

В конце декабря наблюдения проводились в северной половине Тирренского моря (ст. 69, 70, 71 и 72). Более теплая (15°,85) и менее соленая (37,92‰) вода отмечалась в это время в восточном районе в 30 милях от берегов Италии (ст. 69). Толщина теплого перемешанного слоя достигала здесь 50 м. По направлению на северо-запад от этой станции — к центру северной половины Тирренского моря (ст. 71) — во всей толще воды отмечалось понижение температуры. Соленость же в верхнем 250-метровом слое в этом направлении увеличивалась, а глубже — в слое максимума солености она несколько уменьшалась. Вертикальное распределение температуры, солености в ноябре—декабре 1960 г. для разных районов Тирренского моря представлено на рис. 13, а для характеристики состояния водных масс на рис. 14 приведены T—S кривые. Судя по вертикальному распределению температуры и солености на ст. 70, 71 и 72, в районе ст. 71 располагался, по-видимому, центр циклонического течения, причем довольно интен-

Таблица 4

Характеристика воды в слоях минимума температуры и максимума температуры и
солености в Алжиро-Прованском бассейне по наблюдениям в разные годы

Номер станции, дата	Поверхность			Верхний минимум температуры			Второй минимум температуры			Промежуточный максимум солености			Промежуточный максимум температуры		
	Горизонт, м	t, °C	S, ‰	Горизонт, м	t, °C	S, ‰	Горизонт, м	t, °C		Горизонт, м	t, °C	S, ‰	Горизонт, м	t, °C	S, ‰
«Академик Ковалевский»															
93.27.I 1961 г.	0	13,34	37,92	100	12,25	37,77	—	—	—	750	13,34	38,57	400	13,36	38,52
94.28.I 1961 г.	0	12,80	38,08	75	12,68	38,10	150	12,91	38,25	395	13,26	38,48	395	13,26	38,48
95.30.I 1961 г.	0	12,70	37,99	100	12,93	38,17	305	13,02	38,38	425	13,16	38,41	425	13,16	38,41
96.31.I 1961 г.	0	13,21	37,74	145	12,81	37,99	—	—	—	430	13,26	38,40	285	13,26	38,36
97.1.II 1961 г.	0	13,86	36,77	200	12,94	38,22	—	—	—	400	13,10	38,39	400	13,10	38,39
98.2.II 1962 г.	0	13,70	37,03	200	13,17	38,09	—	—	—	500	13,32	38,43	380	13,41	38,40
79.12.I 1961 г.	0	14,06	37,83	250	13,19	38,33	—	—	—	400	13,49	38,50	400	13,49	38,50
80.13.I 1961 г.	0	13,78	37,82	300	13,11	38,34	—	—	—	500	13,37	38,51	400	13,40	38,44
82.14.I 1961 г.	0	14,02	37,84	105	13,71	37,95	210	13,19	38,29	735	13,22	38,66	405	13,52	38,61
77.27.XII 1960 г.	0	12,98	37,92	22	12,92	37,92	—	—	—	260	13,43	38,52	260	13,43	38,52
71.26.XII 1960 г.	0	13,57	38,34	—	—	—	—	—	—	300	13,76	38,59	150	13,21	38,59
«Тор»															
35.28.I 1909 г.	0	12,80	38,04	200	12,93	38,21	—	—	—	450	13,55	38,53	—	—	—
37.30.I 1909 г.	0	12,40	38,24	—	—	—	—	—	—	300	13,08	38,48	—	—	—
«Робусто»															
3.16.III 1952 г.	0	12,84	38,44	50	12,85	38,46	—	—	—	300	13,15	38,57	400	13,16	38,55
«Эли Монье»															
44.2.III 1955 г.	0	12,7	38,38	150	12,69	38,38	—	—	—	300	13,23	38,53	—	—	—

сивного. Здесь наблюдались значительный подъем глубинных вод и отсутствие верхнего однородного слоя воды и даже слоя минимума солености. По данным Металло (1958), в Тирренском море зимой пре-

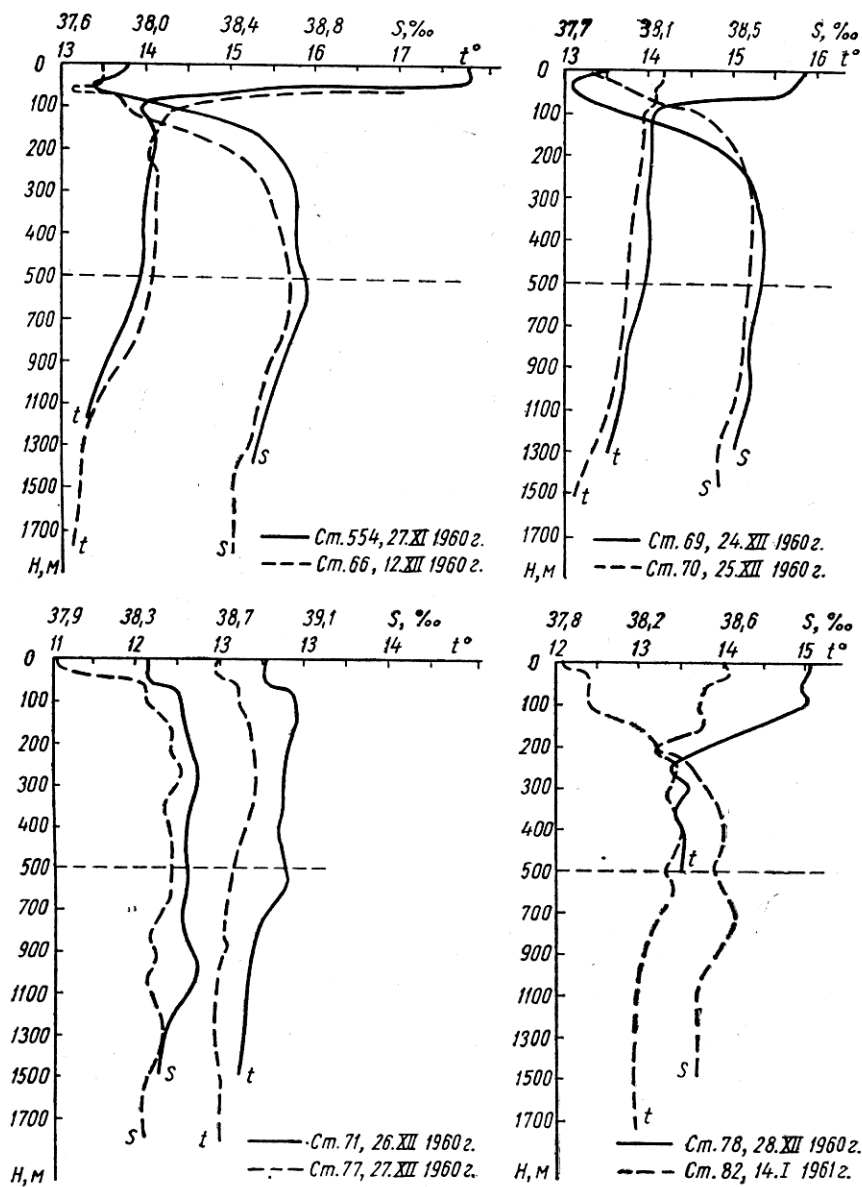


Рис. 13. Вертикальное распределение температуры и солености в Тирренском море в ноябре — декабре 1960 г.

обладает устойчивое циклоническое течение. Такое течение несомненно сопровождается перемещением поверхностных вод к периферии и подъемом глубинных вод в центре с выходом на поверхность слоя относительного минимума температуры.

В рассматриваемый период в центре северной половины Тирренского моря (ст. 71) отмечалась самая низкая температура ($13^{\circ},57$) и самая высокая соленость ($38,34\text{‰}$). Если в начале зимы в северном

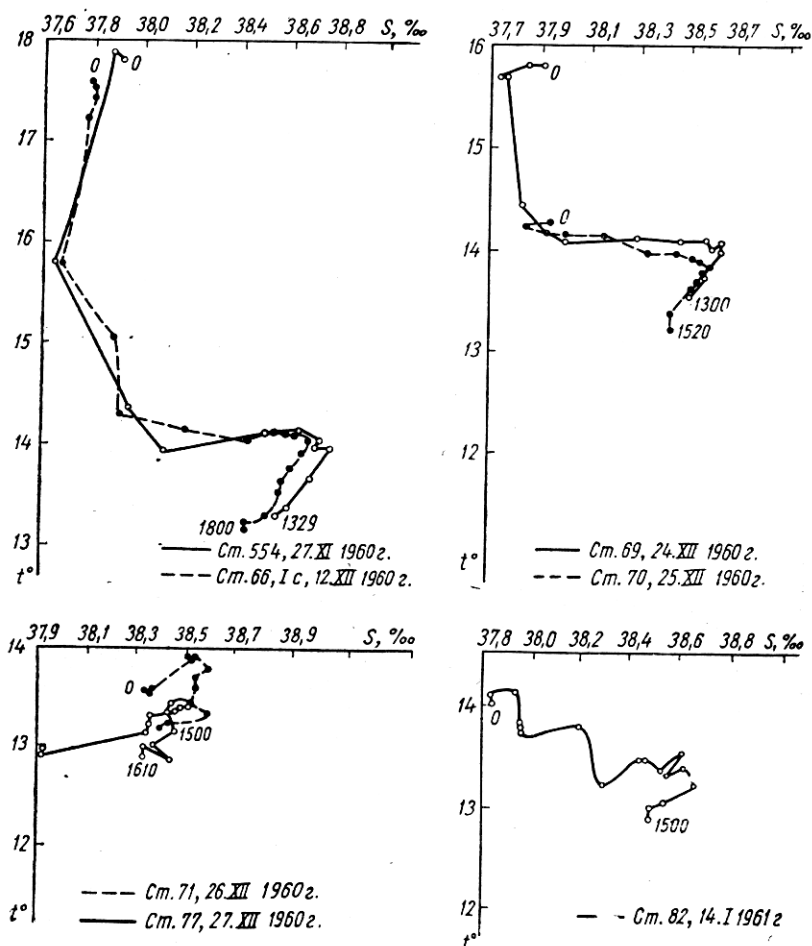


Рис. 14. Т—S кривые для разных районов Тирренского моря по наблюдениям в ноябре—декабре 1960 г.

районе Тирренского моря наблюдались низкие температуры при относительно высокой солености, то, по-видимому, следует ожидать, что в феврале—марте особенно в суровые зимы в этом районе будет происходить формирование глубинных вод.

Как известно, зимних наблюдений в открытых районах Тирренского моря нет, за исключением пяти станций, выполненных в январе 1909 г. э/с «Тор». Данные этой экспедиции показывают, что в северном и северо-западном районах Тирренского моря (ст. 31 и 38) отмечались также самые низкие температуры и относительно высокие солености ($13,00$ — $12^{\circ},80$ и $38,04$ — $38,21\text{‰}$). Дальнейшее понижение температуры воды в феврале—марте в этом районе, по-видимому, будет сопровождаться и опусканием поверхностных вод в глубины Тирренского моря.

АЛЖИРО-ПРОВАНСКИЙ БАССЕЙН

Лигурийское море с востока оконтурено берегами Италии, с севера — французским побережьем, с юга — о. Корсика. Оно свободно сообщается с Гальским морем глубокой ложбиной (до 2500 м), входящей с юго-запада в Лигурийское море. Водообмен с Тирренским морем ограничивается глубиной Корсиканского пролива (650 м). В Лигурийском море э/с «Академик Ковалевский» выполнено лишь две станции: в центральной части и в районе Монако (в 10 милях от берега). Наблюдения проводились в конце декабря после сильного северо-западного ветра со скоростью до 22 м/сек.

В северо-восточном районе Гальского моря работы проводились 12—15 января 1961 г. после продолжительного штормового ветра западной четверти (от ЮЗ до СЗ) 10—24 м/сек. Во время наблюдения ветры были северной четверти (от СВ до СЗ) от 5 до 14 м/сек. Выполнено шесть станций по разрезу от северной оконечности о. Сардиния на северо-запад к Марселю. К сожалению, из-за шторма центральная станция по разрезу была пропущена.

В прибрежной полосе района Монако в конце декабря 1960 г. поверхностный 100-метровый слой был занят относительно теплой водой с температурой 15°,06. В центральной части Лигурийского моря минимальная температура (12°,98) отмечалась на поверхности, где соленость была 37,92‰. В северо-восточном районе Гальского моря в середине января 1961 г. температура на поверхности была 14,06—14°,16 и соленость — 37,81‰. Конвекционное перемешивание ограничивалось верхним 75—100-метровым слоем. Минимум температуры 13,12—13°,19 располагался в промежуточном слое на глубине 200—250 м. Глубже воды были также переслоены по температуре. Так, на ст. 78 на глубине 250 и 350 м наблюдались прослойки воды с пониженной температурой 13,37 и 13°,42 соответственно. Подобная переслоенность отмечалась и на ст. 82, расположенной у юго-восточного входа в Лионский залив. Здесь слои воды с пониженной температурой 13,71, 13,19, 13,35 и 13°,31 отмечались соответственно на горизонтах 100, 200, 300 и 500 м.

Вертикальное распределение температуры и солености в центре Лигурийского моря (ст. 77) отличалось от распределения как в северном районе Тирренского моря (ст. 70, 71), так и в северо-восточном районе Гальского моря. В центральной части Лигурийского моря вся толща воды (до 1500 м) была на 0,4—0°,6 теплее и на 0,10—0,18‰ менее соленой, чем вода в северном районе Тирренского моря (ст. 71). По сравнению с Гальским морем поверхностный 150—200-метровый слой воды в центральном районе Лигурийского моря был на 1,00—1°,15 холоднее и на 0,20—0,56‰ выше по солености. Судя по распределению температуры и солености, в центральном районе Лигурийского моря имел место подъем глубинных вод. В этом районе явно отсутствовал поверхностный 200-метровый слой воды, как и в северном районе Тирренского моря. Сопоставление кривых вертикального распределения температуры и солености (рис. 13) указывает, что в центре Лигурийского моря примерно на 200 м оказалась приподнятой вся толща воды до глубины 1500 м. Такое распределение температуры и солености по вертикали и расположение слоев минимума температуры и максимума температуры и солености возможно только при циклонической системе течений с подъемом вод в районе ст. 77. Максимум тем-

пературы и солёности на ст. 77 отмечался на глубине 250 м, в то время как в Гальском море (ст. 79, 81 и 83) на этой глубине располагался промежуточный слой воды с минимумом температуры 13,12—13°,19 и солёностью 38,21—38,27‰. Если сравнить распределение температуры и солёности в центральной части Лигурийского моря с распределением этих показателей в северном районе Тирренского моря на ст. 71, то на последней восходящее движение вод, вероятно, было еще более мощным. Слой промежуточного максимума температуры отмечался на глубине 100—150 м (13,88—13,90‰), а максимума солёности — на глубине 200—250 м (38,52—38,53‰).

В Лигурийском и Гальском морях также прослеживался слой воды с повышенной температурой и солёностью (13,40—13°,58 и 38,52—38,66‰). Глубина залегания этого слоя в этих морях различна, что определялось особенностью течений. В центральной части Лигурийского моря (ст. 77) промежуточный слой расположен на 250 м, где температура воды была 13°,43, солёность — 38,52‰, в северо-восточной части Гальского моря — на 400—750 м (13,53—13°,57 и 38,63—38,66‰). Так как станции по разрезу о. Сардиния — Марсель расположены в прибрежных районах моря, то более глубокое по сравнению с центральной частью Лигурийского моря залегание промежуточного слоя теплой и соленой воды на них дает основание предполагать, что в северо-восточном районе Гальского моря, как и в Лигурийском, во время наблюдения имело место циклоническое движение. На всех этих станциях над теплым слоем прослеживался второй промежуточный слой воды с пониженной температурой (13,12,—13°,19), но не сопровождавшейся уменьшением солёности (38,21—38,25‰). Глубина залегания второго промежуточного минимума температуры в северо-восточной части Гальского моря равна 150—200 м.

В Лигурийском и Гальском морях зимних наблюдений было несколько больше: две станции сделаны э/с «Тор» в конце января 1909 г., семь станций сделано в Лигурийском море э/с «Робусто» в середине марта 1952 г. и наиболее многочисленные наблюдения проведены э/с «Эли Монье» в марте 1954 и 1955 гг. Зима 1908/09 г. была близка к «норме», зима 1951/52 г. была мягкой и зимы 1953/54 и 1954/55 гг. были холодными. Наблюдения на э/с «Академик Ковалевский», как уже говорилось, относятся к мягкой зиме 1960/61 г.

Для формирования и обновления глубинных вод западной половины Средиземного моря зимы 1953/54 и 1954/55 гг. являлись наиболее благоприятными. По данным наблюдений э/с «Эли Монье», в начале марта 1955 г. центральная часть разреза от о. Корсика к берегам Прованса (ст. 41, 42, 43 и 44) была занята холодной и относительно соленой водой. Температура на поверхности колебалась в пределах 12,55—12°,70, солёность — в пределах 38,22—38,38‰ и плотность в пределах 29,00—29,09. Черния (1960), по данным наблюдений на э/с «Эли Монье», выделяет побережье Прованса как основной центр образования глубинных вод западной половины Средиземного моря (см. табл. 4).

Вдоль испанского побережья нами сделано четыре гидрологических станции, из них одна суточная (ст. 95), которая расположена между испанским берегом и Балеарскими островами. Наблюдения проводились с 27 по 31 января 1961 г. при сильных ветрах западной четверти — от СЗ до ЮЗ (8—13 м/сек). Кратковременное ослабление ветра было использовано для выполнения суточной станции. Суточные колебания температуры и солёности небольшие (рис. 15).

Наибольшая амплитуда колебаний температуры отмечалась на поверхности ($0^{\circ},28$) и на глубине 150 м ($0^{\circ},37$), солености — на глубине 75 м ($0,12\text{‰}$) и 150 м ($0,24\text{‰}$). На глубине 1200 м амплитуда уменьшилась до $0^{\circ},04$ и $0,05\text{‰}$ соответственно. Станции 97 и 98, расположенные вдоль Алжирского побережья, выполнялись 1—2 февраля 1961 г. при

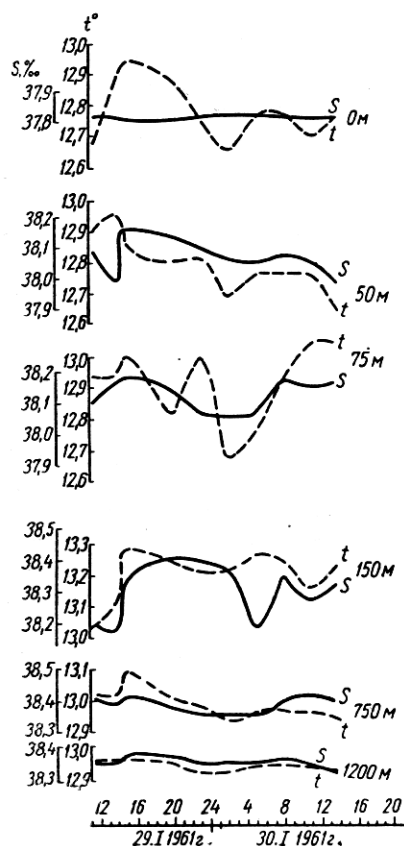


Рис. 15. Суточные колебания температуры и солености на ст. 95, расположенной между берегом Испании и Балеарскими островами, по наблюдениям 1—2 февраля 1961 г.

сильном юго-западном ветре — $10\text{—}13\text{ м/сек}$. Значительная переслоенность вод в верхнем 500—600-метровом слое остается характерной особенностью в вертикальном распределении температуры и солености. Верхний, относительно теплый и распресненный слой воды с температурой $13,86\text{—}14^{\circ},16$ и соленостью $36,79\text{—}37,01\text{‰}$ обусловлен поступлением атлантической воды.

Для западной половины Средиземного моря температура воды на поверхности в конце января 1961 г. колебалась в пределах $12,70\text{—}14^{\circ},06$, а соленость — в пределах $36,77\text{—}38,08\text{‰}$. Более низкая температура ($12,70\text{—}13^{\circ},34$) и несколько повышенная соленость ($37,74\text{—}38,08\text{‰}$) наблюдались вдоль Испанского побережья (ст. 93—95). На крайней северной станции, расположенной близко к западному району Лионского залива (ст. 93), отмечалась довольно мощная прослойка холодной и распресненной воды на глубине 100 м с температурой $12^{\circ},25$ и соленостью $37,76\text{‰}$. Это самая низкая температура воды, которая была нами отмечена в западной половине Средиземного моря. Несколько юго-западнее, на ст. 94, наблюдались две прослойки холодной воды на глубинах 75 и 150 м с температурой $12,68$ и $12^{\circ},91$ и соленостью $38,10\text{‰}$ и $38,25\text{‰}$. На ст. 95, расположенной в северо-западном районе Ибрийского моря, небольшое понижение температуры до $12^{\circ},93$, $13^{\circ},03$, и $12^{\circ},95$ преследовалось на глубинах 100, 300 и 750 м соответственно. На рис. 16 и 17 представлены

вертикальное распределение температуры и солености и T—S кривые по наблюдениям в январе 1961 г. для отдельных районов Алжиро-Прованского бассейна. Эти кривые позволяют проследить, как меняются характеристики вод холодной прослойки по пути движения их с северо-востока на юго-запад вдоль берегов Испании. В северо-западном районе моря на ст. 93 и 94 уменьшение температуры совпадает с минимумом солености. Уменьшение солености в слое минимума температуры дает основание предположить, что эти воды образовались в процессе охлаждения несколько распресненных материковым стоком прибрежных вод. Охлажденные воды сползают по материковому склону до глубины, где вода соответствует их плотности и увле-

каются к юго-западу циклонической системой течений, господствующей, по данным Металло (1958), зимой в этом районе моря.

Расположение холодного и несколько распресненного слоя воды над более теплыми и солеными водами левантийского происхождения

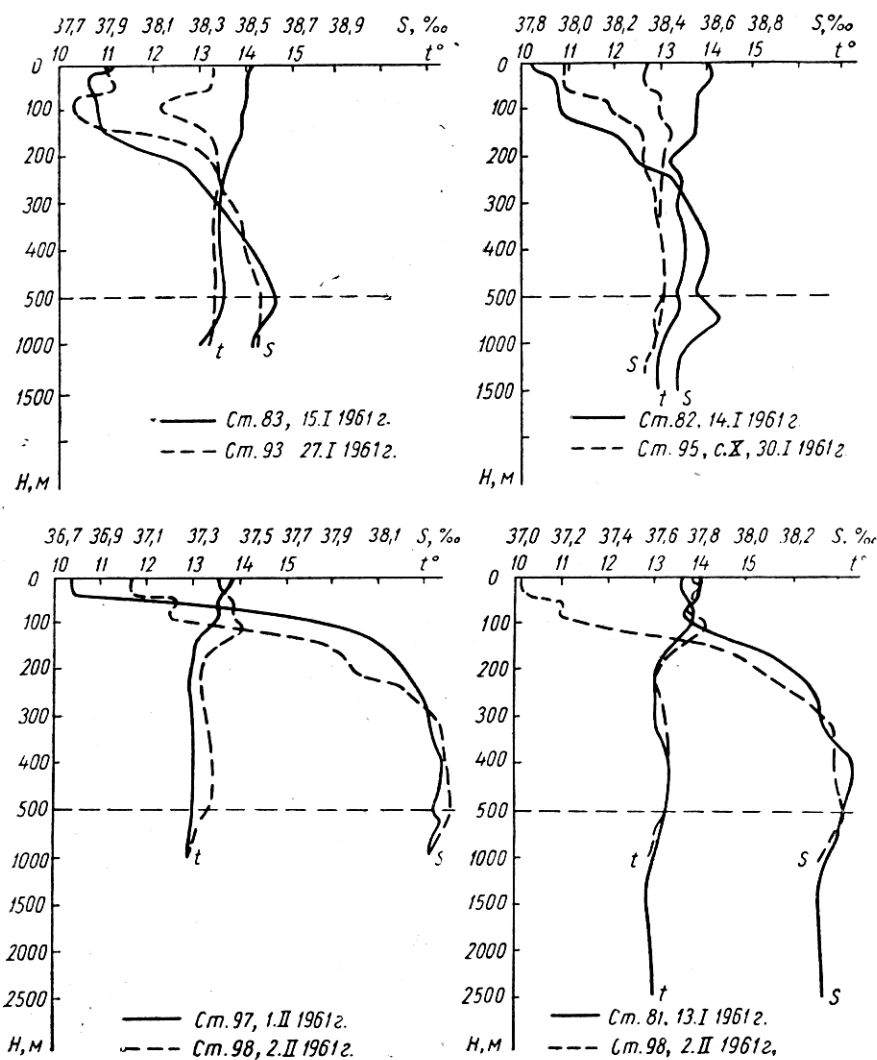


Рис. 16. Вертикальное распределение температуры и солености для разных районов Алжиро-Прованского бассейна по наблюдениям в январе—феврале 1961 г.

оказывается благоприятным для их перемешивания, так как некоторое нагревание менее соленых вод вышележащего слоя и охлаждение относительно соленых вод, лежащих под ним, сопровождается конвекционным перемешиванием. В Алжиро-Прованском бассейне зимние наблюдения проводились на э/с «Эли Монье» в марте 1954 и 1955 гг. (по разрезу от Алжира до Прованса по 6-му меридиану восточной долготы и от м. Бона на Тулон), кроме того, в середине апреля 1957 г.

на этом же судне выполнены наблюдения на выходе из Лионского залива. Поскольку наши наблюдения проводились вдоль берегов Испании, где не было зимних наблюдений, интересно сопоставить лишь данные ст. 93, выполненной 27 января 1961 г., с первой крайней западной станцией «Эли Монье», выполненной в середине апреля 1957 г.

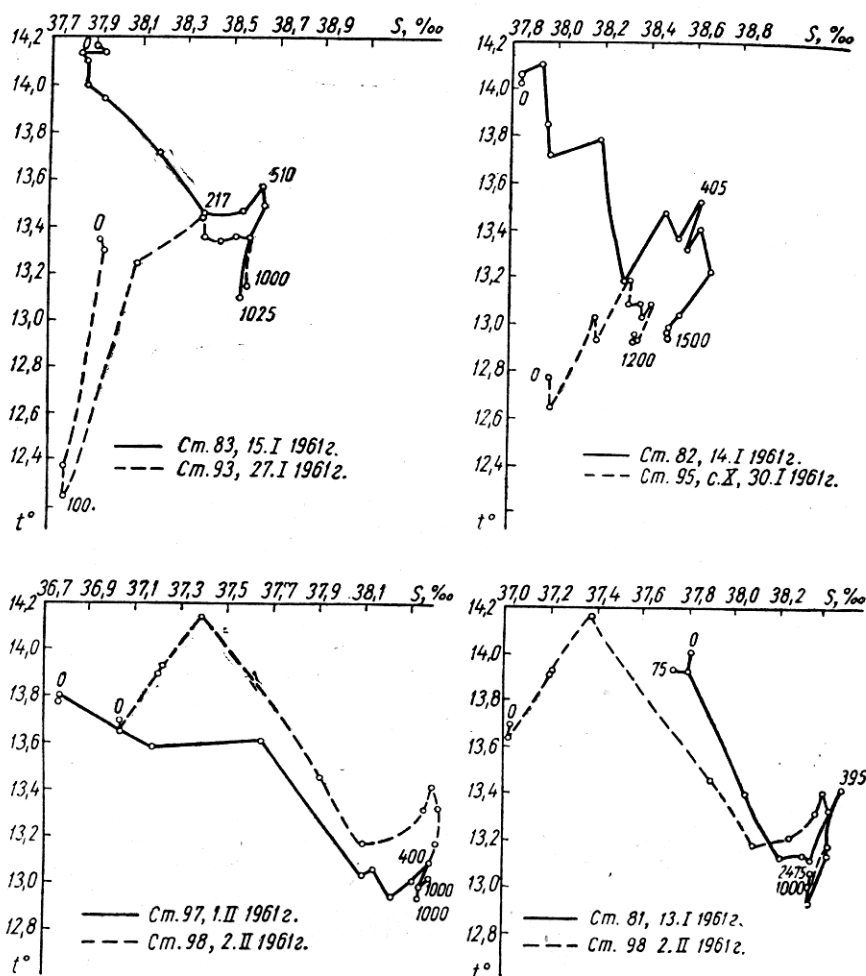


Рис. 17. Т—S кривые для разных районов Алжира-Прованского бассейна по наблюдениям в январе — феврале 1961 г.

На поверхности температура и соленость воды почти одинакова на обеих станциях ($13,34$ — $13,01$ и $37,92$ — $38,08$ ‰). В слое минимума температуры на ст. 93 как температура, так и соленость были ниже, чем на ст. 1, — соответственно $12,25$, $37,77$ ‰ и $12,46$, $38,19$ ‰. В слое же максимума солености, наоборот, температура и соленость были выше — соответственно $13,34$, $38,57$ ‰ и $12,88$, $38,47$ ‰. По-видимому, холодная несколько распресненная вода промежуточного слоя, наблюдаемая на глубине 100 м на ст. 93, пришла не из Лионского залива, а от берегов Испании.

Собранные нами наблюдения и их анализ позволяют сделать следующее заключение. В теплые зимы 1960/61 и 1961/62 гг. процессы конвекционного перемешивания как в восточной, так и западной половине Средиземного моря были развиты слабо. Характерной особенностью в вертикальном распределении температуры и солёности являлась значительная переслоенность водных масс. Формирование холодной воды промежуточных слоев, располагающихся в западной половине моря над солеными водами, происходит не только в северных районах моря, но и у северо-восточного побережья Испании. В декабре—январе 1960/61 г. в западной половине Средиземного моря не наблюдалось четко выраженных условий, необходимых для формирования глубинных вод. Однако низкие температуры воды на поверхности при относительно высокой солёности, наблюдаемые в начале зимы в Лигурийском море и в северном районе Тирренского моря, дают основание высказать предположение, что в феврале — марте особенно в суровые зимы в этих районах также формируются глубинные воды.

ЛИТЕРАТУРА

- Георгиев Ю. С., 1964, Некоторые особенности метеорологических условий в Средиземном море зимой 1960/61 г., Тр. Севаст. биол. ст., т. XVII.
- Шлямин Б. А., 1949, Гидрометеорологическая характеристика Средиземного моря, Тр. ГОИН, вып. 13/25.
- Bulletin Hydrographique p. l'année 1948, Conseil Perm. Intern. p. l'explor. de la Mer, 1952.
- Hann J., 1908, Das Problem der Vertikalen Temperaturverteilung im östlichen Mittelmeer. M. Z., 43.
- Lacombe H. et Tchernia P., 1958, Temperatures et salinités profondes en Méditerranée en période d'été (fin juin-octobre), Bull. Inform. X Année, № 4.
- Lacombe H. et Tchernia P., 1960, Quelques traits généraux de l'hydrologie méditerranéenne Comité central d'océanographie et d'étude des côtes (C. O. E. C.), Cahiers océanographiques. XII Année, № 8.
- Metallo A., 1958, Meccanismo della circolazione superficiale del Mediterraneo, Riv. marittima, 92, № 1.
- Nathansohn A., 1910, Proposition pour l'exploration océanographique de la Méditerranée occidentale, Bull. Inst. Océan., Monaco, № 163.
- Nielsen J. N., 1912, Hydrography of the Mediterranean and adjacent waters, Rep. Dan. Oceanogr. Exped. 1908—1910, vol. 1, Copenhagen.
- Pollak M. J., 1951, The sources of deep water of the Eastern Mediterranean Sea, Journ. Marine Res., 10.
- Schott G., 1915, Die Gewässer des Mittelmeeres, Ann. Hydrogr. u. Marit. Meteorol., 43, 1.
- Tchernia P., 1958, L'eau intermédiaire dans le bassin Algéro-Provençal. Bull. Inform. (C. O. E. C.) X Année, № 1.
- Tchernia P. et Saint-Guilly, 1959, Nouvelles observations hydrologiques d'hiver en Méditerranée occidentale, Cahiers Océanogr. (C. O. E. C.) XI Année, № 7.
- Tchernia P., 1960, Hydrologie d'hiver en Méditerranée occidentale, Cahiers Océanogr. (C. O. E. C.) XII Année, № 3.
- Wüst G., 1960, Die Tiefenzirkulation des Mittelländischen Meeres in den Kernschichten des Zwischen- und des Tiefenwassers, Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Jahrgang 13, Heft 3.
- Wüst G., 1961, Das Bodenwasser und die Vertikalzirkulation des Mittelländischen Meeres, Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Jahrgang 14, Heft 3.