

**БУКСИРУЕМЫЙ, СКАНИРУЮЩИЙ
ПО ГЛУБИНЕ КОМПЛЕКС МГИ 9201М
И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ
ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ СЪЕМКИ
ЗАЛИВОВ ЧЕРНОМОРСКОГО
ПОБЕРЕЖЬЯ УКРАИНЫ**

**Карнаушенко Н.Н., Блинков В.А.,
Лобачев В.Н., Тютюнов А.П.**

**Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2**

Заливы Черноморского побережья Крыма, также как заливы и эстуарии Азово-Черноморского побережья Украины - одни из наиболее антропогенно и техногенно нагруженных зон прибрежной полосы моря с интенсивными и специфическими гидродинамическими процессами, обусловленными орографией берегов, особенностями рельефа и малыми глубинами, динамикой атмосферы, речным стоком, взаимодействием с водами шельфа и открытого моря.

Информация о состоянии и прогноз состояния заливов практически важны, так как здесь расположены крупные города и поселки с высокой концентрацией населения, лечебно-оздоровительные учреждения. Это центры морских транспортных перевозок и хозяйственной деятельности; это районы прибрежного рыболовства и воспроизведения рыбных запасов.

В международном черноморском ГУСе заливам Азово-Черноморского побережья уделяется мало внимания, что связано с тем, что другие страны региона (Россия, Румыния, Болгария, Турция, Грузия) не имеют таких особенностей побережья, как Украина.

Анализ первичной и опубликованной информации по указанным заливам, полученной мореведческими организациями региона в 1975-1991 гг., в период выполнения программы ОГСНК (общегосударственная служба наблюдения и контроля), показал резкое изменение состояния заливов по гидрооптическим, гидрохимическим полям и особенно по загрязнению токсичными химическими соединениями и элементами [1,2].

После прекращения в 1992 г. программы ОГСНК и при крайне ограниченных возможностях министерств, ведомств Украины, организаций Азово-Черноморского региона

продолжать работы по контролю и прогнозу состояния заливов и эстуариев, предотвращению ущерба от хищнической эксплуатации их ресурсов, регулированию хозяйственной деятельности особенно важны задачи создания экономичной и эффективной оперативной системы контроля за полями и процессами в данных регионах.

В современных условиях ограниченного финансирования и использования новых экспериментальных и теоретических возможностей в МГИ НАН Украины создана концепция, предложены и проходят экспериментальную проверку элементы системы контроля за заливами и эстуариями на базе комбинирования современных экспрессных методов экспедиционных, прибрежных, гидрометеорологических наблюдений с дистанционными (спутниковыми) наблюдениями, использования моделирования и новых методов анализа совокупной информации высокого пространственного и временного разрешения.

В данной работе анализируются используемые в МГИ методы и результаты экспрессных экспедиционных съемок заливов Крымского побережья с высоким пространственно-временным разрешением. Такие съемки выполняются на ходу малотоннажного судна с малой осадкой с помощью буксируемого, сканирующего по глубине гидролого-оптического комплекса МГИ 9201М. Комплекс МГИ 9201М разработан в 1980-85 гг., прошел государственные испытания в 1985 г., модернизирован в 1994, 1998 гг., используется в экспедициях МГИ с 1987 г.

Методология экспедиционных работ с комплексом МГИ 9201М в заливах Черноморского побережья Украины, особенно в мелководных заливах с большой площадью акватории, сложными орографией берегов и рельефом дна (Каркинитский, Каламитский, Одесский) и заливах южного побережья Крыма (Ялтинский, Алушкинский, Гурзуфский, Алуштинский, Феодосийский и т.д., для которых характерно наличие мысов с выходом скальных пород на шельф, перепад глубин и сложный рельеф на континентальном склоне) различна и резко отличается от работ в открытой части моря или океана.

Основная особенность мелководных заливов с большой площадью акватории - высокая изменчивость полей под воздействием атмосферных процессов, вследствие чего структура полей в них нестационарна; фак-

тически существует режим непрерывного инерционного слежения полей заливов: термодинамических, плотности, скорости, гидрохимических и др. за изменчивостью поля ветра. В таких условиях выполнить синхронную пространственную съемку заливов большой площади (Каламитский, Каркинитский, Одесский) с высоким разрешением возможно только в короткий промежуток времени при установившемся поле ветра; столь же нетрадиционной задачей пространственно-временного разделения полей при квазисинхронной или несинхронной съемке.

Выполненный нами анализ гидрологической, гидрооптической гидрохимической информации мореведческих организаций черноморского региона за 1924-1994 гг., содержащихся в банке данных МГИ, показал, что за указанный период с использованием традиционных методов съемки (зондирование на станциях) не было выполнено ни одной синхронной или квазисинхронной съемки Каркинитского и Каламитского заливов с высоким пространственно-временным разрешением.

Практическая необходимость таких съемок (горизонтальное разрешение < 1 км, вертикальное < 0.1 м) - очевидна, поскольку такая информация позволяет контролировать не только динамику полей, но и возникновение, миграцию горизонтальных фронтальных зон, регулирующих водообмен, загрязнение, самоочистку и вентиляцию вод заливов. Подчеркнем, что указанное разрешение достижимо при теоретическом численном моделировании динамики вод и изменчивости термодинамических полей заливов (по данным съемки поля плотности). С горизонтальным разрешением < 1 км возможна интерпретация данных СВЧ, ИК и оптических спутниковых сканеров, а совокупная информация, включая прибрежные гидрометеонаблюдения, позволяет создать систему контроля и прогноза изменчивости вод заливов.

При высокоразрешающей съемке заливов расположение разрезов, их число, расстояние между разрезами, частота сканирования комплекса МГИ 9201М по глубине, скорость хода судна определяются условиями съемки, главные из которых: орография берегов, неоднородность рельефа дна, метеоусловия, возможность судовых эхолотов (безопасность судна и комплекса МГИ 9201М при съемке на мелководье), возмож-

ности навигационных систем. При таких съемках необходим прогноз и контроль поля ветра над заливом.

Для иллюстрации возможностей комплекса МГИ 9201М выполним анализ съемок Каламитского залива и микрополигона у мыса Айя: октябрь 1997 г., 5-й рейс э/с "Эксперимент".

Съемка Каламитского залива была выполнена в 5-м экспедиционном рейсе э/с "Эксперимент" в период с 15 ч. 47 м. 19 октября по 16 ч. 25 м. 20 октября 1997г. На акватории залива буксируемым управляемым по глубине комплексом МГИ 9201М было выполнено 10 разрезов протяженностью от 9 до 17 миль, ориентированных в субмеридианальном и субширотном направлениях с расстоянием между разрезами от 1,2 до 1,8 мили. Площадь полигона съемки в Каламитском заливе составляет 197,6 кв. миль. Малое расстояние между разрезами и малое время непрерывной съемки полигона, не превышающее 25 час., обеспечили высокое пространственно-временное разрешение съемки.

• Особенности съемки Каламитского залива.

Съемка залива осуществлялась при постоянных, но предельных для малотоннажного судна ветро-волновых условиях: устойчивый северный ветер 12-14 м/сек с порывами свыше 15 м/сек, волнение 3,5-4 б. В этих условиях было принято решение производить съемку залива по системе разрезов, ориентированных в направлении N-S, т.е. при курсах судна по ветру и против ветра, при этом были наименьшими ветровой снос и бортовая качка судна, что позволило выдержать минимальное расстояние между разрезами, т.е. высокое пространственное разрешение и обеспечить удовлетворительную работу судового эхолота, т.к. при бортовой качке свыше 20-30° и соответствующих наклонах основного лепестка диаграммы направленности эхолота относительно дна, показания эхолота становились неустойчивыми и не обеспечивали безопасную работу сканирующего по глубине погружного буксируемого устройства комплекса МГИ 9201М. Съемка полигона была начата с прибрежного разреза, на котором была еще возможна постановка на ходу судна погружного буксируемого устройства, затем была выполнена съемка по всему внешнему периметру полигона, где

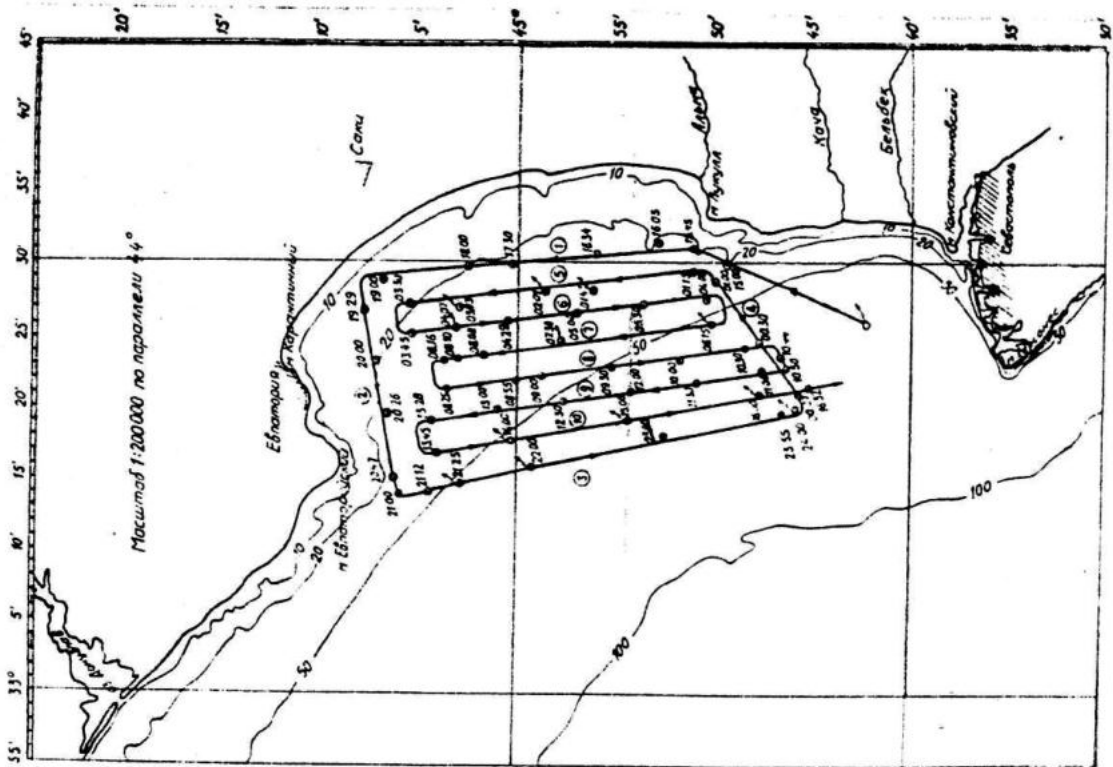


Рисунок 1 — карта съёмки каламитского полигона

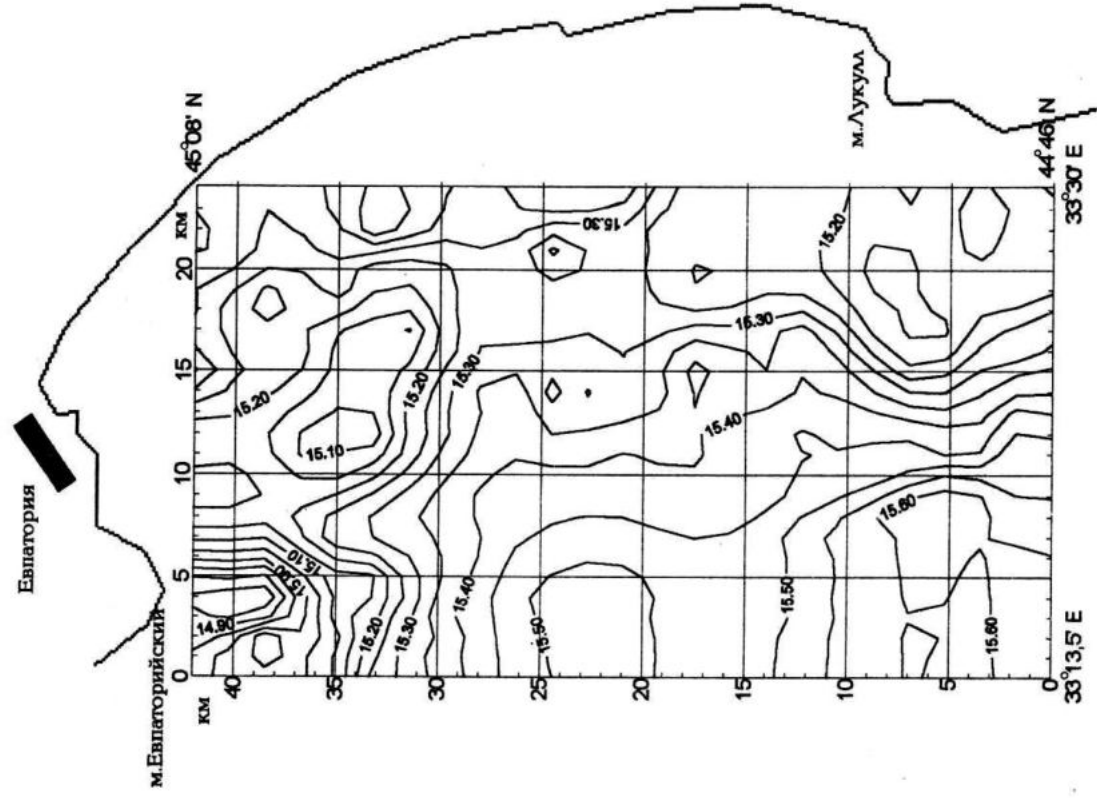


Рисунок 2 — Каламитский залив, температура (Т°С) в слое 0—6 м

ближайший к мысу Евпаторийский широтный разрез был выполнен под защитой береговой черты, а ближайший к мысу Лукулл субширотный разрез выполнялся под углом 135° к направлению ветра. На разрезах по периметру были оценены основные особенности стратификации полей в заливе, после чего съемка проводилась на системе субмеридианальных разрезов внутри периметра.

На рис.1 приведена карта съемки Каламитского залива с указанием спутниковых обсерваций навигатора GPS и времени, по которым была произведена развязка полигона съемки. На карте указаны также изобаты в районе съемки. Точками со стрелкой указаны абсолютные обсервации.

Каламитский залив представляет относительно мелководный регион западного побережья Крыма: наибольшие глубины акватории залива, ограниченной его географической границей, линией, соединяющей внешние границы мысов Лукулл и Евпаторийского, не превышают 45 м. Снятый нами полигон включал как собственно Каламитский залив, так и внешнюю часть примыкающего к заливу шельфа (до долгого мыса Херсонес) с максимальными глубинами до 80 м.

На рис. 2 приведена карта распределения температуры на Каламитском полигоне на глубине 0-6 м, построенная по результатам съемки. Диапазон 0-6 м выбран исходя из минимальных глубин съемки в северо-восточной прибрежной зоне залива, где глубины моря не превышали 10 м.

По осям абсцисс и ординат на карте приведены расстояния в км от точки отсчета, за которую принят юго-западный угол полигона. В четырех внешних точках дана координатная привязка карты.

• Особенности распределения поля температуры на Каламитском полигоне.

На полигоне выделяются три основные особенности горизонтальной стратификации поля температуры:

1.Наличие неоднородных зон пониженной температуры в северной части полигона в виде вытянутых языков с перепадом температуры в них $15.05-14.85^\circ\text{C}$, $15.20-15.15^\circ\text{C}$ и повышенной градиентностью зоны понижения температуры в северной части полигона. Локальные зоны пониженной температуры - языки и особенно язык на северо-западной, внешней границе залива, у мыса Евпаторийский - имеют повышенные

величины горизонтальных градиентов температуры до $0.12-0.15^\circ\text{C}/\text{км}$ в E-W и N-S направлениях.

2.Наличие вод повышенной температуры ($T=15.40-15.60^\circ\text{C}$) в юго-западной части полигона(SW), занимающих по изотерме $T=15.40^\circ\text{C}$ около 30% площади полигона, вытянутых в направлении S-N; эти воды образуют резкие температурные фронты с водами пониженной температуры в северной части полигона (SE). Воды SE части полигона с пониженной температурой (изотерма $\approx 15.20^\circ\text{C}$) расположенные в части полигона, примыкающей к мысу Лукулл, образуют в широтных направлениях градиентную зону с перепадами температуры от 15.20°C до 15.60°C на расстоянии 7 км.

3.На остальной части полигона температурное поле однородно в пределах $15.30-15.35^\circ\text{C}$.

Отметим также, что зоны повышенных градиентов температуры воды на полигоне расположены вблизи мысов Евпаторийского на севере, Лукулл на юге, а также вблизи зоны г. Евпатория.

Для интерпретации отмеченных особенностей распределения температурного поля на Каламитском полигоне проанализируем далее карту распределения показателя ослабления PO1 на полигоне, рис.3.

Карта построена аналогично карте поля температуры для интервала глубин 0-6 м по данным всех выполненных на полигоне разрезов.

• Особенности распределения (горизонтальной стратификации) поля PO1 в Каламитском заливе.

В северной части залива вдоль побережья от мыса Евпаторийский до г.Евпатория выделяется зона вод повышенной мутности ($PO1 > 0.42 \text{ м}^{-1}$), внутри которой контрастно выделяются два отдельных языка более мутных вод ($PO1 \sim 0.49-0.5 \text{ м}^{-1}$), расположенных против мыса Евпаторийского и г. Евпатория.

Зона вод повышенной мутности контрастируется как по расположению изолиний PO1, так и по увеличению в 2-3 раза локальных градиентов PO1.

Наиболее резко контрастируется язык мутных вод, распространяющихся от Евпатории в южном направлении, прослеживающийся на расстояние >15 км как узкая, шириной 5-6 км, зона максимальных гори-

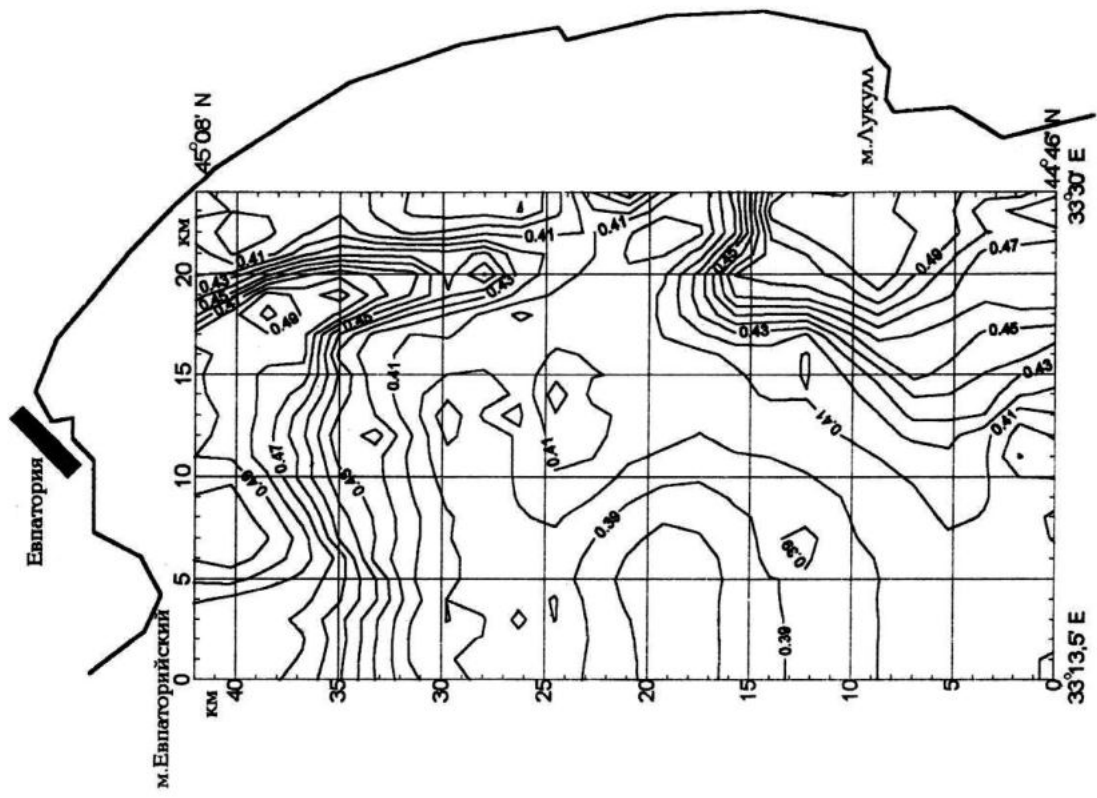


Рисунок 3 — Каламитский залив, показатель ослабления ($PO1\ m^{-1}$) в слое 0 — 6 м

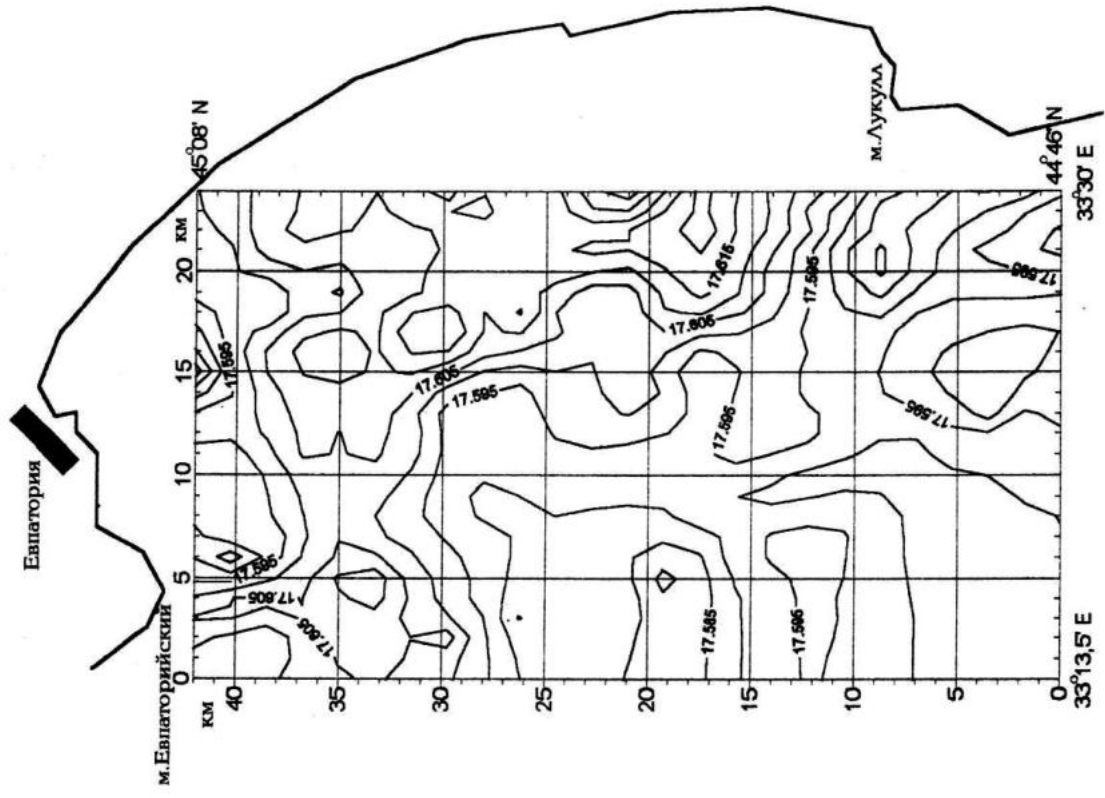


Рисунок 4 — Каламитский залив, соленость (‰) в слое 0 — 6 м

зонтальных градиентов PO_1 , достигающих здесь значений $grad PO_1 \sim 0.02 - 0.03 \text{ м}^{-1}/\text{км}$ при перепадах величин PO_1 на границах языка $0.41-0.48 \text{ м}^{-1}$. Градиенты PO_1 на границах зоны мутных вод, расположенной западнее Евпаторийского языка мутных вод и проходящей практически параллельно линии берега от м. Евпаторийский до г. Евпатория, значительно меньше ($grad PO_1 \sim 0.008 \text{ м}^{-1}/\text{км}$) при том же перепаде величины PO_1 $0.41-0.48 \text{ м}^{-1}$. Другая зона вод повышенной мутности выделяется в южной - юго-восточной части полигона, эта зона расположена напротив мыса Лукулл. Максимальные значения мутности вод здесь достигают $0.49-0.51 \text{ м}^{-1}$. Зона также резко контрастирует по повышенным градиентам PO_1 (достигающим максимума в северной части этой зоны ($grad PO_1 \sim 0.015-0.02 \text{ м}^{-1}/\text{м}$)) и уменьшающимся к юго-юго-западу. Эта зона, также как и зона на севере полигона контрастируется и по перепадам PO_1 , достигающая здесь величин PO_1 от 0.41 до 0.51 м^{-1} .

Центральная же и юго-западная части залива - большая его часть - занята более прозрачными водами ($PO_1 < 0.39 \text{ м}^{-1}$), распространяющимися на залив с юго-запада (SW), причем зона распространения этих вод четко оконтуривается изолинией $PO_1 = 0.41 \text{ м}^{-1}$, а максимум прозрачности вод в этой зоне $PO_1 = 0.38 \text{ м}^{-1}$ расположен на западе в центральной части полигона.

Проанализируем далее карту распределения солёности для глубины 0-6 м, построенную для Каламитского полигона аналогично картам T и PO_1 , рис. 4. Карта распределения солёности в основных особенностях повторяет карты распределения полей T и PO_1 , при этом относительная величина изменения солёности на полигоне гораздо ниже, чем относительные изменения $\Delta T/T_{\text{ср}}$ и, особенно $\Delta PO_1/(PO_1)_{\text{ср}}$.

Уменьшение солёности на полигоне наблюдается в 2-х зонах: в зоне мутных вод вдоль северного побережья от мыса Евпаторийский до г. Евпатория также в виде двух языков, перепад солёности у мыса Евпаторийский $S \sim 17.56-17.60 \text{ ‰}$, а в языке от г. Евпатория на юг $S \sim 17.56-17.60 \text{ ‰}$. Вторая зона пониженной солёности с перепадом $S \sim 17.57-17.59 \text{ ‰}$ расположена у мыса Лукулл. Вдоль северо-восточной части полигона (NE) пятнистой полосой распо-

ложена зона вод повышенной солёности относительно средней солёности вод полигона $S \sim 17.60-17.61 \text{ ‰}$. Юго-западная часть полигона занята однородными по солёности водами $S = 17.59 \text{ ‰}$ и лишь в центре западной части полигона прослеживается область вод с солёностью 17.58 ‰ .

Для более полной интерпретации особенностей распределения полей T, PO_1, S на полигоне нами использованы также результаты теоретического численного моделирования циркуляции и термохалинной структуры вод Каламитского залива, выполненные д.ф.-м.н. Шапиро Н.Б. Модельные расчеты поля скорости течений и поля температуры выполнены на горизонтах 0.5 и 6.5 м после суток воздействия на полигон устойчивого северо-восточного ветра (NE) скоростью 15 м/сек и начальной температуры на поверхности залива 18°C , т.е. расчетные условия близки к условиям съемки Каламитского полигона. Результаты комплексного анализа позволяют сделать следующие выводы.

При воздействии на Каламитский залив северного и северо-восточного ветров (N, NNE и NE) интенсивностью 10 м/сек и выше, длительностью сутки и более вдоль северного побережья залива возникают стонные процессы, которые из-за мелководности северной части залива (глубина $< 25 \text{ м}$) не вызывают подъема глубинных вод, но осуществляют стон поверхностных вод залива к югу, при этом к поверхности поднимаются придонные более мутные воды (грунт залива на глубинах $\sim 15-20 \text{ м}$ илисто-песчаный) с глубины $15-20 \text{ м}$, которые под действием дрейфовых течений распространяются в виде языков на юг. При этом восточный (Евпаторийский) язык наиболее мутных вод формируется не только из придонных вод апвеллинга, но и хозяйственно-бытовых вод Евпаторийского выпуска, а также ливневых вод региона города, поэтому он наиболее резко контрастирует в полях PO_1 и T . Отрицательный контраст в зоне апвеллинга в поле солёности - понижение, а не повышение солёности - здесь обусловлен мелководностью залива, т.е. отсутствием подтока более солёных глубоководных вод и тем, что апвеллингом захватываются распресненные воды берегового ливневого стока и стока хозяйственно-бытовых вод.

В юго-восточной части залива, у мыса Лукулл, также возникает зона апвеллинга,

вызванная резким изломом береговой черты, эта зона резко контрастируется как воды повышенной мутности, понижения температуры и солености, причем в формировании этой зоны участвуют не только придонные воды, но и воды речного стока реки Альма.

Существование по данным съемки обширной зоны вод в юго-западной части полигона с более высокой температурой, более прозрачных и с несколько пониженной соленостью не вытекает из результатов моделирования, наоборот, судя по этим результатам, зоны внешних вод в заливе при N-NE ветре быть не должно. Для получения ответа на этот вопрос мы привлекли спутниковую карту температуры поверхностных вод (ТПО) за вторую половину октября 1997г. - ближайшую к дате съемок залива, полученную при благоприятных условиях облачности. По данным съемки ИСЗ юго-западнее полигона существовала обширная область, занятая консервативным антициклоническим вихрем, периферия этого вихря захватывала юго-западную часть полигона. Вихрь принесил на южную - юго-западную часть полигона съемки более теплые и прозрачные воды с юга северо-западной части Черного моря. Подтверждением сказанному являются также данные о заглублинии изотерм, изохалин, изолиний PO1 и σ_t с севера на юг на внешних разрезах №3 и №10 полигона, которые анализируются далее рис.5-11. Отметим также, что в северо-восточной части полигона восточнее Евпаторийского языка вод высокой мутности существует вытянутая вдоль восточной границы полигона полоса вод с большей прозрачностью ($PO1 < 0.4-0.39 \text{ м}^{-1}$), более высокой температурой ($T \approx 15.35^\circ\text{C}$) и большей соленостью ($S \approx 17.61\text{‰}$). Существование этих экспериментально обнаруженных вод, которые являются хорошей разделительной зоной для прибрежной зоны от вод хозяйственно-бытового стока, при неблагоприятном ветре не может быть объяснено результатами моделирования.

- Проанализируем далее особенности вертикальной стратификации полей T, S, PO1, σ_t на разрезах в Каламитском заливе.

В отличие от общепринятых типовых разрезов, которые строятся по данным вертикального зондирования полей с судна, стоящего (фактически дрейфующего) на

океанографической станции, нами для построения разрезов в изолиниях по данным сканирующего по глубине с движущегося судна прибора использовались реальные, наклонные профили зондирования, при этом каждая точка измерений на таком профиле привязывалась к координатам и глубине. Данная методика использовалась для построения полей T, S, PO1, σ_t на всех разрезах залива.

- Результаты анализа особенностей полей T, S, PO1, σ_t на разрезах.

Съемка на разрезе №3 выполнена при движении судна с севера на юг, поэтому начало отсчета расстояний (0) - крайняя северная точка разреза.

Особенности стратификации поля температуры на разрезе №3, рис. 5. Сезонный термоклин (изотермы 15°C и 8°C) имеет переменную глубину залегания и структуру по длине разреза: в северной части разреза (0-12 км) глубина его залегания практически постоянна (26-30 м), верхняя часть термоклина ($14^\circ\text{C}-15,45^\circ\text{C}$) -неоднородна. В южной части разреза (14-28 км) термоклин заглубляется от 26-30 до 37-40 м, верхняя часть термоклина имеет повышенные вертикальные градиенты температуры - термоклин смещен вниз более-теплыми водами, распространяющимися на полигон с SW. Верхний квазиоднородный слой (ВКС): глубина залегания его нижней границы изменяется от 25 м на севере разреза до 37 м на юге, т.е. теплозапас ВКС увеличивается к югу в 1,5 раза, поскольку изменение температуры в ВКС по длине разреза - незначительно. В температурном поле северного (начального) участка разреза начавшийся за сутки до съемки полигона под действием северного ветра сгон проявляется в наличии вертикально расположенных изотерм и уменьшении градиентов в верхней части сезонного термоклина - начальной стадии разрушения сезонного термоклина. Температурное поле на разрезе ниже сезонного термоклина отражает структуру пограничного (в данном случае придонного) слоя между нижней границей сезонного термоклина (изотерма 8°C) и верхней границей холодного промежуточного слоя (ХПС): значения температуры и ее вертикальные градиенты здесь уменьшаются вплоть до дна (54-78 м), но не достигают минимальной температуры ХПС.

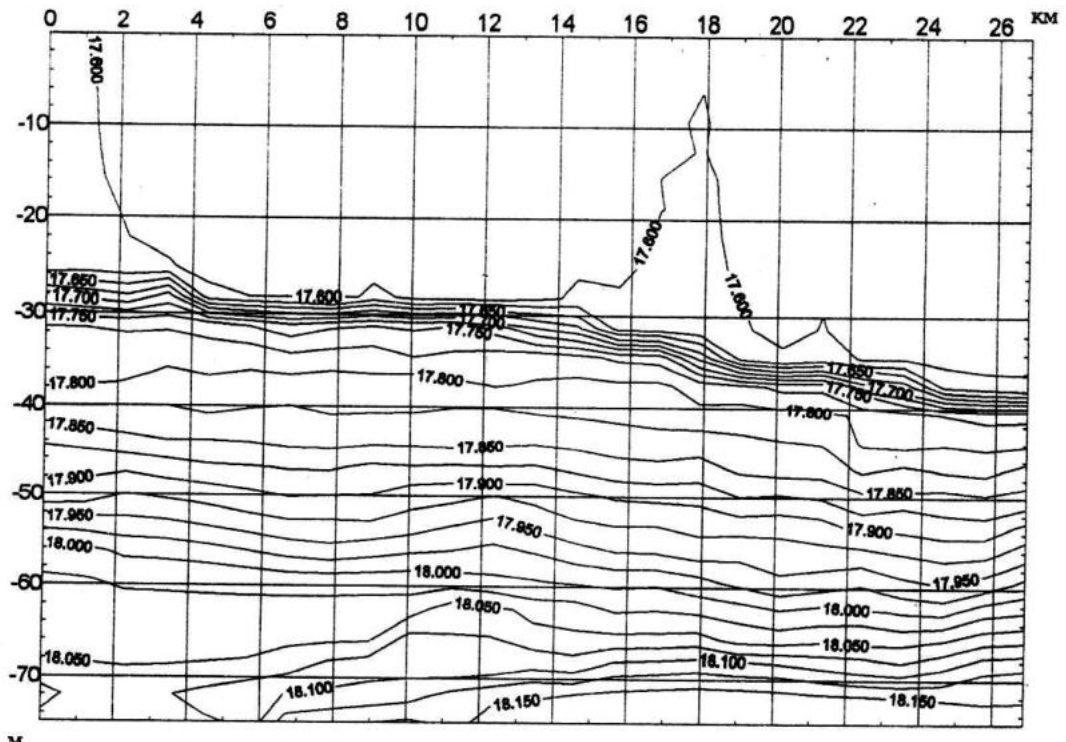


Рисунок 6 — Каламитский залив. Изохалины (S‰), разрез 3

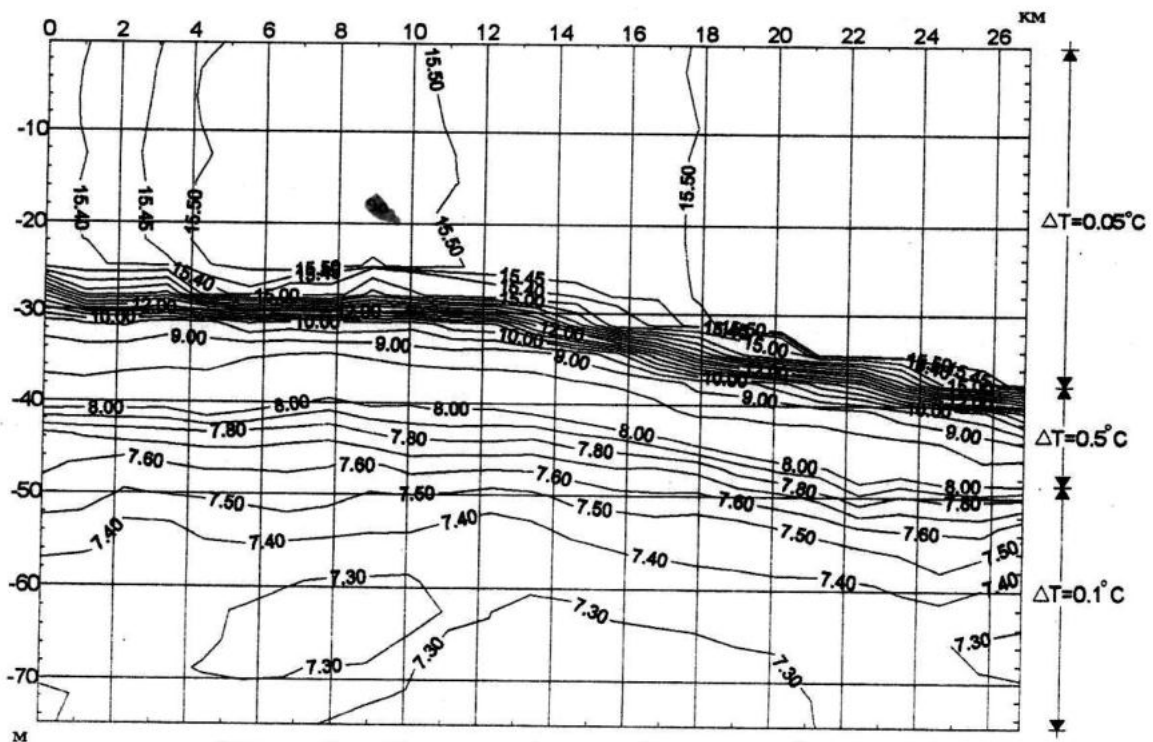


Рисунок 5 — Каламитский залив. Изотермы (T°C), разрез 3

Особенности стратификации поля солености на разрезе №3, рис. 6. Положение галоклина на разрезе практически совпадает с положением сезонного термоклина (границы галоклина изохалины: 17.63‰ - верхняя, 17.77‰ - нижняя); глубины залегания границ галоклина в северной части разреза 26-34 м, в южной - 36-39 м. Глубина залегания галоклина в северной части разреза (0-12 км) - постоянна, от центральной части к югу - увеличивается подобно увеличению глубин сезонного термоклина. Распределение солености в ВКС: она практически однородна по всей длине разреза, исключая северную и центральную границы. Заглубление изохалин как и изотерм к югу разреза отражает факт вторжения более теплых шельфовых вод практически равной полигонным водам солености с SW. Соленость подгалоклинных вод практически монотонно (с равными вертикальными градиентами) возрастает к придонному слою, где возникают придонные неоднородности, связанные с изменением рельефа дна (как и в поле температуры).

- Особенности стратификации поля показателя ослабления PO1 на разрезе №3, рис.7.

Воды ВКС имеют, как отмечалось при анализе карт, существенно большую мутность ($PO1 \geq 0.38 \text{ м}^{-1}$), нежели подтермоклинные воды ($PO1 \leq 0.3 \text{ м}^{-1}$). Воды повышенной мутности занимают весь слой ВКС, вплоть до верхней границы сезонного термоклина и галоклина. Поле PO1 в ВКС имеет горизонтальные особенности стратификации, отмеченные при анализе карт. В зоне сезонного термоклина и галоклина также существует резкий горизонтальный скачок оптических свойств - горизонтальная граница между мутными поверхностными и подповерхностными водами ВКС и более прозрачными водами, горизонтальные градиенты PO1 здесь изменяются в пределах $\text{grad PO1} \sim 0.001-0.0024 \text{ м}^{-1}$, при перепаде PO1 от 0.38 м^{-1} до 0.3 м^{-1} . На разрезе №3, рис. 8, отражены особенности стратификации поля плотности σ_t ; здесь же построены траектории сканирования по глубине погружного устройства комплекса МГИ 9201М. Отметим, что в зоне сезонного термоклина и галоклина перепад σ_t составляет от 12.54 до 13.66 усл.ед. и $\text{grad } \sigma_t \sim 0.22 \text{ ед./м}$. При таких величинах перепадов плотности прямой

вертикальный водообмен через эту зону крайне мал, что и является причиной образования градиентов S и PO1 в зоне сезонного термоклина. Отметим также, что в отличие от Ялтинского залива, где источником мутных прибрежных вод является речной и терригенный сток, в Каламитском заливе нет интенсивного речного стока, кроме юго-восточной части залива у мыса Лукулл (р.Альма). Поэтому основными источниками образования мутных прибрежных вод здесь являются: поступление донной взвеси из илисто-песчаных грунтов при активизации динамических процессов на мелководье (течения, волны, апвеллинг), а также рассеянный терригенный и хозяйственно-бытовые стоки.

В заключение рассмотрим кратко особенности стратификации полей T,S, σ_t на разрезе №10, расположенном ближе к побережью и на меньших глубинах, нежели разрез №3, карта, рис.1. На рис. 9, 10, 11 показаны изолинии полей T,S, σ_t на разрезе №10. Начало отсчета расстояний на разрезе №10 - от северного побережья залива, т.е. так же как на разрезе №3.

Особенности стратификации полей T,S, σ_t на разрезе №10 практически повторяют особенности стратификации этих полей на разрезе №3. Разница заключается в следующем. Более четко прослеживается сгон в полях T,S в ВКС. При приближении к побережью, из-за уменьшения глубин уменьшается однородность структуры полей T,S, σ_t под сезонным термоклином, галоклином и горизонтальным плотностным барьером. Сохраняются: структура и изменение глубины залегания полей T,S, σ_t на разрезе.

Заключая, отметим главные особенности структуры полей T,S, PO1, σ_t на полигоне съемки, существенно влияющие на динамику загрязнений, внешний и внутренний водообмен в Каламитском заливе в осенний период.

- 1.Сезонный термоклин, галоклин и плотностной барьер непрерывны на всей площади снятого полигона и на глубинах от 26 до 35-40 м практически без разрушения свойств стыкуются с грунтом при приближении к берегу и уменьшении глубины.

- 2.Поскольку границей стратифицированных вод на полигоне по результатам съемки явились глубины от 25-30 м на севере до 30-37 м на юге, и изобата 35 м разде-

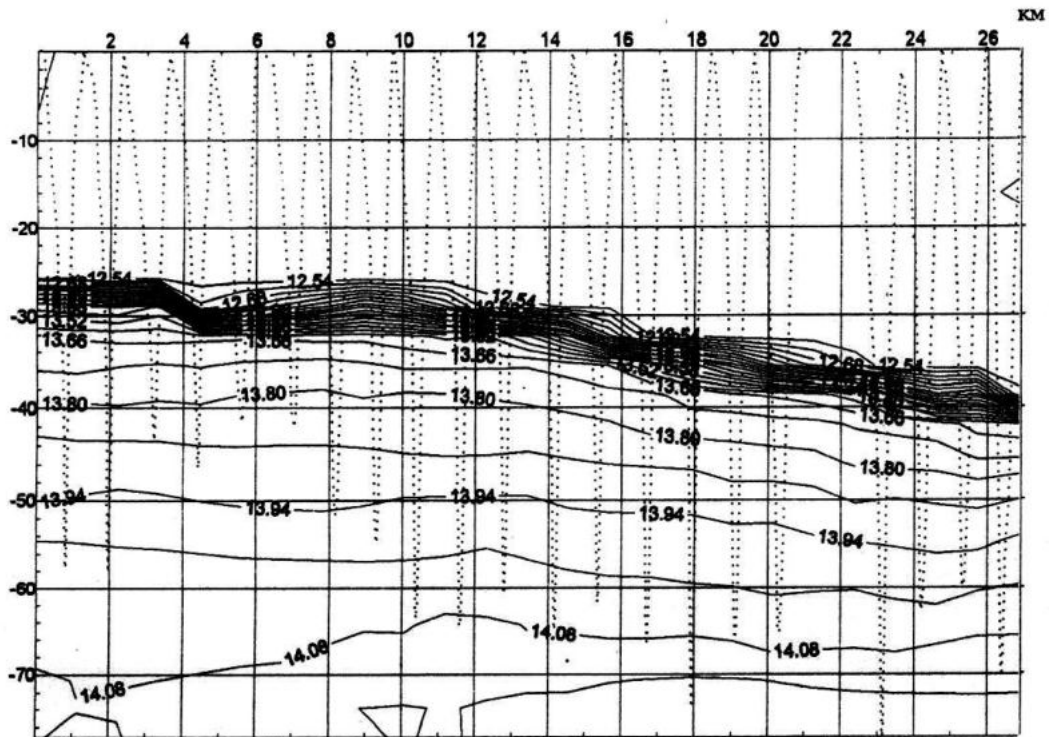


Рисунок 8 — Каламитский залив, изолинии плотности (σ_t у.е.), траектории сканирования по глубине, разрез 3

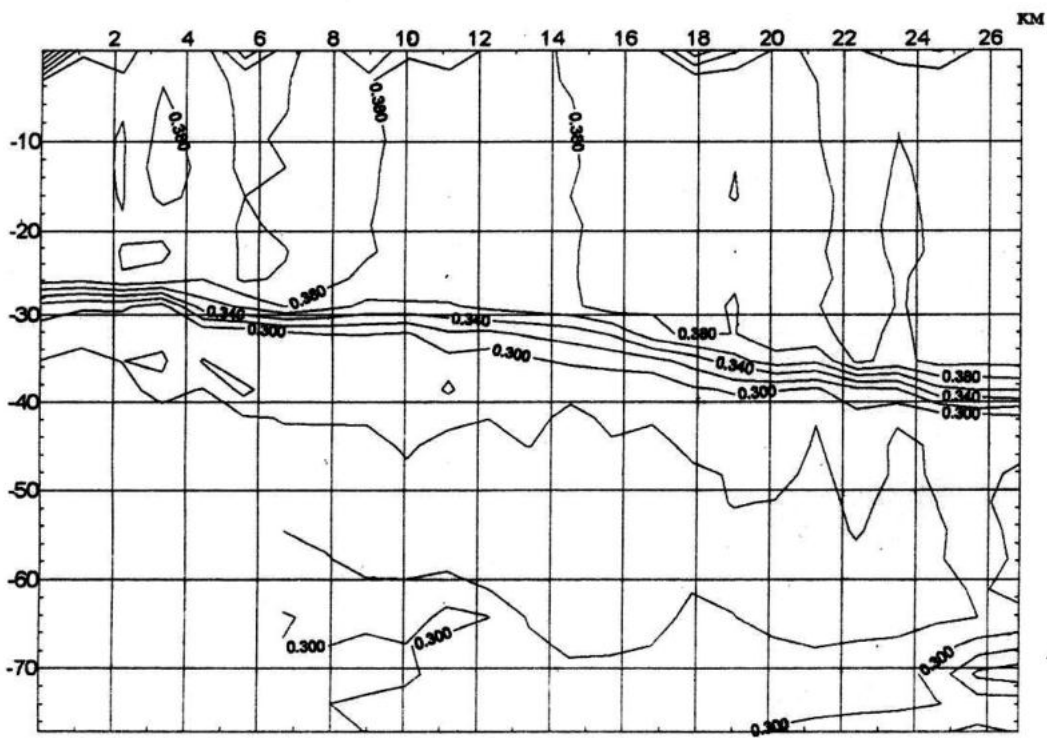


Рисунок 7 — Каламитский залив. Показатель ослабления ($PO1 \text{ м}^{-1}$), разрез 3

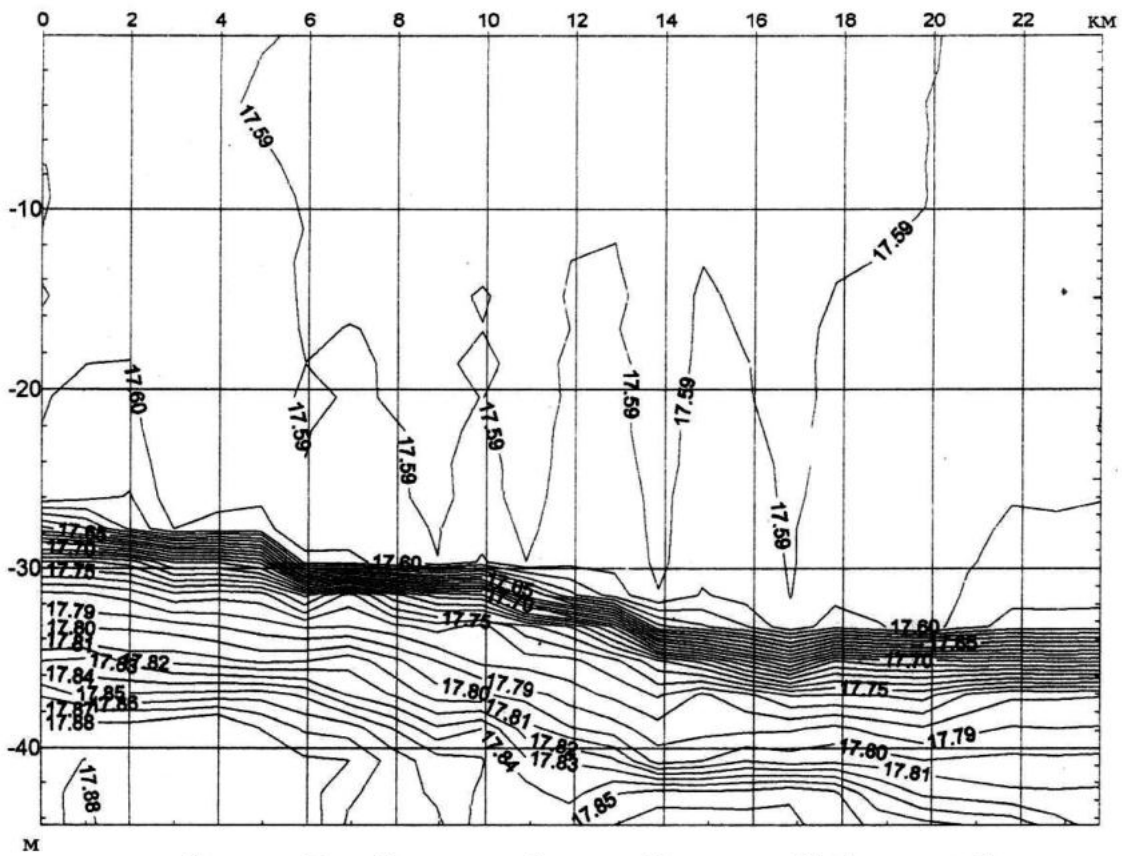


Рисунок 10 – Каламитский залив. Изохалины (S‰), разрез 10

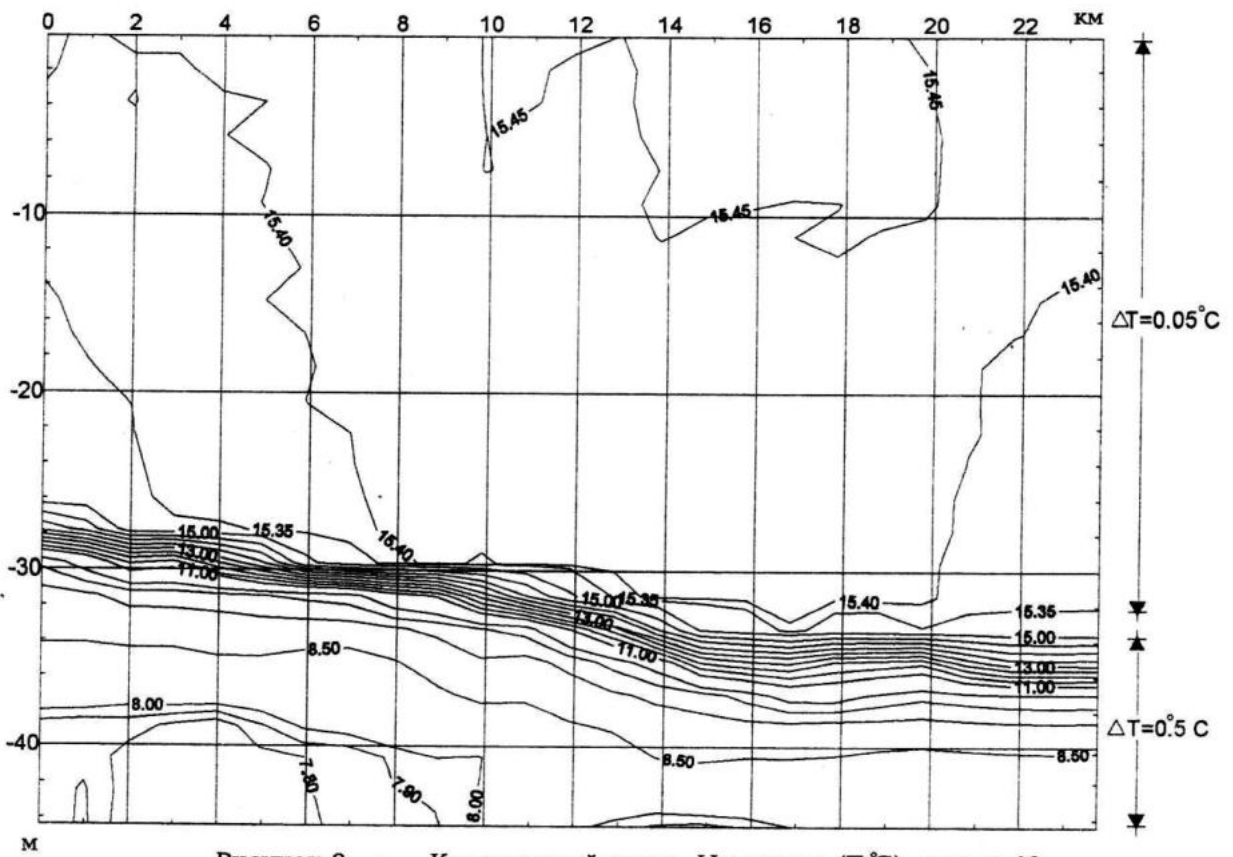


Рисунок 9 – Каламитский залив. Изотермы (T °C), разрез 10

ляет полигон съемки по диагонали от северо-запада до юго-востока, то вертикально стратифицированной в осенний период наибольшего заглубления сезонного термоклина оказалась только внешняя, западная часть Каламитского залива. Восточная часть полигона съемки, расположенная непосредственно в Каламитском заливе, имеет практически только горизонтальную стратификацию.

3. Горизонтальная стратификация вод залива в период съемки определялась полем ветра (начальный период сгона).

4. Граница горизонтальных и вертикальных стратифицированных вод залива, проходящая в период съемки по внешней (географической) границе Каламитского залива (мыс Евпаторийский - мыс Лукулл) существенно влияет на внешний водообмен залива с северо-западной частью Черного моря, поскольку интенсивный плотностной барьер на глубинах 25-35 м, практически играющий роль жидкого грунта, не допускает проникновения в залив более соленых и прозрачных шельфовых вод в этот период, а внешний водообмен залива происходит только в области ВКС.

5. Такой осенний стратификационный режим неблагоприятен для очистки залива от хозяйственно-бытовых вод (здесь расположены более 10 курортных городов и поселков: Евпатория, Саки и др., осуществляющих сброс и отбор вод залива).

Для создания элементов системы контроля за заливом необходимо получение дополнительной детальной информации о стратификации вод региона в наиболее неблагоприятный для процессов самоочищения вод весенне-летне-осенний период, а также о совместном влиянии стратификации и неблагоприятных ветров W, SW, NW направлений на динамику вод залива.

В заключение для демонстрации возможностей комплекса МГИ 9201М представлены результаты съемки микрополигона, расположенного у мыса Айя в зоне выхода в море распресненных вод субмаринной разгрузки.

Экспедиционные работы у мыса Айя, выполненные в 5 рейсе э/с "Эксперимент" 22.10.97г., были продолжением работ, выполненных здесь МГИ в 1996г., и преследовали основную цель: получение конкретных результатов по определению и уточнению местоположения основных источников вы-

хода пресных вод в прибрежную зону моря, оценки мощности этих источников, качества пресных вод (основной физический и химический состав вод), а также ответа на вопрос - являются ли обнаруженные ранее выходы пресных вод из скальных пород (гrotов) мыса Айя в прибрежную зону (скала-море) единственными или же существуют более мористые выходы этих вод из заглубленных отрогов скал. Подчеркнем также, что получение конкретных оценок о стабильности или возрастании дебита этих источников или появления дополнительных зон субмаринной разгрузки в мористых отрогах скал в год аномально высокого уровня атмосферных осадков (1997г.) имеет существенное практическое значение для районов южного побережья мыс Айя - мыс Сарыч, не имеющих источников пресных вод. В экспедиционных работах э/с "Эксперимент" были использованы традиционные методы отбора проб в прибрежной зоне моря и непосредственно в гrotах в сочетании с нетрадиционными методами измерения полей солености, температуры, электропроводности, плотности, оптических характеристик прибрежных вод на ходу судна буксируемым комплексом МГИ 9201М.

Поскольку пресные воды субмаринной разгрузки распространяются в приповерхностном слое моря и при съемке комплексом МГИ 9201М необходимо было реализовать максимальное горизонтальное разрешение, съемка микрополигона была выполнена на постоянной глубине погружения буксируемого устройства 2.5-2.6 м (режим стабилизации глубины носителя) и малой скорости хода судна, обеспечивающей безопасность плавания и буксировки в зоне выхода скальных пород при малом удалении от берега. При скорости хода судна на микрополигоне 3.5 узла синхронное измерение полей T, S, ξ , σ_t , PO1, PO2 проводилось с частотой 20 Гц, что обеспечило горизонтальную дискретность съемки на разрезах микрополигона ~0,9 м. Такая дискретность необходима для обнаружения струй и пятен распресненных вод в прибрежной зоне.

Отбор поверхностных проб производился в период буксировки также с минимально возможным временным интервалом 1-2 мин. На рис.12 представлена карта снятого микрополигона у мыса Айя с координатной и временной привязкой измерений.

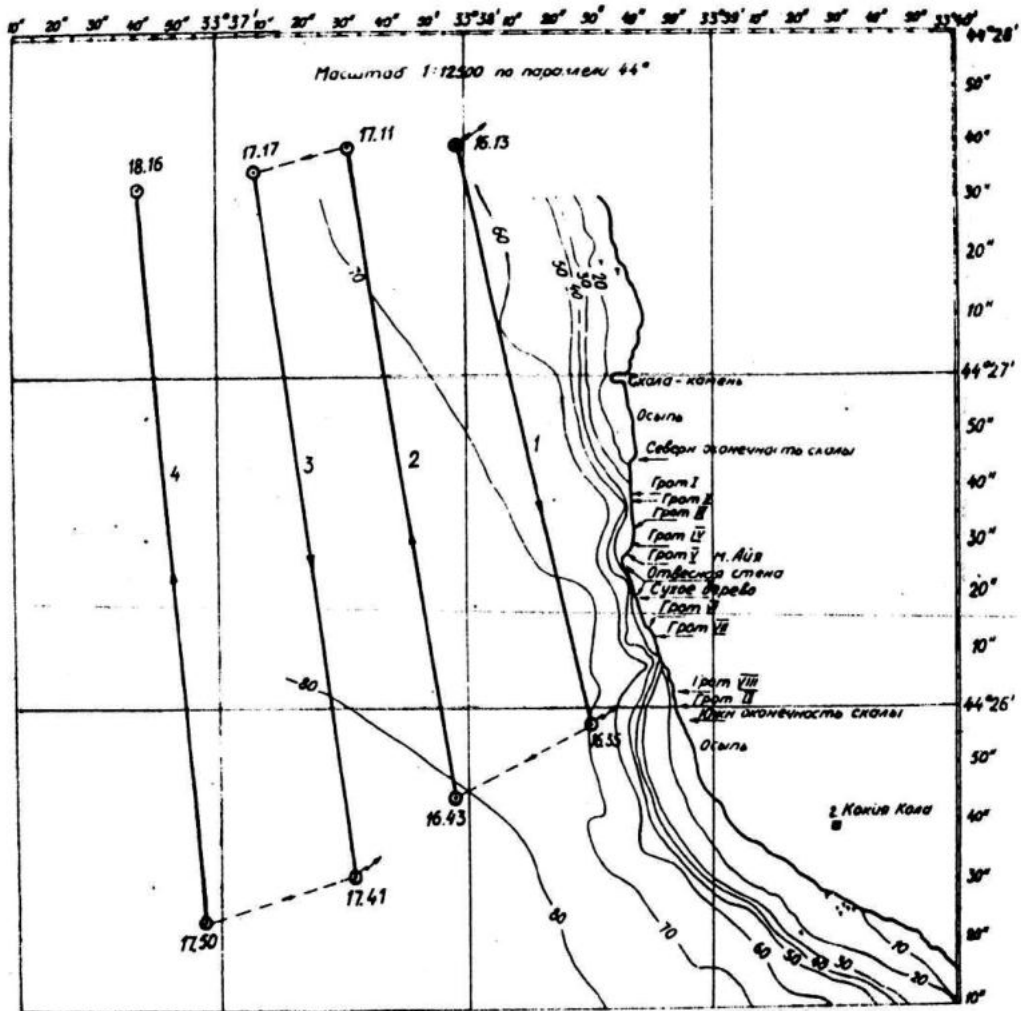


Рисунок 12 — карта съёмки микрополигона у мыса Айя

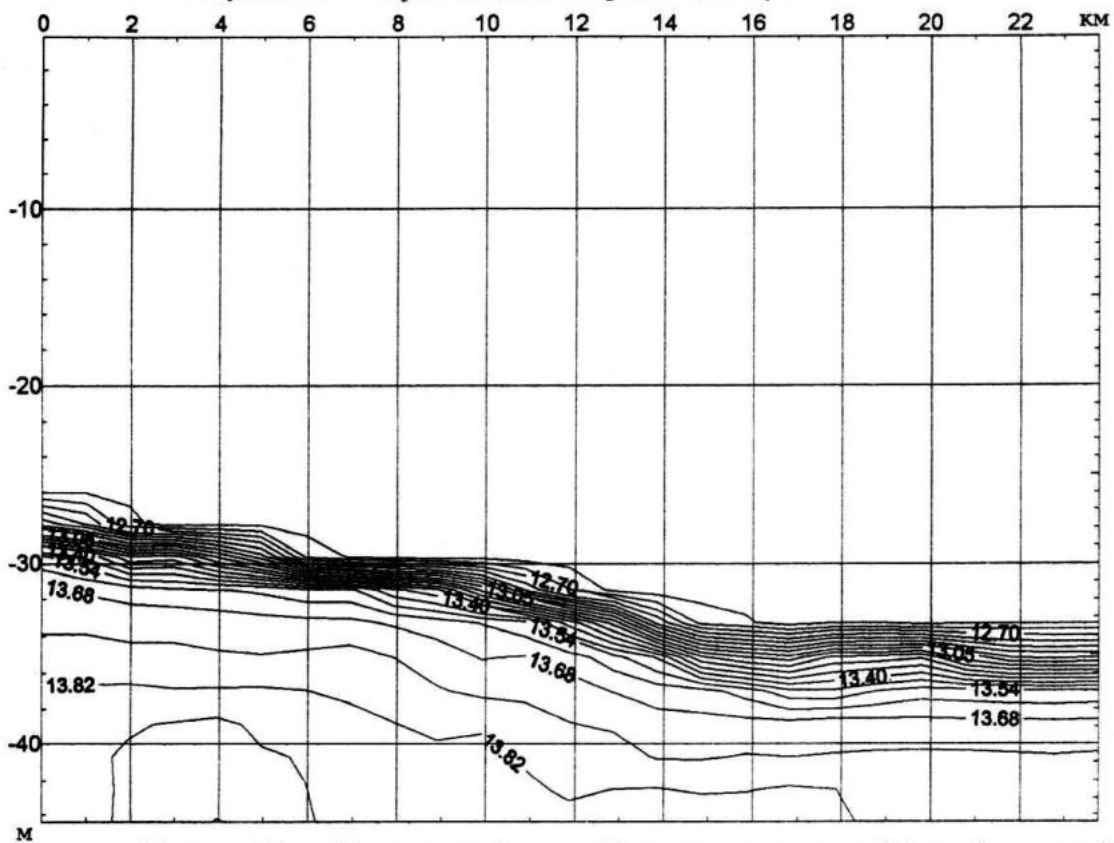


Рисунок 11 — Каламитский залив. Изолинии плотности (σ_t у. е.), разрез 10

Основной задачей съемки буксируемым комплексом МГИ 9201М было обнаружение струй субмаринных вод, распространяющихся из гротов и перемешивающихся с морской водой в прибрежной зоне, а также отдельных пятен распресненных вод в случаях их выхода из отрогов погруженных скал в более мористой части прибрежной зоны. Для решения этой задачи были выполнены съемки на разрезах, проходящих вдоль морской границы скалы с гротами, при этом первый разрез был выполнен на минимальном безопасном расстоянии от скалы (1.5-2 каб.), а последующие четыре разреза (2-5) выполнены параллельно первому также с малыми расстояниями, которые могли быть обеспечены спутниковой навигационной системой GPS, рис.12. Основные выходы пресных вод в виде распресненных струй были зарегистрированы комплексом МГИ 9201М именно на первом, ближайшем к скальному берегу с гротами, разрезе.

На рис.13 представлено распределение солёности ($S^{\text{‰}}$) на разрезе №1, где четко выделяется положение струй распресненных вод по уменьшению солёности; экстремальный спад солёности составляет $\Delta S=0,57^{\text{‰}}$, и струя наиболее распресненных вод четко локализована. На горизонтальной оси разреза указаны два основных параметра: текущее время измерения от 16 час. 13 мин. (начало разреза) до 16 час. 36 мин. (конец разреза) и текущее число измерений солёности (0 в начале разреза в 16 час. 13 мин. и $3 \cdot 10^4$ измерений в 16 час. 36 мин.). Первый параметр - время позволяет привязать струю распресненных вод к береговой линии и конкретным гротам, это гроты №№3-5, рис.12. Второй параметр - число измерений позволяет получать статистическую обеспеченность измерений, т.е. оценить, по какому количеству измерений зафиксированы струи распресненных вод.

Для оценки достоверности измерений на рис.14 показаны струи распресненных вод в увеличенном горизонтальном масштабе. Из рис.14 следует, что наиболее интенсивная струя распресненных вод зарегистрирована между 18200 и 18700 точками измерений, т.е. по 1500 точкам единичных измерений солёности, что подтверждает высокую достоверность измерений.

На рис.15,16,17 представлены результаты измерения условной плотности σ_t , элек-

трической проводимости ξ и температуры (Т) на этом же разрезе №1; Масштаб и параметры горизонтальной оси те же, что и на рис.13.

В полях электрической проводимости, условной плотности струи распресненных вод фиксируются столь же четко как и в поле солёности. Температурные контрасты распресненных вод в осенний период выражены гораздо слабее, нежели в летний, рис.17. В полях показателей ослабления PO1, PO2 они проявляются как зоны увеличения прозрачности, однако контрасты здесь меньше, чем в полях солёности, электрической проводимости, плотности.

Выполненные съемки подтверждают возможность и эффективность методов обнаружения распресненных вод субмаринных источников в прибрежной зоне моря комплексом МГИ 9201М.

Одной из основных задач экспериментальных исследований субмаринных источников является определение количественных характеристик дебита (мощности) источников. Как правило, эти задачи наиболее сложны и дорогостоящи, так как при работах на горных склонах побережья и при заглубленных источниках необходимо бурение скважин.

При использовании буксируемой аппаратуры высокого разрешения принципиально возможно определение мощности источника методами измерения поперечного сечения струи (струй), скорости потока, степени распреснения вод при различном удалении от берега, однако для этого необходим детальный эхолотный промер глубин в мелководной прибрежной зоне (как правило скалистой в зоне субмаринных источников) в целях выполнения разноглубинных съемок с максимальным приближением к берегу и обеспечения при этом безопасности судна и комплекса МГИ 9201М.

В заключение отметим, что съемки комплексом МГИ 9201М на разрезах микрополигона №№2,3,4,5, расположенных в мористой зоне микрополигона, не обнаружили выхода субмаринных вод в мористой зоне.

Для сравнения в таблице №1 приведены результаты гидрохимического анализа на содержание силикатов поверхностных проб морской воды, отобранных непосредственно в гротах со шлюпки (через сутки после съемки микрополигона).

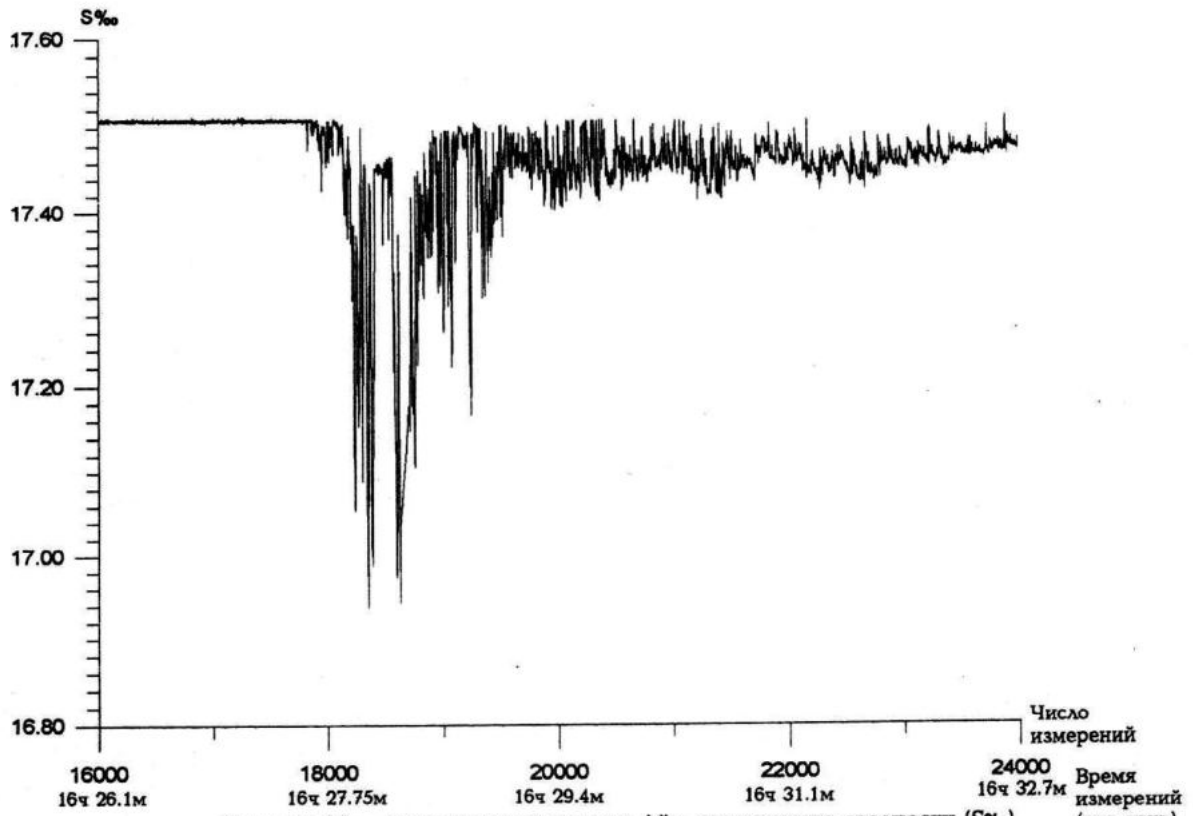


Рисунок 14 — микрополигон у мыса Айя, уменьшение солёности (S‰) на траверсе гrotов субмаринной разгрузки, разрез 1

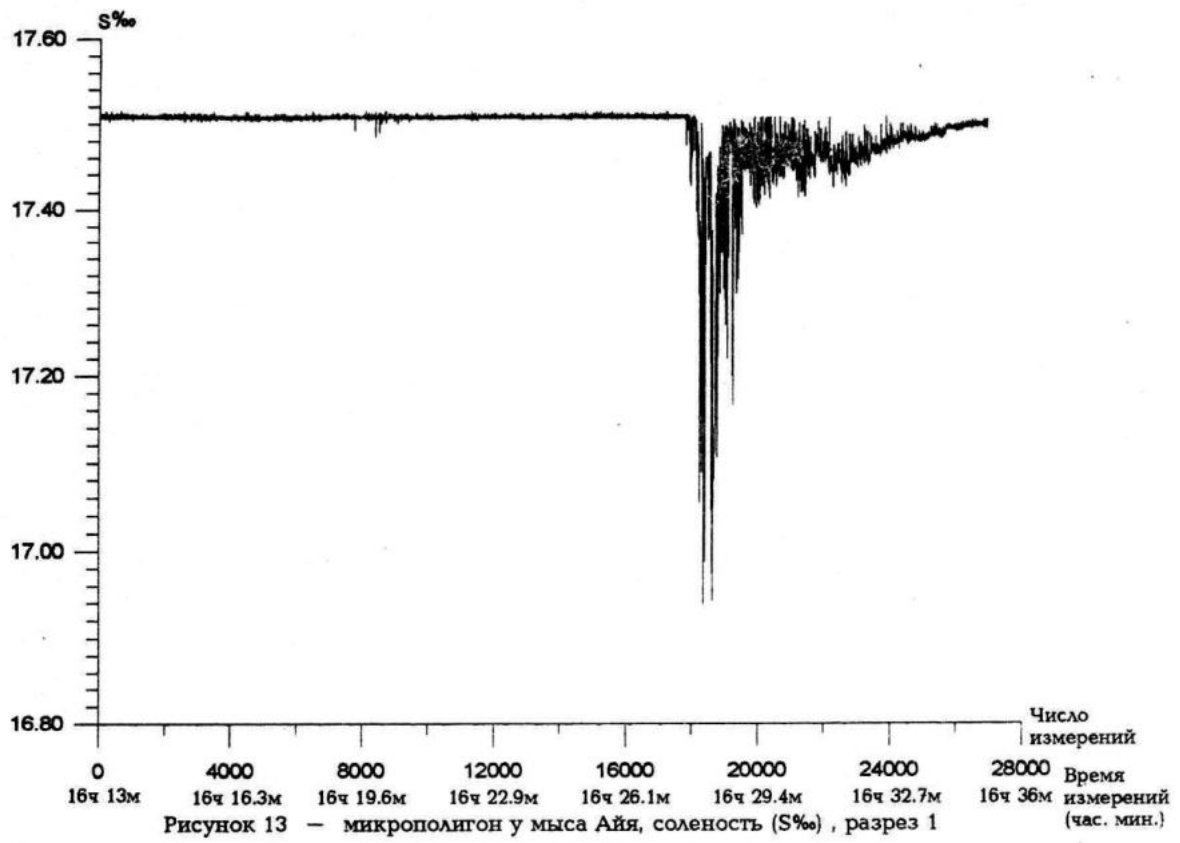
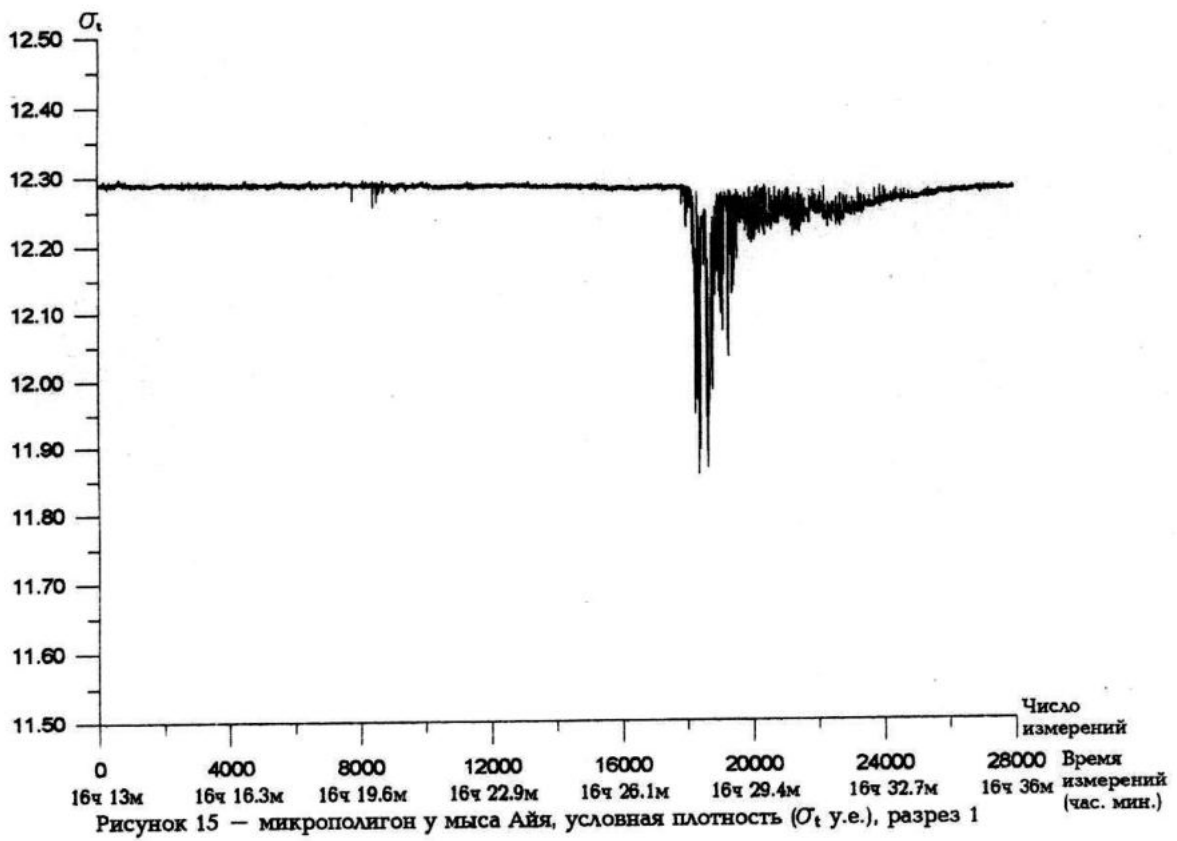
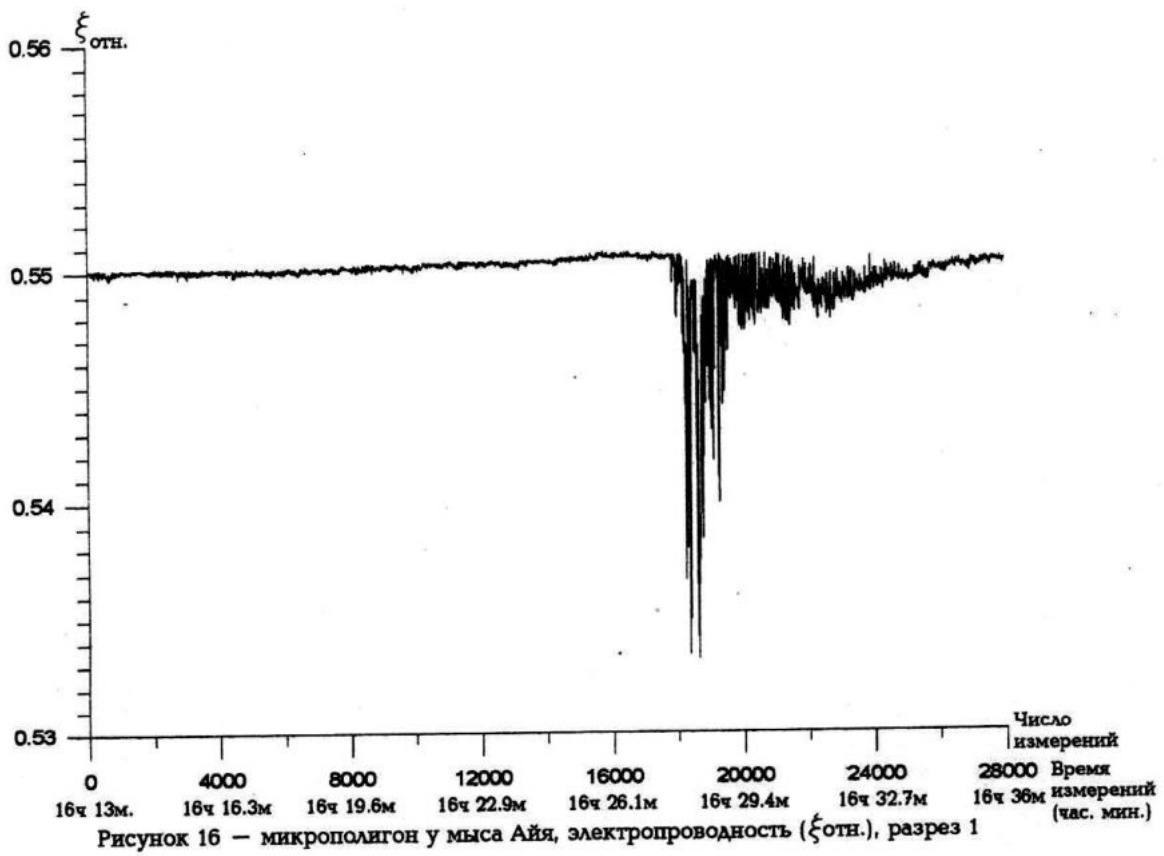


Рисунок 13 — микрополигон у мыса Айя, солёность (S‰), разрез 1



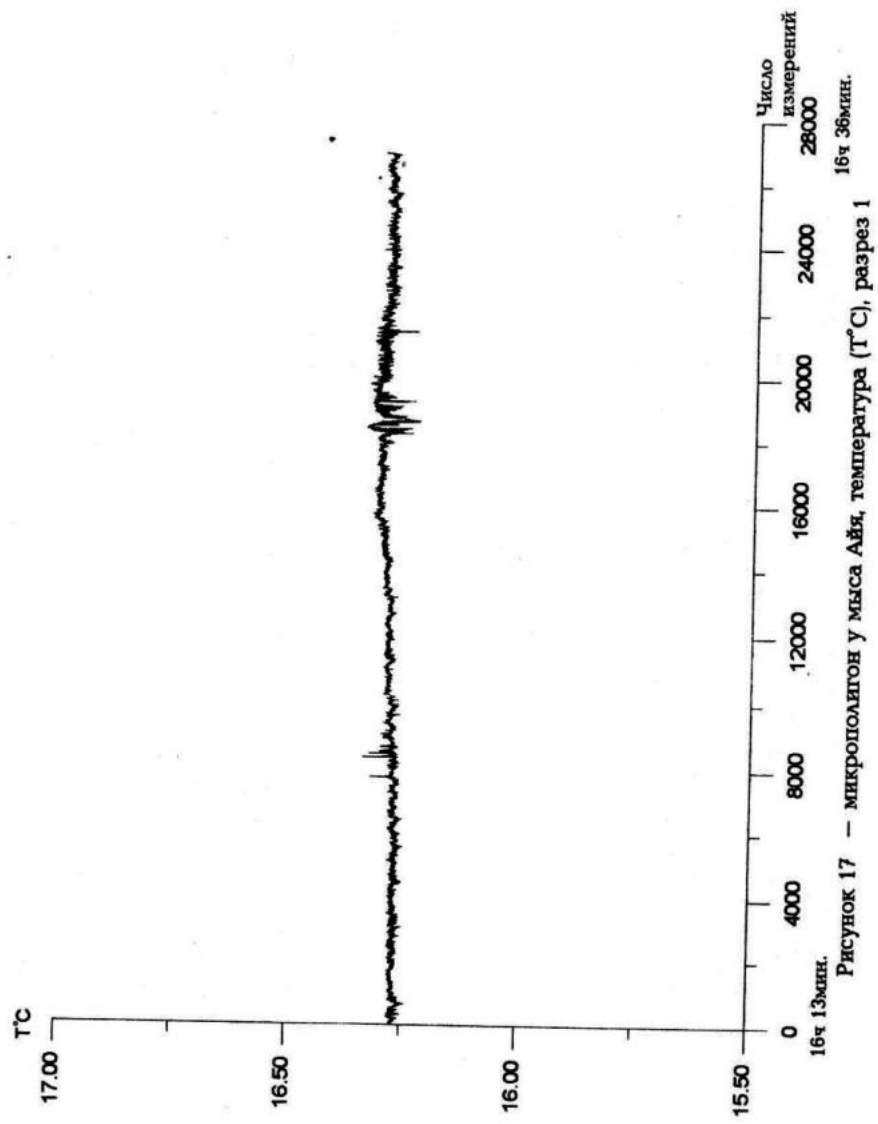


Рисунок 17 – микрополигон у мяса Айя, температура (T°C), разрез 1

16ч 13мин.

16ч 36мин.

Метрологические характеристики МГИ 9201М.

Измеряемые параметры	Диапазон измерения	Величина единицы младшего разряда (чувствительность)	Погрешность при уровне обеспеченности 0.95	Инерционность, сек.
Температура, °С	от -2 до 35	не более 0.001	0.007	0.05
Относительная электрическая проводимость	0.35-1.5	не более $2.5 \cdot 10^{-5}$	$25 \cdot 10^{-5}$	
Гидростатическое давление, МПа	0-5	0.001	0.02	
Спектральный показатель ослабления на длинах волн 480 и 600 нм $[PO], м^{-1}$	0.04-0.5	0.001	$0.003 \cdot PO_{max}$ PO_{max} - величина показателя ослабления	
Интенсивность флуоресцентного излучения (хлорофилл "А" $[Cl_a] мкг \cdot л^{-1}$)	0.05-20	0.05	$0.2 + 0.4 \cdot Cl_a$ Cl_a - величина измеряемой концентрации	
Крен	$\pm 60^\circ$	менее 0.8°	3°	
Дифферент	$\pm 45^\circ$	менее 0.8°	3°	
Угол руля глубины	$\pm 40^\circ$	менее 0.8°	3°	

Диапазон скоростей буксировки комплекса МГИ 9201М от 3 до 12 узлов.

Диапазон глубин сканирования от поверхности до 200 м при скоростях буксировки 3-12 узлов.

Интервал скоростей погружения (всплытия) прибора от 0 до 2,5 м/с.

Возможны два режима сканирования по глубине: управление оператором и автоматическое сканирование по командам компьютера.

Возможен режим автоматического отслеживания глубины залегания заданного параметра (Т, S, σ_t , ξ , PO1, PO2 и др.) и движение МГИ 9201М на постоянной (заданной) глубине.

Таблица 1. Микрополигон у мыса Айя. Координаты и данные отбора проб поверхностных вод в гротах субмаринной разгрузки и прибрежной зоне, выполненные со шлюпки в период 5-го рейса э/с "Эксперимент" 23.10.1997 г.

Место пробоотбора	Координаты	Содержание Si в $\mu\text{M}/\text{л}$ в пробе
Грот 9	44,43430°N 33,64748°E	2.9
Грот 8	44,43500°N 33,64710°E	2.8
Грот 7	44,43715°N 33,64650°E	9.1
Грот 6	44,43740°N 33,64620°E	2.8
Между гротами 6 и 5	44,44000°N 33,64450°E	2.5
Мыс Айя	44,44100°N 33,64400°E	16.3
Грот 5	44,44120°N 33,64490°E	63.3
Грот 4	44,44200°N 33,64480°E	20.6
Грот 3	44,44270°N 33,64470°E	46.8
Стрелка Южная	44,44310°N 33,64440°E	21.5
Стрелка Северная	44,44330°N 33,64430°E	27.9
Грот 2	44,44380°N 33,64420°E	8.6
Грот 1	44,44420°N 33,64405°E	38.6
Между гротом 1 и скалой	44,44460°N 33,64380°E	4.1
Скала	44,44510°N 33,64355°E	4.1
Между зубом и скалой	44,44720°N 33,64310°E	3.8

Гидрохимический анализ выполнен сотрудниками отдела гидрофизики шельфа МГИ и результаты любезно предоставлены для настоящей статьи. Результаты стандартных и экспрессных исследований существенно дополняют друг друга: зоны высокого содержания силикатов совпадают со струями распресненных вод (гроты №№3,5).

Полученные комплексом МГИ 9201М (характеристики комплекса указаны в таблице 2) экспериментальные материалы существенно дополняют сведения о субмаринных источниках, полученные ранее традиционными методами.

Использование комплекса целесообразно и перспективно как для получения количественных характеристик известных источников, так и для обнаружения новых.

Разумное сочетание традиционных и экспрессных методов делает такие работы более эффективными и экономичными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Губанов В.И., Клименко Н.П., Моница Т.Л., Рябинин А.И. и др. Современное состояние загрязнения вод Черного моря // Монографический справочник. - Севастополь "ЭКОСИ - Гидрофизика", 1996.

2. Диагноз состояния Среды прибрежных и шельфовых зон Черного моря // Сб. научных трудов. - Севастополь, 1996.