

МОРСКОЙ ГИДРОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ АН УССР

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ "СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЕКРЕАЦИОННЫХ СИСТЕМ"

№ 5804-В87

УДК 551.464.34:(551.46.083:535)

В.Н.Воскресенский, Б.Н.Крашенинников, Ю.А.Прохоренко,
О.А.Шумченко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ВЕРХНЕЙ ГРАНИЦЫ
СЕРОВОДОРОДА ПО ВЕРТИКАЛЬНОМУ ПРОФИЛЮ ПОКАЗАТЕЛЯ
ОСЛАБЛЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Изучение сероводородного заражения Черного моря актуально в связи с необходимостью прогнозирования его влияния на экосистему Черного моря. Традиционно изучение ведется биохимическими методами исследования, но эти методы обладают рядом недостатков: большая дискретность отбора проб и фактор субъективности при проведении анализов. Это затрудняет работу. Для решения некоторых задач эти недостатки могут быть устранены применением косвенных методов исследований, например, оптических.

В данной работе предлагается использование измерения профиля показателя ослабления излучения в водной среде для определения глубины залегания верхней границы сероводорода.

Систематические съемки гидрооптических характеристик вод Черного моря, проведенные в последнее время совместно с химическими, биологическими и гидрологическими исследованиями, позволили существенно дополнить знания о пространственно-временной структуре поля показателя ослабления и установить численные оценки связи оптических параметров с другими характеристиками морской воды. Получена информация об особенностях профиля показателя ослабления вблизи зоны сероводородного заражения. Одной из характерных черт профиля показателя ослабления в Черном море является

наличие глубоководного слоя мутности, который обнаруживается на горизонтах 80-200 метров. Интересно, что при этом неоднородностей в вертикальном профиле плотности не обнаруживается.

В настоящее время накоплены тысячи измерений вертикального распределения показателя ослабления в верхнем 500 метровом слое моря. Это позволяет более точно охарактеризовать типичную форму глубоководного слоя мутности. Обычно сверху глубоководный слой мутности выделяется ярко выраженным минимумом. Для коротковолновой части спектра видимого излучения, и особенно, для ближайшего ультрафиолетового света, этот минимум - абсолютный на вертикальном профиле показателя ослабления. Далее, с ростом глубины, наблюдается слой мутности, который имеет близкую к треугольной форму и четко выраженную верхнюю границу. Нижняя часть слоя мутности, лежащая ниже максимума, характеризуется в 2-3 раза меньшим вертикальным градиентом, чем верхняя. Далее, с ростом глубины, градиент показателя ослабления плавно уменьшается до нулевых значений. Треугольная форма пика мутности характерна для большей части моря. Вертикальная стратификация слоя мутности может указывать на то, что на горизонте максимума скапливается или генерируется некая ослабляющая субстанция, дальнейшее погружение которой сопровождается быстрым уменьшением ее концентрации. Средняя толщина слоя мутности может быть определена в среднем около 10-20 метров. Иногда слой мутности стратифицирован и имеет два и более почти равноценных максимума. Характерные форма, толщина и глубина расположения слоя мутности позволяет всегда точно выделить его на профиле показателя ослабления. Особенно важно знание характерных черт в тех случаях, когда слой мутности выражен слабо. Как правило, это наблюдается в центральных районах, где слой мутности приподнят. В прибрежных районах слой мутности хорошо выражен, а его глубина расположения увеличивается. Наибольшая интенсивность и толщина слоя отмечается вблизи Анатолийского побережья, особенно в районе Синопа. Приближение ко дну у материковой отмели

не сопровождается изменением формы слоя в сравнении с типичной. Если глубина места становится меньше 130-150 метров, мутный слой не обнаруживается.

Проводя корреляционный анализ по 20-ти горизонтам в слое от 0 до 500 метров, можно отметить следующее: корреляционная связь нарушается на горизонтах существования глубоководного слоя и коэффициент корреляции уменьшается на 0,1-0,2 под ним. Глубинный слой мутности как бы соответствует границе раздела кислородной и сероводородной зон, а его существование может быть обусловлено физико-химическими и биологическими явлениями на этой границе. Действительно, как показали исследования, глубина залегания верхней границы сероводорода имеет тесную связь с глубиной залегания слоя мутности (максимальный коэффициент корреляции 0,9). Для расчета степени связи химических и оптических определений глубины залегания границы сероводорода применены следующие исходные данные. Химические анализы проводились на пробах воды из капровых батометров, поднятых с предполагаемых глубин, занимаемых зоной сосуществования кислорода и сероводорода. Дискретность горизонтов отбора проб составляла 10 метров. Для слоя мутности характерен хорошо выделяющийся максимум у верхней границы. Глубина его залегания может быть определена по непрерывному вертикальному профилю с точностью ± 2 м. В редких случаях, когда форма вертикального профиля слоя отличается от типичной, имеет несколько максимумов, для расчетов принимается глубина верхнего максимума. Из полученных уравнений линий регрессии видно, что оптические и химические признаки глубинного изменения свойств, несмотря на высокий уровень корреляции, обнаруживается на различных, но близких уровнях. В дальнейшем предстоит выяснить насколько близко располагаются по вертикали выбранные для расчета признаки в оптических и химических определениях. Для этого по-видимому, требуется увеличить частоту отбора батометрических проб. Однако, кроме химических определений верхней границы се-

роводорода, высокий уровень корреляции обнаруживается между тем же оптическим слоем и максимумом вертикальной устойчивости вод. Глубины их залегания отличаются на несколько десятков метров. Такая же связь наблюдается между максимальной глубиной залегания кислорода и глубиной залегания глубинного слоя мутности. Отсюда следует, что в глубинах Черного моря переходная зона от кислородной к сероводородной среде занимает несколько десятков метров. Об этом свидетельствует такая же толщина зоны сосуществования кислорода и сероводорода. Возможно, что согласованный физико-химический процесс в переходной зоне, имеющий фазовое распределение на глубине, начинает свое действие гораздо выше горизонтов, где обнаруживается сероводород - в промежуточном холодном слое. Уже здесь начинается перестройка динамических процессов. В этой области находится максимум вертикальной устойчивости вод.

Проводя анализ результатов по нескольким рейсам, в различные сезоны и годы мы вычислили коэффициенты корреляции и коэффициенты линейной регрессии между глубинами верхней границы сероводорода и слоя мутности. Данные расчетов приведены в таблице I. Для отдельных рейсов коэффициент корреляции изменял свое значение от 0,59 до 0,89. Коэффициент корреляции для летнего сезона был равен 0,7, а для всего массива данных 0,58. Небольшое расхождение в величинах коэффициентов регрессии для различных экспедиций свидетельствует об устойчивости связи. Приведенные в таблице оценки связи не имеют сезонной изменчивости. Средние значения глубин залегания верхней границы сероводорода и слоя мутности очень близки. Весь имеющийся объем данных указывает на то, что в среднем глубина залегания слоя мутности меньше глубины залегания верхней границы сероводорода на 5 м, что вдвое меньше дискретности отбора проб для химических определений.

Таким образом, в результате проведенных исследований,

получены статистически обоснованные признаки соответствия глубин залегания верхней границы сероводорода и глубины залегания оптического мутного слоя для Черного моря. Недостаточно высокий уровень корреляции при комплексировании данных по различным экспедициям, где по отдельности эти коэффициенты корреляции выше, по-видимому, следует из ошибок субъективного характера химических определений, а также приборных погрешностей в оптических измерениях. Близкое расположение горизонтов появления сероводорода и мутного оптического слоя указывает на возможность выяснения природы последнего путем исследования химических процессов среды.

Экспрессность получения оптической информации, в сравнениями с химическими анализами, может быть использована для предварительного установления залегания верхней границы сероводорода.

Для иллюстрации работы метода определения глубины залегания верхней границы сероводорода по оптическим данным были построены пространственные распределения глубины залегания верхней границы сероводорода, восстановленные по оптическим данным для трех рейсов летнего сезона. Эти пространственные распределения изображены на рисунках 1,3,5, а на рисунках 2,4,6 изображены пространственные распределения, построенные по данным химических анализов. Сравнивая распределения, полученные разными методами, можно прийти к выводу, что распределения, построенные по оптическим данным, передают основные особенности распределений, построенных по данным химических анализов, являются близкими по значениям глубины залегания верхней границы сероводорода, из чего следует, что использование оптического метода для определения верхней границы сероводорода вполне оправдано.

ТАБЛИЦА I.

Год и месяц проведения измерений	r_{xy}	A	B	$\langle X \rangle$	$\langle Y \rangle$	S_x	S_y	D_A	D_B
1984 VI-VII	0,82	5,5	0,89	I34	I25	26	28	26	0,19
1984 X-XI	0,75	53	0,72	II2	I33	26	22	30	0,26
1985 VI-VII	0,6	52	0,66	I2I	I3I	25	28	28	0,23
1985 X-XI	0,79	27	0,85	II6	I25	2I	23	36	0,3
1986 VI-VII	0,89	20	0,89	II5	I23	22	22	I7	0,19
1986 XI-XII	0,59	30	0,7	II9	II2	I5	I7	40	0,34
1984-1986 VI-VII	0,7	36	0,73	I24	I27	25	27	I5	0,12
1984-1986 VI-VII, X-XII	0,58	5I	0,6I	I20	I25	24	25	I4	0,II

X - глубина расположения глубоководного слоя мутности.

Y - глубина залегания верхней границы сероводородной зоны.

A, B - коэффициенты линейной регрессии, соответствующие уравнению: $Y = A + BX$

r_{xy} - коэффициент корреляции

S_x, S_y - среднеквадратичные отклонения от средних значений $\langle X \rangle, \langle Y \rangle$

D_A, D_B - доверительные интервалы для коэффициентов A и B.

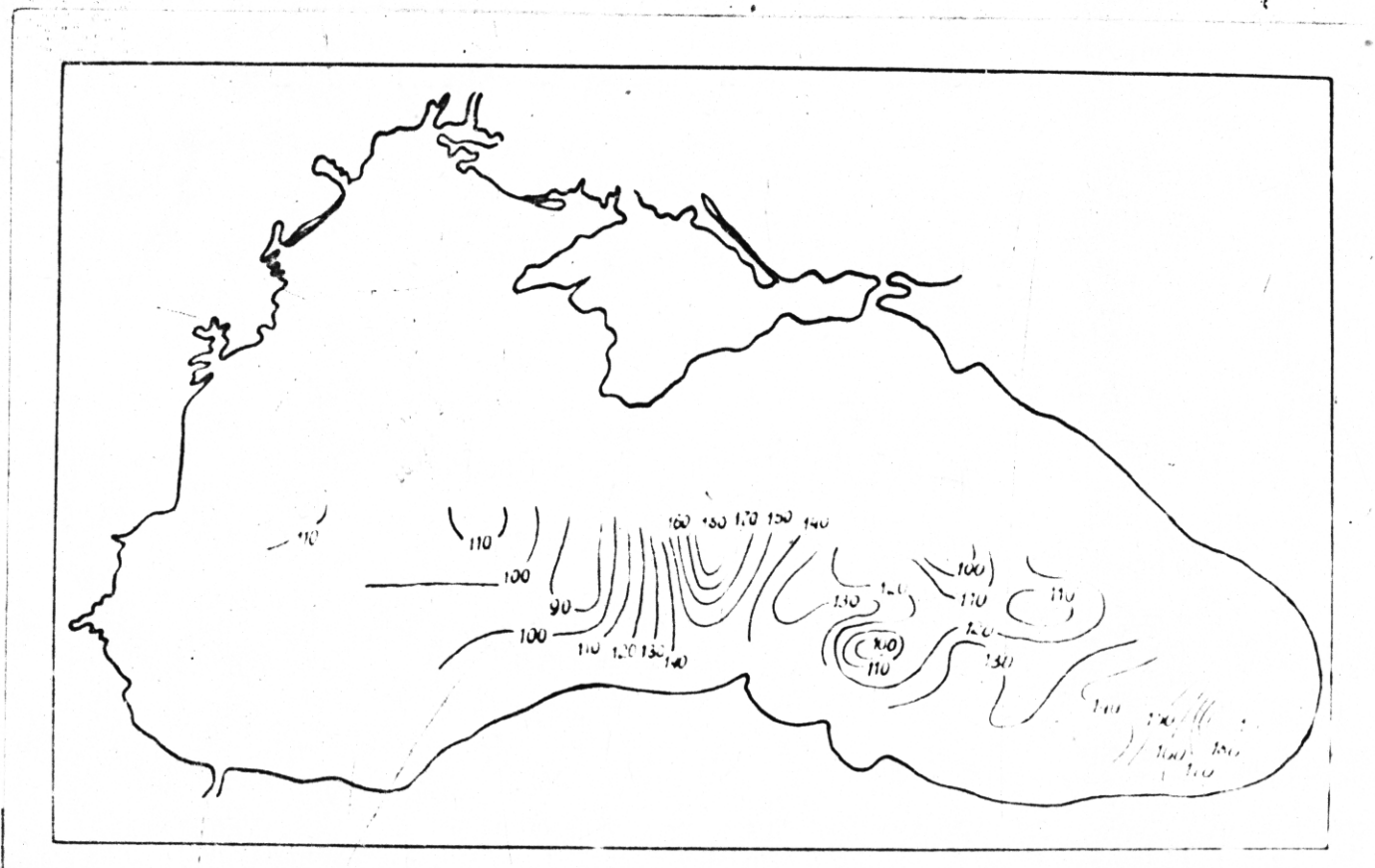


Рис. I. Пространственное распределение глубины залегания верхней границы сероводорода в летний сезон 1984 г., восстановленное по оптическим данным.

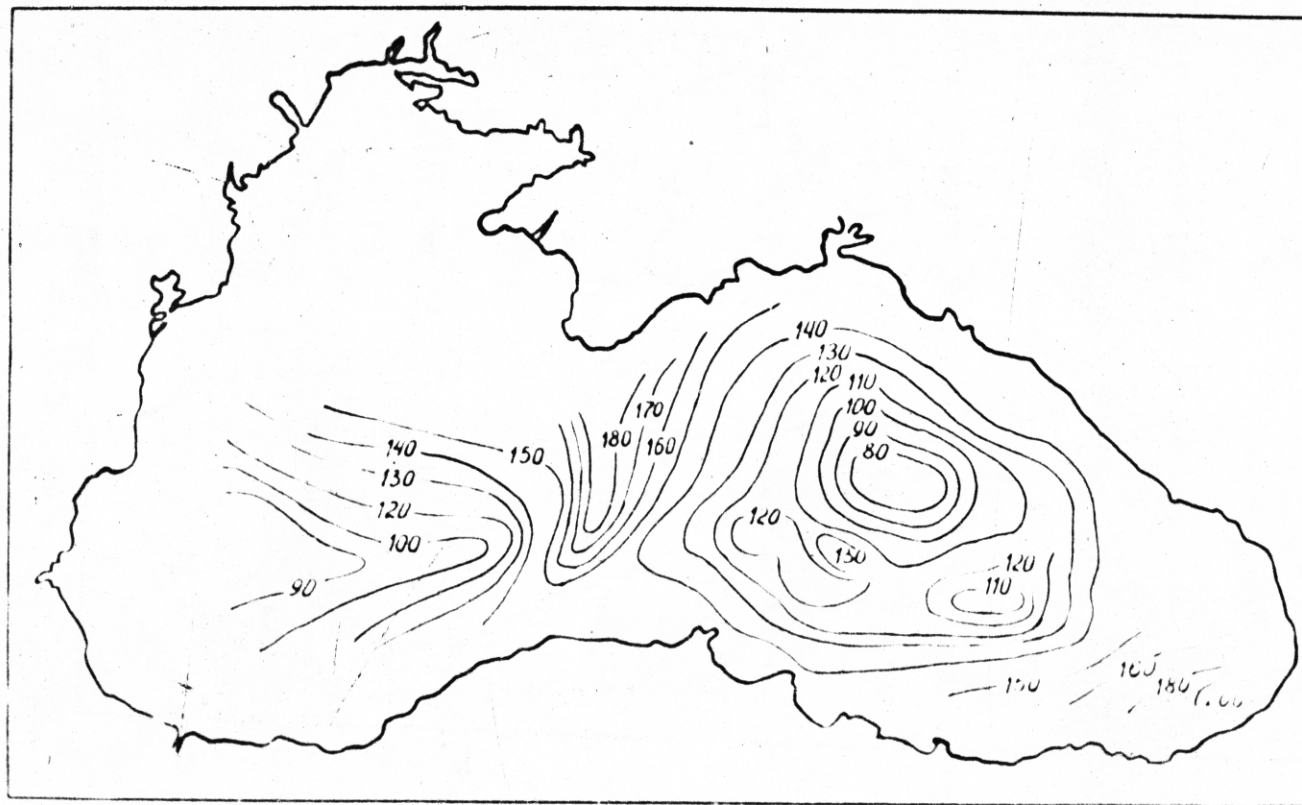


Рис.2.Пространственное распределение глубины залегания верхней границы сероводорода в летний сезон 1984г., построенное по данным химических анализов.

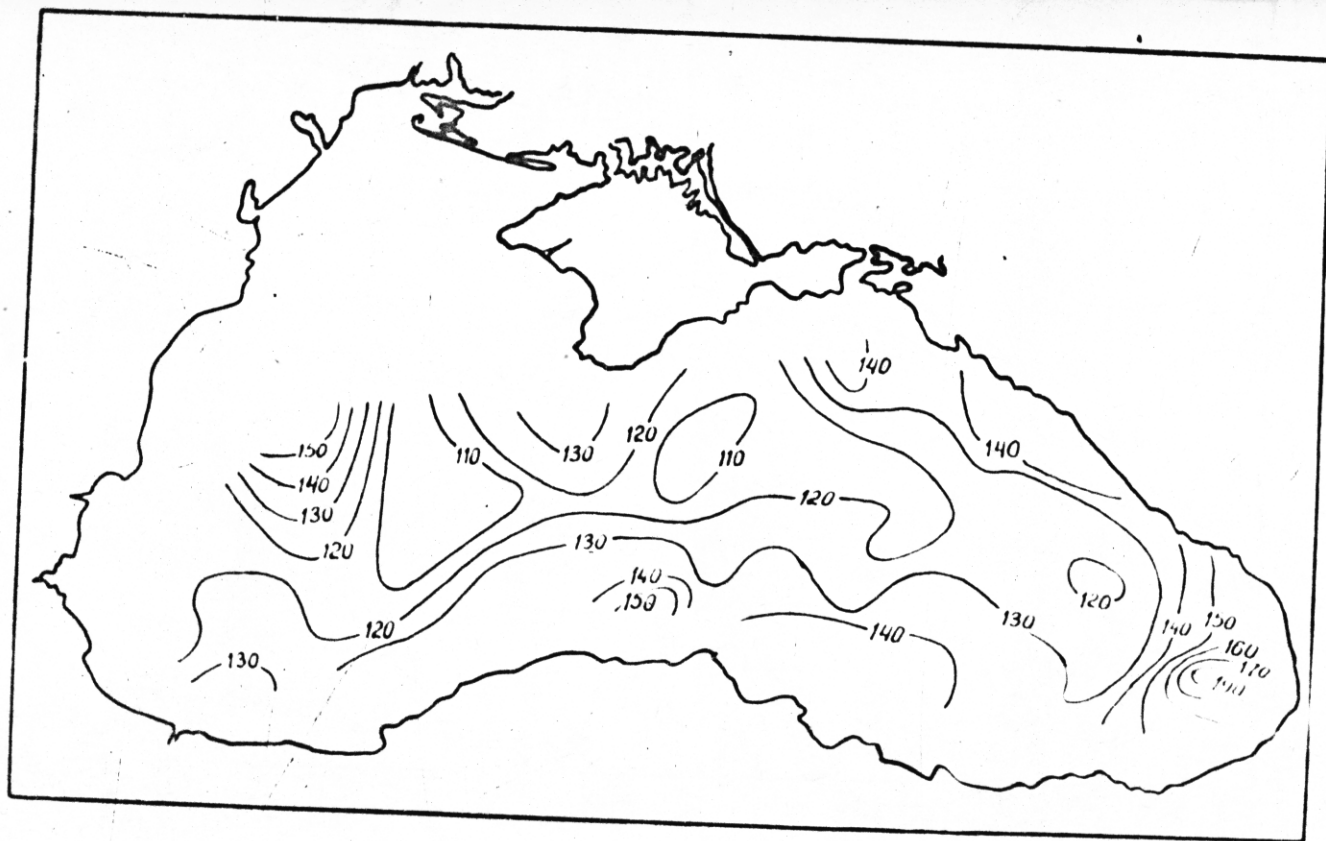


Рис.3.Пространственное распределение глубины залегания верхней границы сероводорода в летний сезон 1985г., восстановленное по оптическим данным.

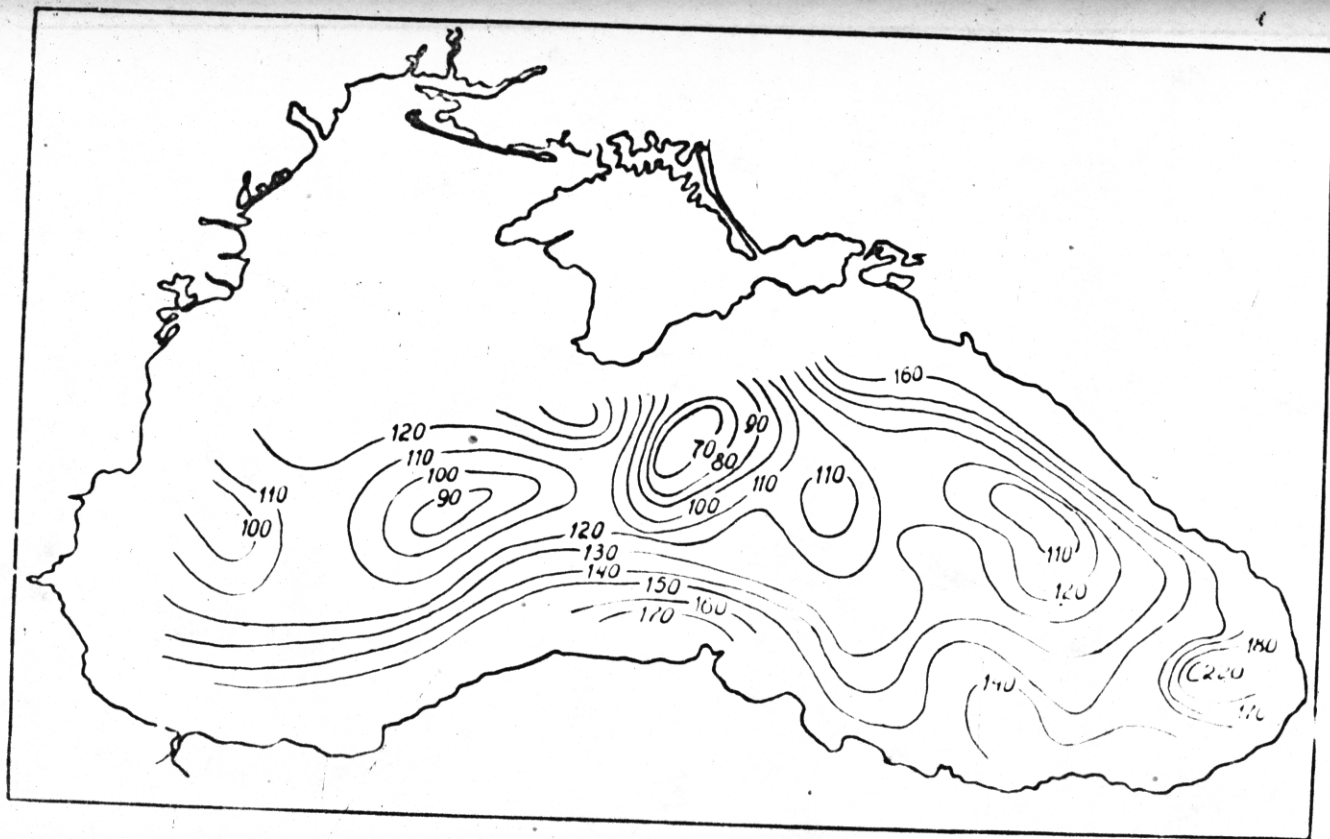


Рис.4.Пространственное распределение глубины залегания верхней границы сероводорода в летний сезон 1985г., построенное по данным химических анализов.

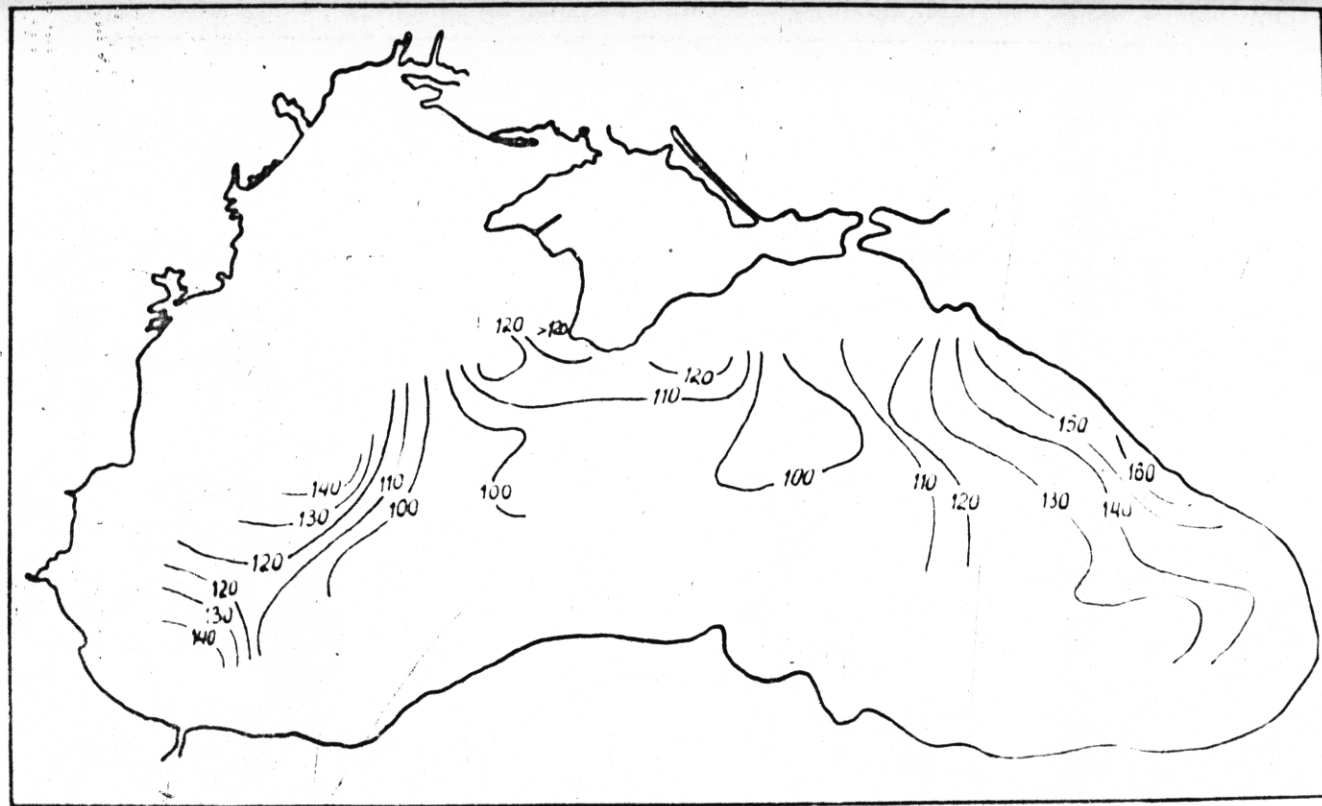


Рис.5. Пространственное распределение глубины залегания верхней границы сероводорода в летний сезон 1986г., восстановленное по оптическим данным.

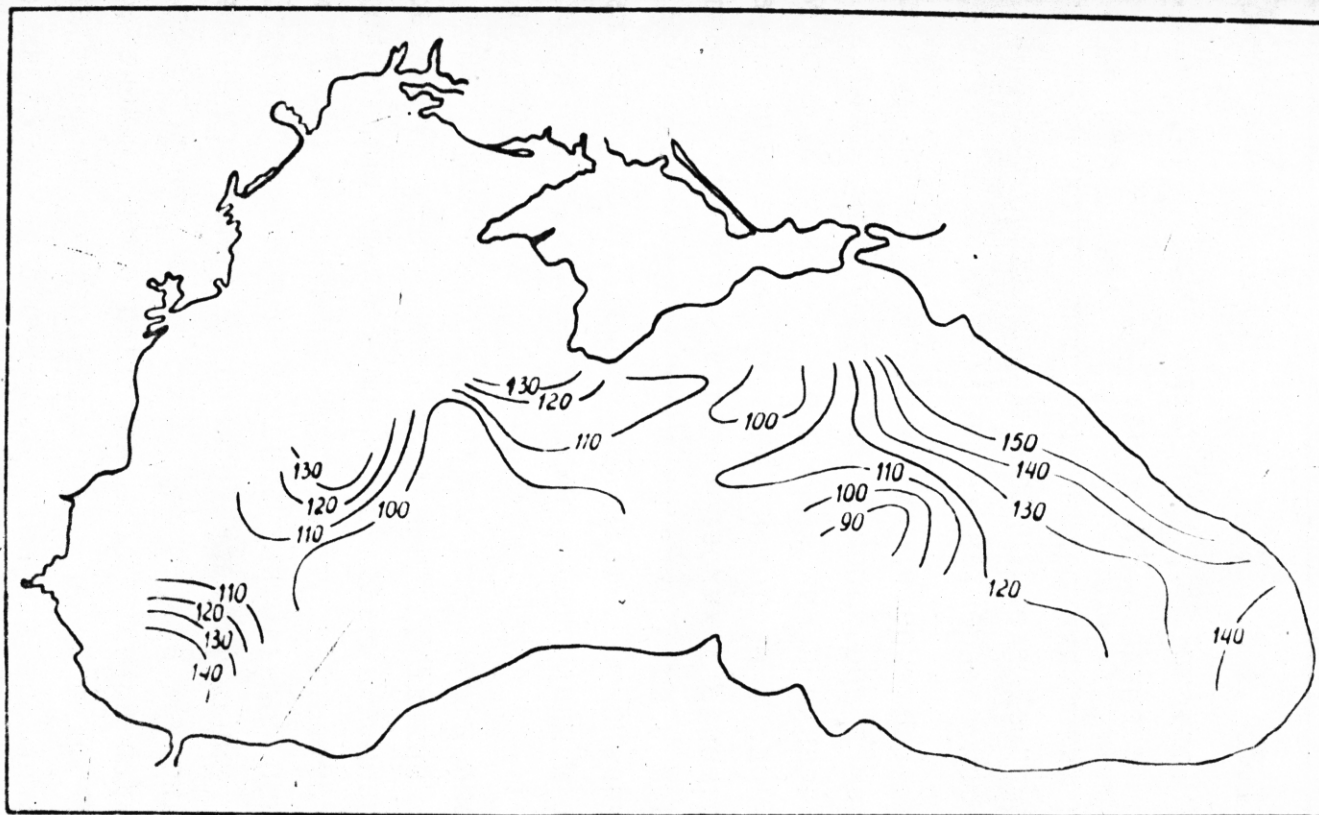


Рис.6. Пространственное распределение глубины залегания верхней границы сероводорода в летний сезон 1986г., построенное по данным химических анализов.