

**МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральная служба по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды
(РОСГИДРОМЕТ)**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Н. ЗУБОВА»
(ФГБУ «ГОИН»)**



**АТЛАС ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВЕТРОВЫХ КОЛЕБАНИЙ
УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ О ВЕТРЕ
НАД МОРЕМ В 1992-2006 гг**

МОСКВА 2012

СОДЕРЖАНИЕ

АННОТАЦИЯ

ВВЕДЕНИЕ

КАРТЫ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УРОВНЯ АЗОВСКОГО МОРЯ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ, ПОСТРОЕННАЯ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ О ВЕТРЕ НАД МОРЕМ В 1992-2006 гг

Рис.4. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 10 лет.

Рис.5. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 10 лет.

Рис.6. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 25 лет.

Рис.7. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 25 лет.

Рис.8. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 50 лет.

Рис.9. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 50 лет.

Рис.10. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 100 лет.

Рис.11. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 100 лет.

Рис.12. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.13. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.14. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.15. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.16. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.17. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.18. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.19. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

Рис.20. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового южного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

АННОТАЦИЯ

Атлас содержит карты и таблицы экстремальных характеристик сгонно-нагонных колебаний уровня Азовского моря редкой повторяемости и карты максимального повышения уровня при действии типовых штормов. Расчеты выполнены на основе решения системы уравнений теории длинных волн в однородной несжимаемой жидкости в поле силы Кориолиса и тестированы по материалам уровенных наблюдений. Экстремальные значения уровня определялись путем расчета непрерывной динамики уровня Азовского моря в течение 15 лет, с 1992 по 2006 г и последующим расчетом функций распределения экстремальных уровней за эти годы по методу В.Лангбейна. Для этой цели использовались поля ветра Гидрометцентра РФ, полученные по картам атмосферного давления и обобщенные данные о ледовой обстановке со спутников серии NOAA. Атлас может служить справочным пособием по уровню для учреждений и организаций, связанных с работами в Азовском море, а также учебными заведениями для подготовки специалистов в области морской практики и гидрометеорологии. Атлас подготовлен в Лаборатории морских течений и структуры вод ГОИНа Ю.Г.Филипповым.

ВВЕДЕНИЕ

В Азовском море наибольшие колебания уровня определяются ветровыми сгонно-нагонными процессами, поэтому работа посвящена расчету карт экстремальных характеристик сгонно-нагонных колебаний уровня моря. Все результаты получены на основе гидродинамического моделирования и современных синоптических данных.

1. Методика расчета

Моделирование сгонно-нагонных процессов основывается на решении системы уравнений для длинных волн в однородной несжимаемой жидкости в поле силы Кориолиса:

$$\frac{du}{dt} - fv = -(H + \zeta)g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \tau_x^w - \tau_x^b,$$

$$\frac{dv}{dt} + fu = -(H + \zeta)g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \tau_y^w - \tau_y^b,$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0.$$

Здесь u, v - составляющие полного потока, ζ - отклонение уровня от невозмущенного состояния; f - параметр Кориолиса; $\tau_{x,y}^b$ и $\tau_{x,y}^w$ - трение о дно моря и ветровое трение, H - начальная глубина места. В докритическом режиме течения с числом Фруда $F_r = (u^2 + v^2) / (gh) < 1$ граничные условия у берега можно записать в виде $(u_n, v_n) = 0$. На границе с глубоким морем (южная граница расчетной области проходит в Черном море в районе изобаты 1000 м.) принято условие излучения длинных гравитационных волн.

Трение ветра на поверхности и трение о дно моря определяются пропорциональными квадрату скорости ветра и средней скорости течения соответственно. Коэффициент трения о дно принимается постоянным и равным $2,6 \cdot 10^{-3}$.

Трение ветра на поверхности моря зависит от стратификации приводного слоя. Стратификация приводного слоя воздуха во время шторма исследовалась многими авторами. Сводку этих исследований можно найти в работе [8]. Однако, полученные ими сложные формулы, к сожалению, не универсальны и поэтому обычно не применяются. Наиболее просто, хотя и приближенно, стратификация описывается разностью между температурой воды и воздуха [9]. Анализ штормов над Азовским морем показал, что,

согласно классификации [9], наибольшую вероятность имеет случай равновесной и слабо неустойчивой стратификации. Поэтому расчеты были выполнены для этого случая.

Система дифференциальных уравнений решалась посредством явно-неявной аппроксимации и схемы расщепления, близкой к схеме [10] с одним дробным шагом по времени. В этой схеме член с параметром Кориолиса имеет второй порядок точности, а множители в нелинейном трении берутся на разных уровнях по времени, что повышает ее вычислительную устойчивость.

Экстремальные значения уровня определялись на основе расчетов непрерывной динамики Азовского моря в течение 15 лет и последующим расчетом функций распределения экстремальных уровней за эти годы. Функции распределения определялись отдельно для нагонов (положительные значения уровня) и сгонов (отрицательные значения уровня). Для их получения использовался метод В. Лангбейна [2], который позволяет рассчитать период повторяемости T лет по выборке, составленной из годовых максимумов уровня в каждой точке моря. Период повторяемости T для i -ой градации уровня вычисляется по формуле

$$T=1/(1-e^{-m/N}). \quad (2)$$

Здесь N — число лет наблюдений; m — число значений, превышающих уровень данной градации (невозмущенная поверхность моря), которое вычисляется по формуле

$$m^h = n^h \Phi_i^h \quad (\text{для нагонов})$$

$$m^c = n^c \Phi_i^c \quad (\text{для сгонов}), \quad (3)$$

где n^h и n^c — число случаев нагона и сгона, Φ_i^h , Φ_i^c —обеспеченности —отдельно для нагонов и сгонов, выраженные в долях единицы [2].

Пример расчета функции распределения вероятностей экстремальных уровней моря приведен на рис 1. По оси ординат здесь отложены значения функции распределения максимальных превышений уровня моря, по оси абсцисс – экстремальные превышения уровня моря в дециметрах.

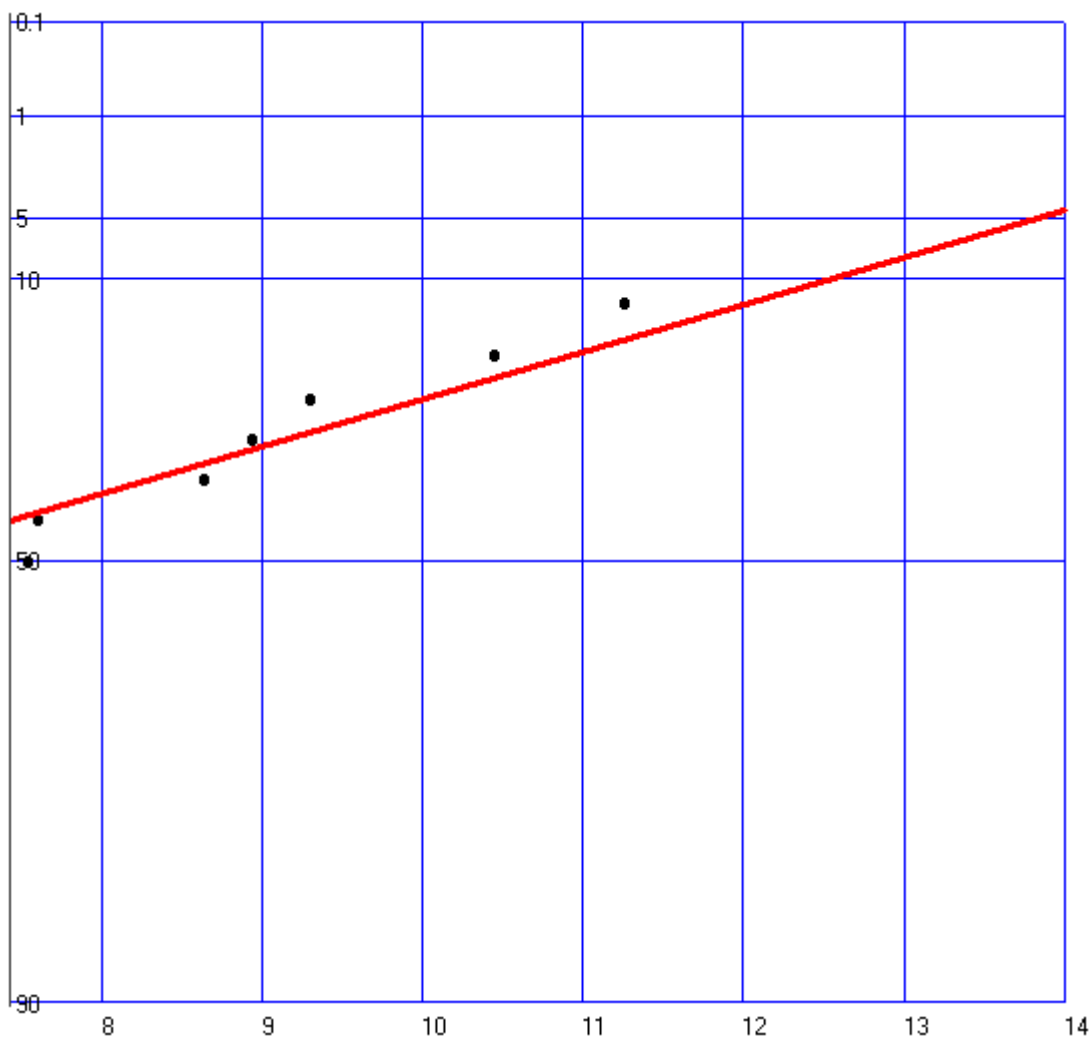


Рис.1 График эмпирической функции распределения максимальных годовых высот уровня редкой повторяемости (%) для района Таганрога.

2. Исходные данные

В расчетах использовались поля ветра Гидрометеоцентра РФ, полученные по картам атмосферного давления за 15 лет, с 1992 по 2006 г.

Дискретность ветровых данных по времени составляла 6 часов, по широте $0,33^\circ$, по долготе $0,25^\circ$. Для оценки возможности использования в расчетах таких полей ветра были выполнено следующее дополнительное исследование.

Из наблюдений известно наличие в Азовском море ветров суточного периода в теплое время года.

Поэтому для оценки адекватности используемых для расчетов ветровых полей последние были исследованы на содержание в нем местного ветра суточного периода. Для этого были выполнены расчеты периодограмм широтной составляющей ветра за три года (1992-1994). Пример результатов расчетов для 1993 г показан на следующем рисунке. По оси абсцисс здесь отложен период в часах.

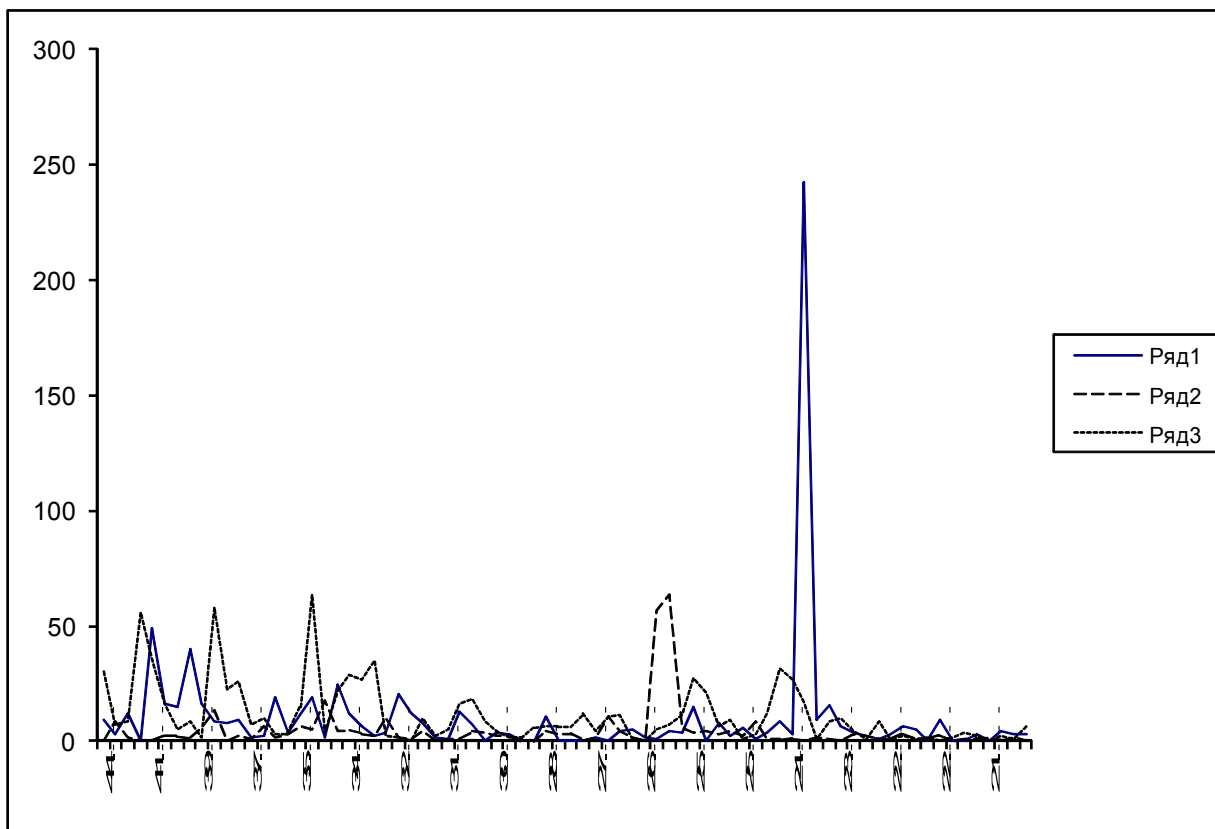


Рис.2 Периодограммы колебаний широтной составляющей ветра в теплый период (май-август 1993 г) Здесь 1 – точка в центре моря, 2 – На его северной окраине, 3 – на южной окраине.

На рисунке хорошо видны суточные колебания широтной составляющей ветра в центральной точке моря и отсутствии этих колебаний на его периферии. Практическое отсутствие суточных колебаний показали периодограммы колебаний ветра в холодное время года. Все эти выводы оказались справедливыми и для 1992 и 1994 г.

Полученные результаты показали, что принятые для расчетов экстремальных характеристик уровня крупномасштабные поля ветра действительно отражают даже местные особенности ветра над Азовским морем и кроме того, показали наиболее вероятную причину суточных колебаний уровня Азовского моря.

В годовом ходе уровня Азовского моря выделяются два периода: весенне-летний с приращением уровня и осенне-зимний с его уменьшением (Рис.3). Здесь представлены

осредненные за 12 лет (1991-2002) графики сезонного хода уровня на пяти станциях.

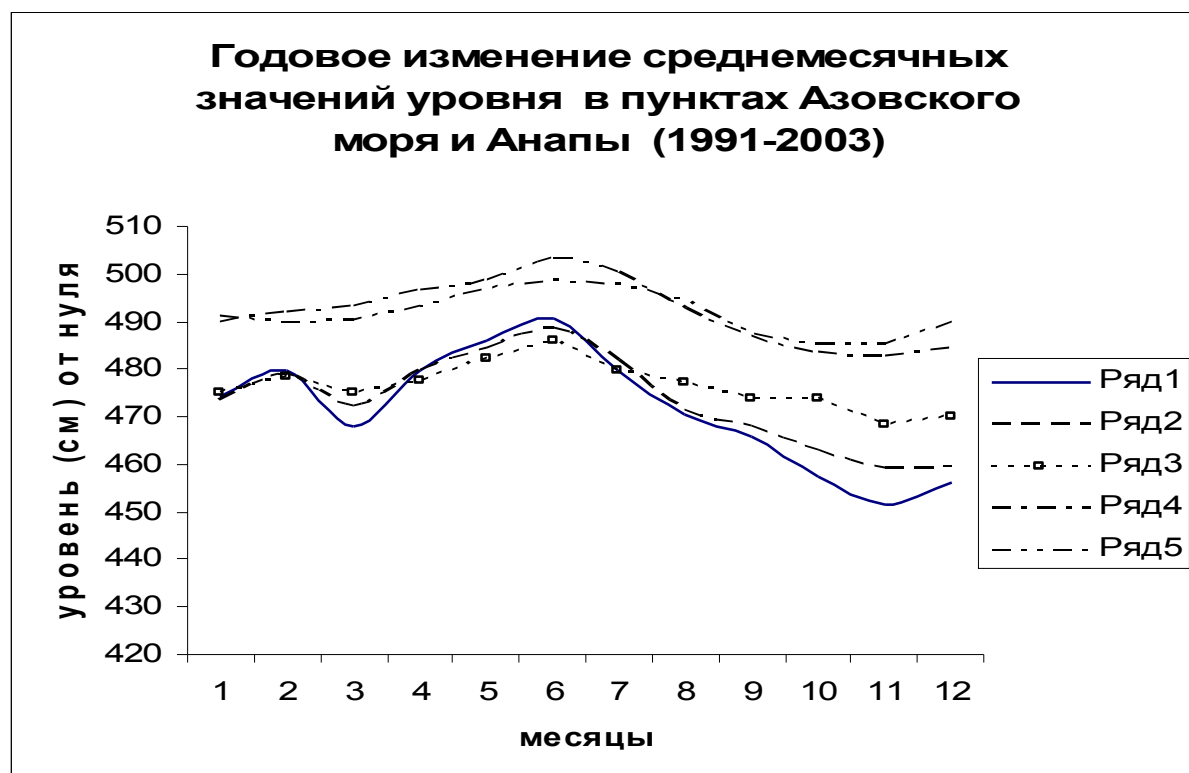


Рис 3. Годовой ход уровня в пунктах Таганрог (1), Ейск (2), Пр.-Ахтарск (3), Темрюк (4) и Анапа (5) [5].

Уровень здесь отсчитывается от нуля поста, расположенного на 5 м ниже нуля Кронштадского футштока. Годовой ход уровня в юго-восточной части моря (Темрюк) близок к изменению уровня на восточном побережье Черного моря. Уровень в северо-восточной (Таганрог, Ейск) и восточной (Приморско-Ахтарск) части моря в среднем ниже его южной части (Темрюк), что связано с преобладанием ветров северных и восточных румбов [7,11]. Понижение уровня в Таганрогском заливе в феврале-марте обусловлено сбросом вод из Цимлянского водохранилища. Для сравнения на рисунке приводится также сезонное изменение уровня в ближайшем пункте Черного моря, показывающем, что среднемесячный и осредненный за 12 лет уровень прикерченского района Черного моря близок к соответствующему уровню южной части Азовского моря.

Среднее за указанные 12 лет наибольшее отклонение среднемесячного уровня от среднегодового составило по всему Азовскому морю в июне + 12,6 см, в ноябре –минус 10,5 см. Эти данные нужно вводить как поправки к расчетным экстремальным значениям уровня в зависимости от сезона.

Для характеристики ледовой обстановки в Азовском море за рассмотренные 15 лет использовались обобщенные данные с искусственных спутников Земли серии NOAA (Таблица 1) и карты распределения льда в умеренные и мягкие зимы (суровых зим в этот период не было), представленные в работе [1].

Таблица 1

Типы зим в районе Азовского моря за период 1992-2007 г[1]

1992-	93	94	95	96	97	98	99	2000-	01	02	03	04	05	06
1993	-94	-95	-96	-97	-98	-99	-00	2001	-02	-03	-04	-05	-06	-07
М	У	М	У	У	У	М	М	М	У	У	М	М	У	М

М –мягкая зима, У –умеренная зима

При расчетах в периоды, когда в каком-либо районе моря был сплоченный и сплошной лед (9-10 баллов), ветер над этим районом отключался. Такие условия наблюдаются, согласно [12], в январе, феврале и частично в марте в умеренную зиму.

3. Испытание модели

Испытание модели проводилось по данным о приземном давлении, полученным по региональной модели в ГМЦ РФ. Рассчитанные поля ветра имели дискретность по широте - 0,33 °, по долготе - 0,25 °, по времени - 6 часов. Расчеты выполнялись для весенних месяцев 1998 г. Результаты расчетов сравнивались с среднесуточными данными по уровню моря в пунктах, расположенных на российской части побережья Азовского моря и представленных в Ежегодных данных по гидрометеорологическому состоянию моря [3].

Для оценки точности расчета вычислена средняя абсолютная ошибка расчета

$$e_p = (\sum^N |f_i - O_i|) / N,$$

где f_i – расчетная величина среднесуточного уровня, O_i – наблюдаемая величина среднесуточного уровня, N- число дней. Средняя абсолютная ошибка расчетов уровня по трем пунктам наблюдений – Приморско-Ахтарск, Ейск и Таганрог составила $e_p=10,3$ см. Ошибки расчета связаны, по-видимому, с дискретностью ветровых данных по времени.

4. Результаты расчетов

Карты экстремальных значений уровня редкой повторяемости на акватории Азовского моря приводятся на рисунках 4-11.

Область малых колебаний уровня на рисунках находится в центре моря и имеет форму, похожую на эллипс, вытянутый в меридиональном направлении. Такая конфигурация изолиний определяется преобладающими направлениями ветра - восточных и западных румбов.

Кроме карт экстремальных сгонно-нагонных изменений уровня редкой повторяемости были выполнены расчеты максимальных нагонов для типовых синоптических ситуаций известной повторяемости (рисунки 12-19). Для расчетов использовались типовые поля ветра, указанные в [7].

Вероятность возникновения типовых синоптических ситуаций в климатическом плане представлена в таблице 2.

Таблица 2.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ (%) ТИПОВЫХ ПОЛЕЙ ВЕТРА ПО СЕЗОНАМ

Ветер	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
ВЕСНА								
0-5 м/с	6,3	6,4	8,9	6,3	7,2	6,9	7,5	5,6
5 - 10 м/с	2,9	3,9	6,4	1,5	2,9	5,1	2,9	3,8
10 - 15 м/с	1,2	2,3	2,4	0,3	1,8	2,4	1,1	1,6
15-20 м/с	0,1	0,2	1,2	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1
ЛЕТО								
0-5 м/с	11,2	8,9	7,2	5,2	5,1	6,9	9,6	6,8
5 - 10 м/с	2,8	5,8	7,6	0,4	2,1	2,6	3,3	4,4
10 - 15 м/с	0,3	2,0	4,7	0	0,5	0,6	0,7	0,9
15-20 м/с	0	0,1	0,1	0	0	0,1	0,1	0
ОСЕНЬ								
0 - 5 м/с	7,3	8,1	8,4	4,9	5,7	7,1	7,7	7,1
5 - 10 м/с	3,5	4,4	4,8	0,7	3,4	5,0	3,3	4,8
10- 15м/с	1,0	2,7	1,6	0	1,5	1,7	0,9	2,5
15 - 20 м/с	0,3	0,4	0,4	0	0	0,2	0,2	0,3
20-25 м/с	0	0	0	0	0	0	0	0,1
ЗИМА								
0-5 м/с	5,7	5,7	8,7	5,4	5,5	3,7	4,9	5,0
5-10 м/с	2,9	5,1	7,2	1,9	3,6	2,7	2,6	5,1
10-15 м/с	0,6	3,7	2,4	0,4	3,5	2,6	2,5	3,7
15-20 м/с	0,3	0,8	1,1	0,1	0,1	0,8	0,8	0,7

20-25 м/с	0	0	0,2	0	0	0	0	0
-----------	---	---	-----	---	---	---	---	---

На рисунках 12 – 19 представлены карты максимальных за период шторма подъемов уровня на акватории моря (максимальных отклонений от начальной невозмущенной поверхности моря) независимо от времени наступления этого максимума и построены для типовых штормов со скоростью ветра в диапазоне 15 – 20 м/с. Более сильные ветры встречаются редко и о них нет необходимых для расчета сведений. Данные по продолжительности ветров также взяты из справочника [6]. Расчеты выполнены на время средней продолжительности ветровых полей.

Следует заметить, что реальный подъем уровня у отлогого берега может быть обусловлен еще и волновым нагоном, образующимся в результате обрушения ветровых волн и волн зыби в прибойной зоне, что не определяется в рамках данной задачи. Поэтому полученные результаты могут несколько отличаться от наблюдаемых величин уровня непосредственно на отмелем побережье или, например, в глубине воронкообразного залива.

5. Список использованной литературы

1. Боровская Р.В., Ломакин П.Д., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О. Современное состояние ледовых условий в Азовском море и Керченском проливе на базе спутниковой информации. Препринт МГИ, Севастополь, 2008, 42 с.
2. Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. - Л., Гидрометеиздат, 1988, - 230 с.
3. ГВК Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. т.ХІІІ, вып 1, Азовское море, Сочи, (1991-2006 гг)
4. ГВК Ежегодные данные о режиме и качестве вод морей и морских устьев рек. т.ХІV, вып 1, Черное море, Сочи, (1991-2006 гг)
5. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. Гидрометеиздат, Л, 1962, 855 с.
6. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, т.3, Азовское море, Гидрометеиздат, Л, 1986
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Проект "Моря СССР", Т.V. Азовское море, Гидрометеиздат. С-П, 1991
8. Панин Г.Н., Кривицкий С.В., Аэродинамическая шероховатость поверхности водоема. – М., Наука. 1992. –135 с.
9. Соркина А.И. Построение карт ветровых полей для морей и океанов.- М., Гидрометеиздат, 1958. –75 с.
10. Филиппов Ю.Г. Гидродинамические расчеты нагонов на восточном побережье Северного Каспия. - Труды ГОИН. Юбилейный выпуск 2, 1995, с.147-154.
11. Филиппов Ю.Г., Заклинский Г. В. Влияние ветровых денивеляций на среднесезонное положение уровенной поверхности Азовского моря. Метеорология и гидрология, 2000, N 1, с.110-112.
12. Фомичева Л.А. Льды в Азовском море. – Труды ГОИН, вып.168, 1986, с. 3-10.

**КАРТЫ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УРОВНЯ
АЗОВСКОГО МОРЯ РЕДКОЙ ПОВТОРЯЕМОСТИ,
ПОСТРОЕННАЯ НА ОСНОВАНИИ ДАННЫХ О
ВЕТРЕ НАД МОРЕМ В 1992-2006 гг**

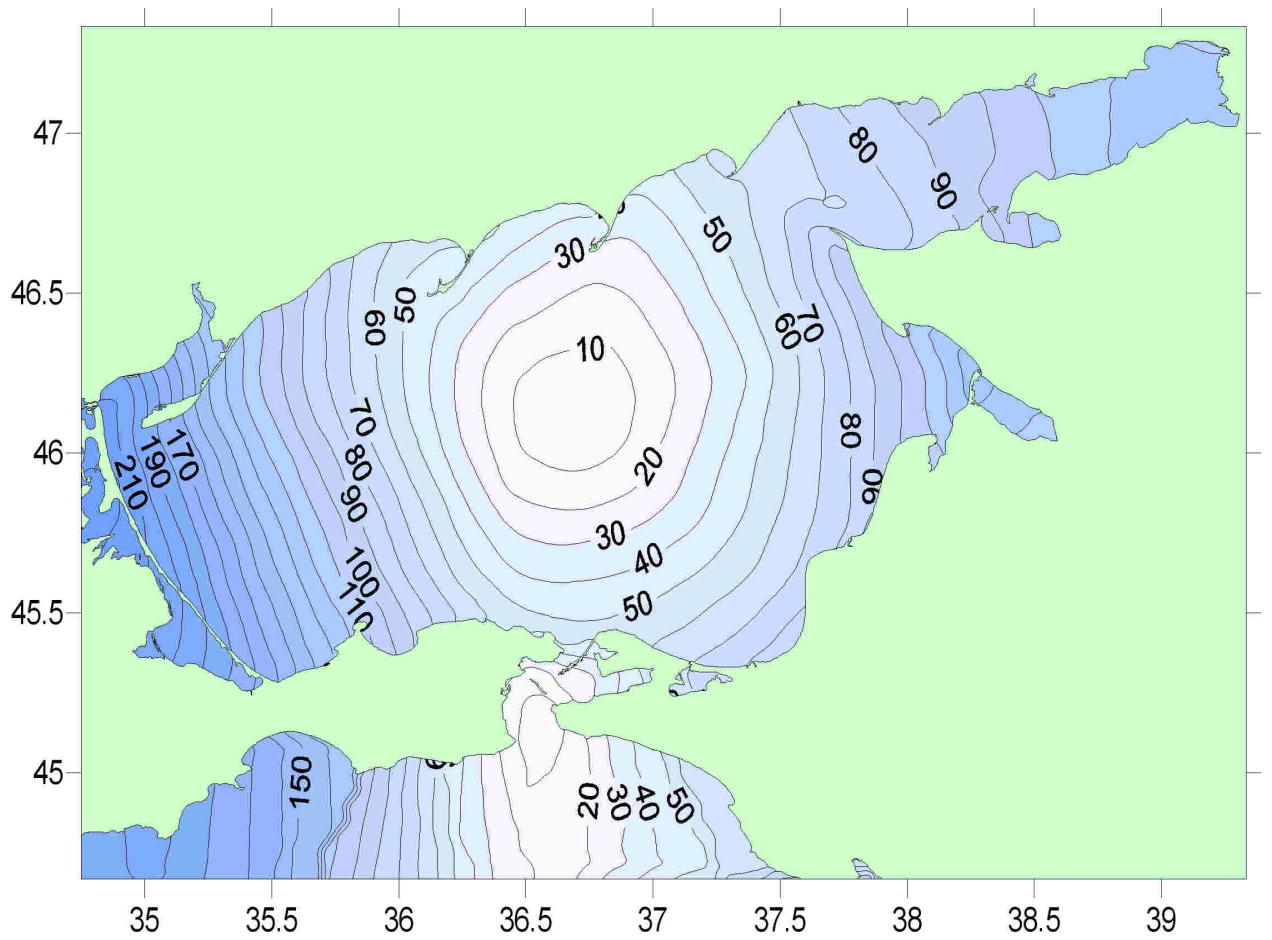


Рис.4. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 10 лет.

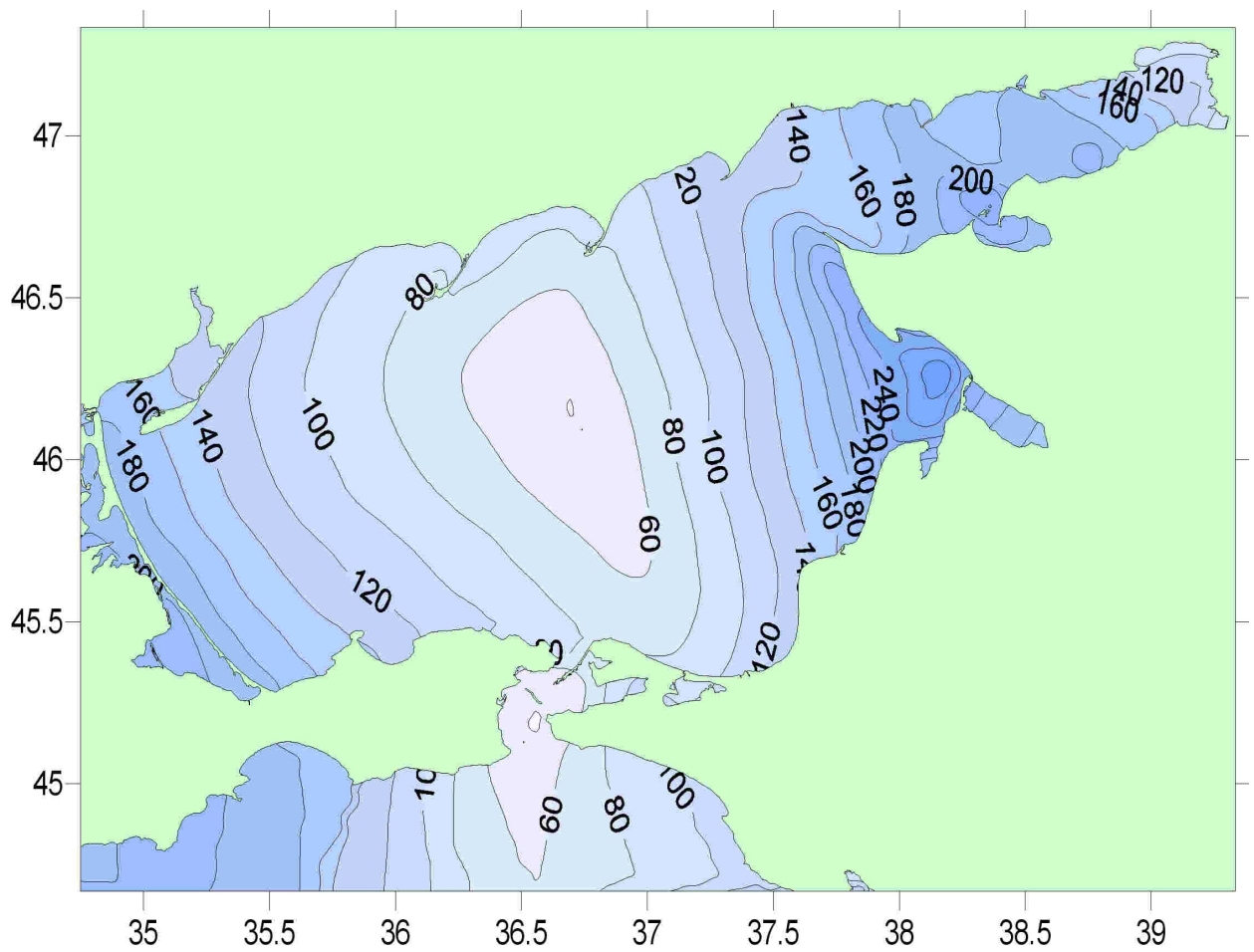


Рис.5. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 10 лет.

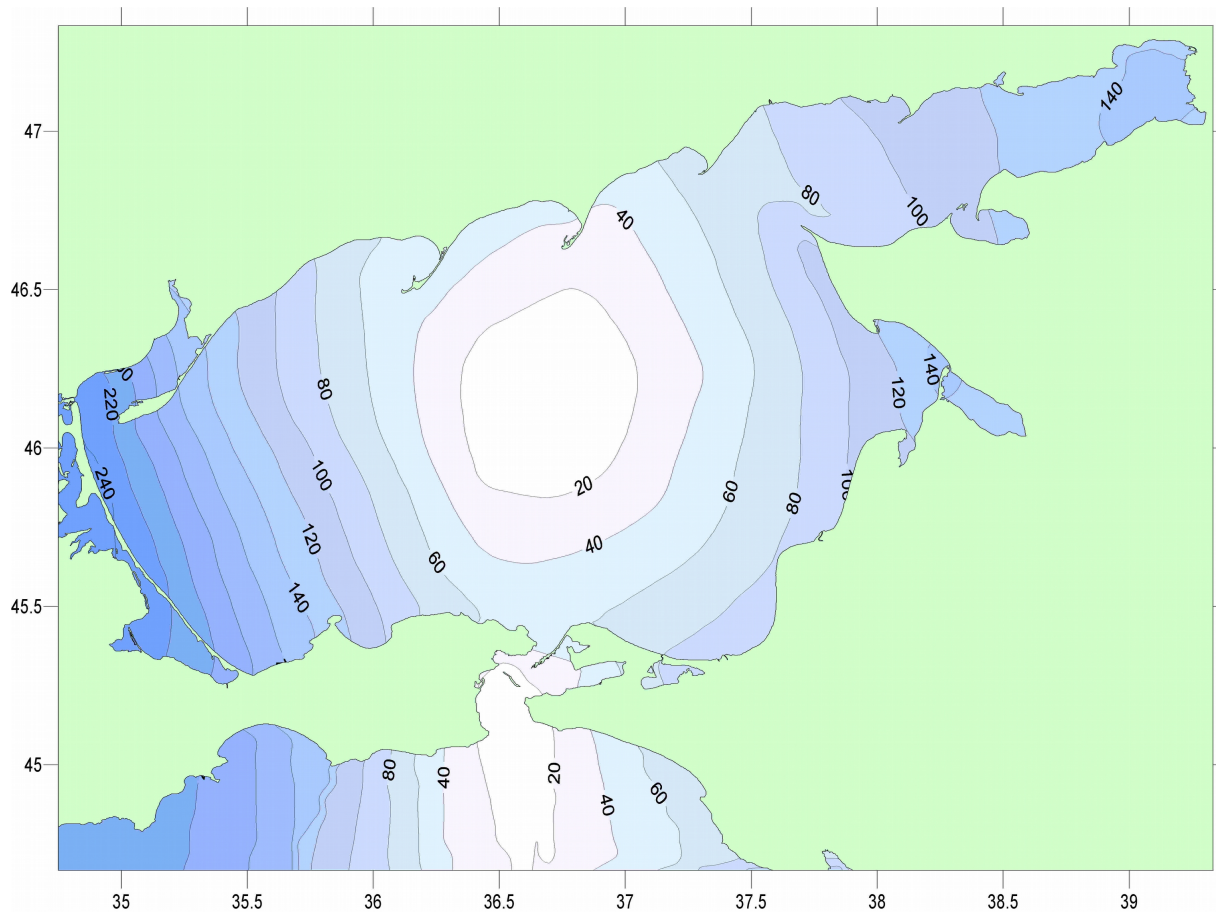


Рис.6. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 25 лет.

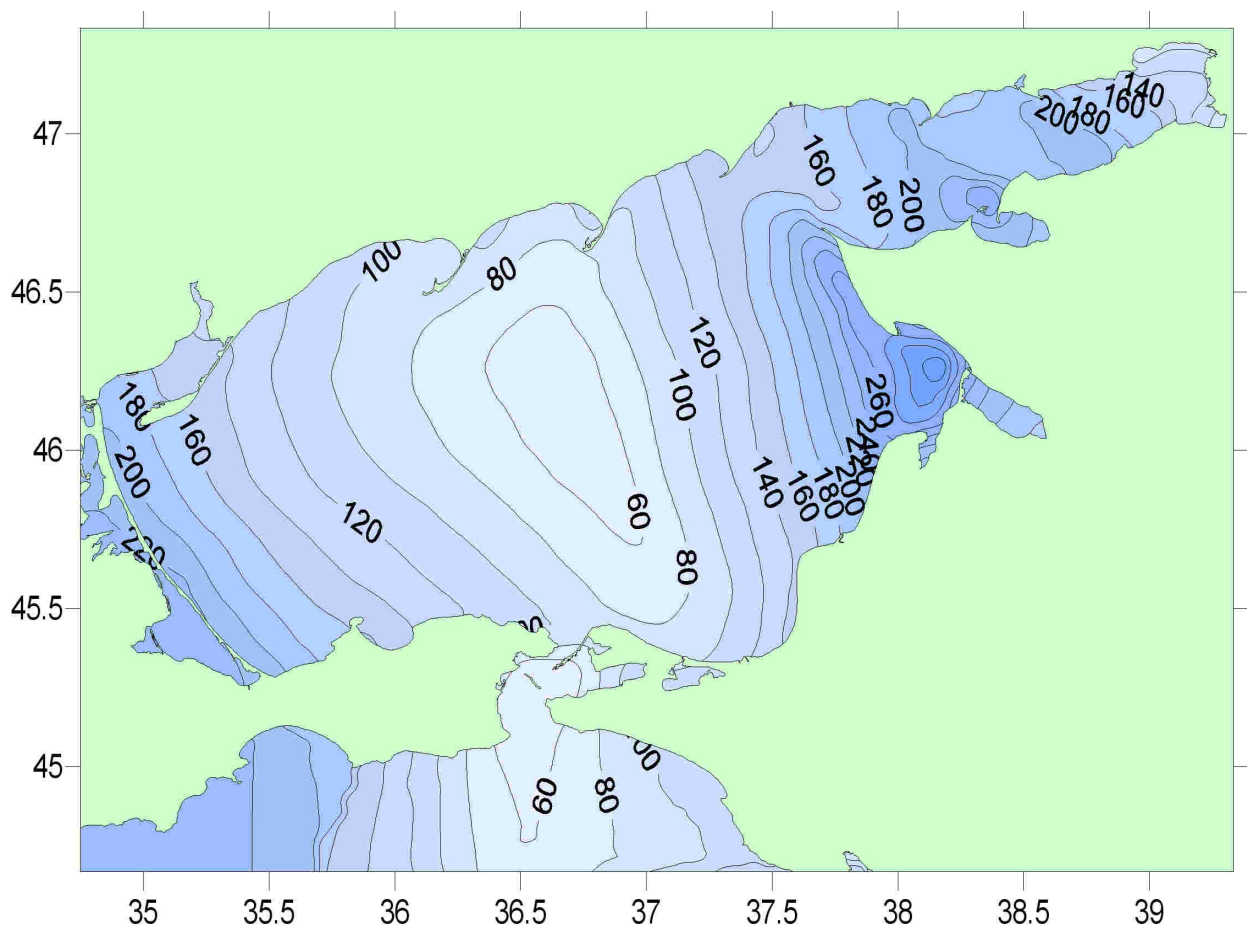


Рис.7. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 25 лет.

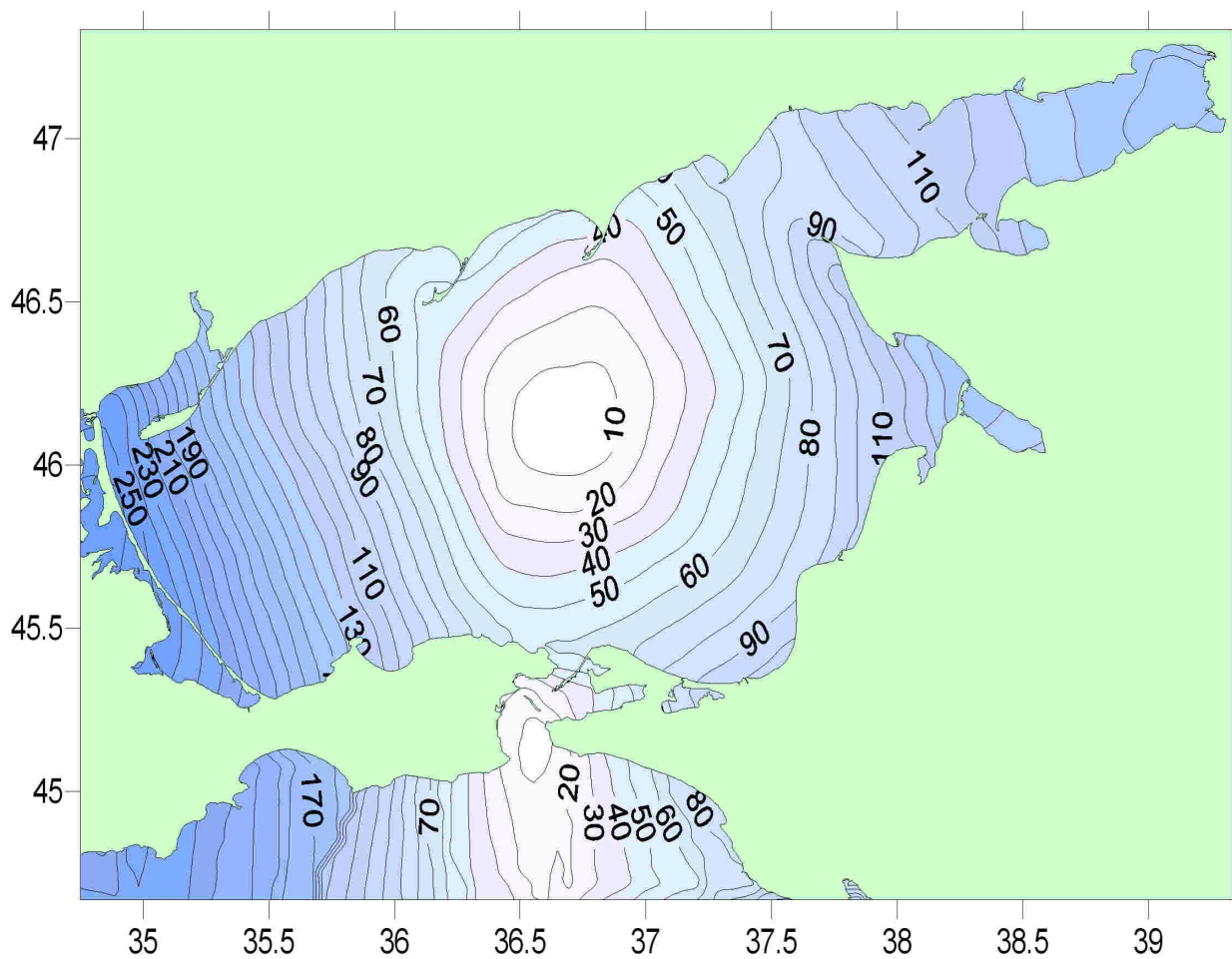


Рис.8. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 50 лет.

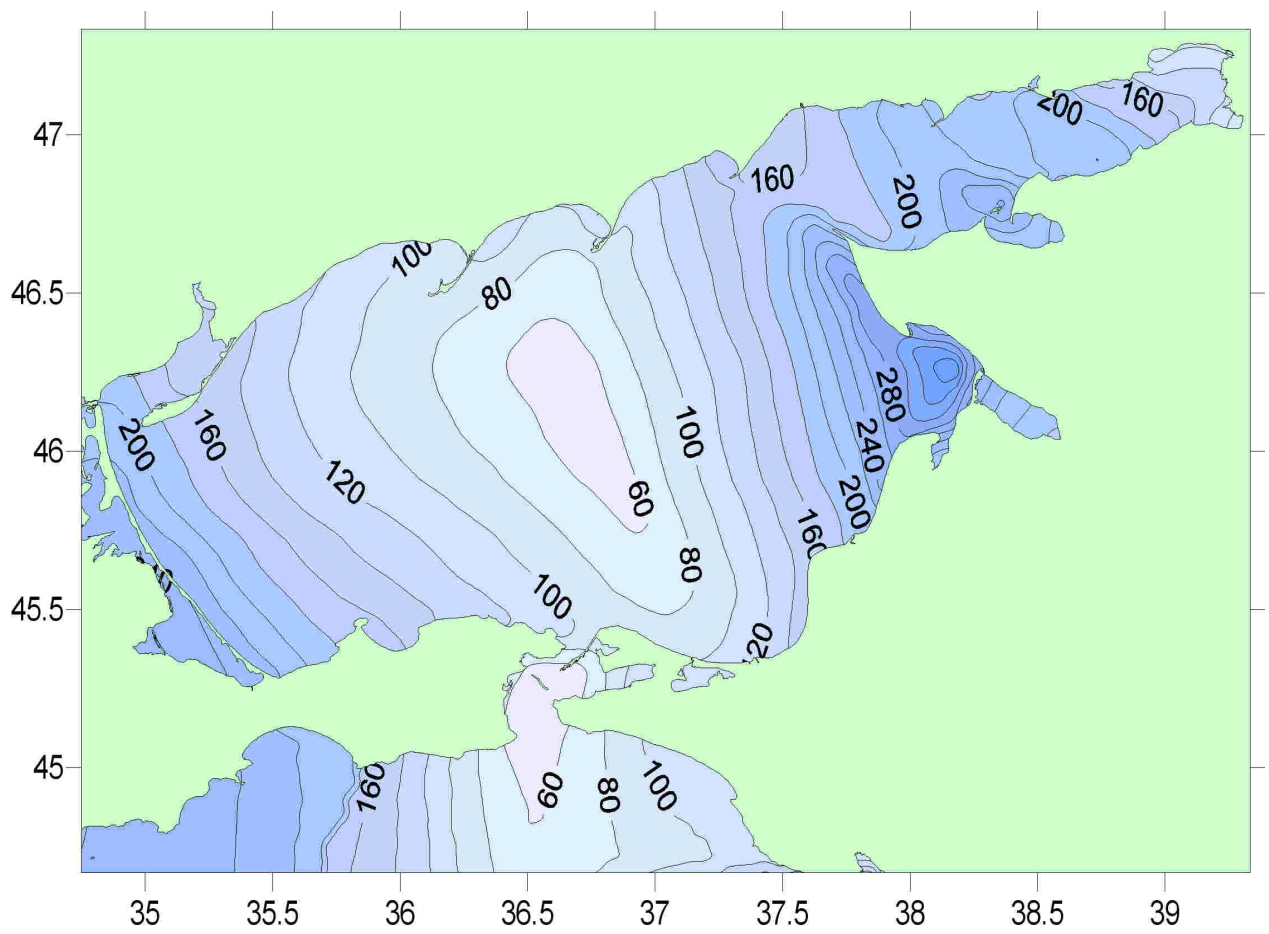


Рис.9. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 50 лет.

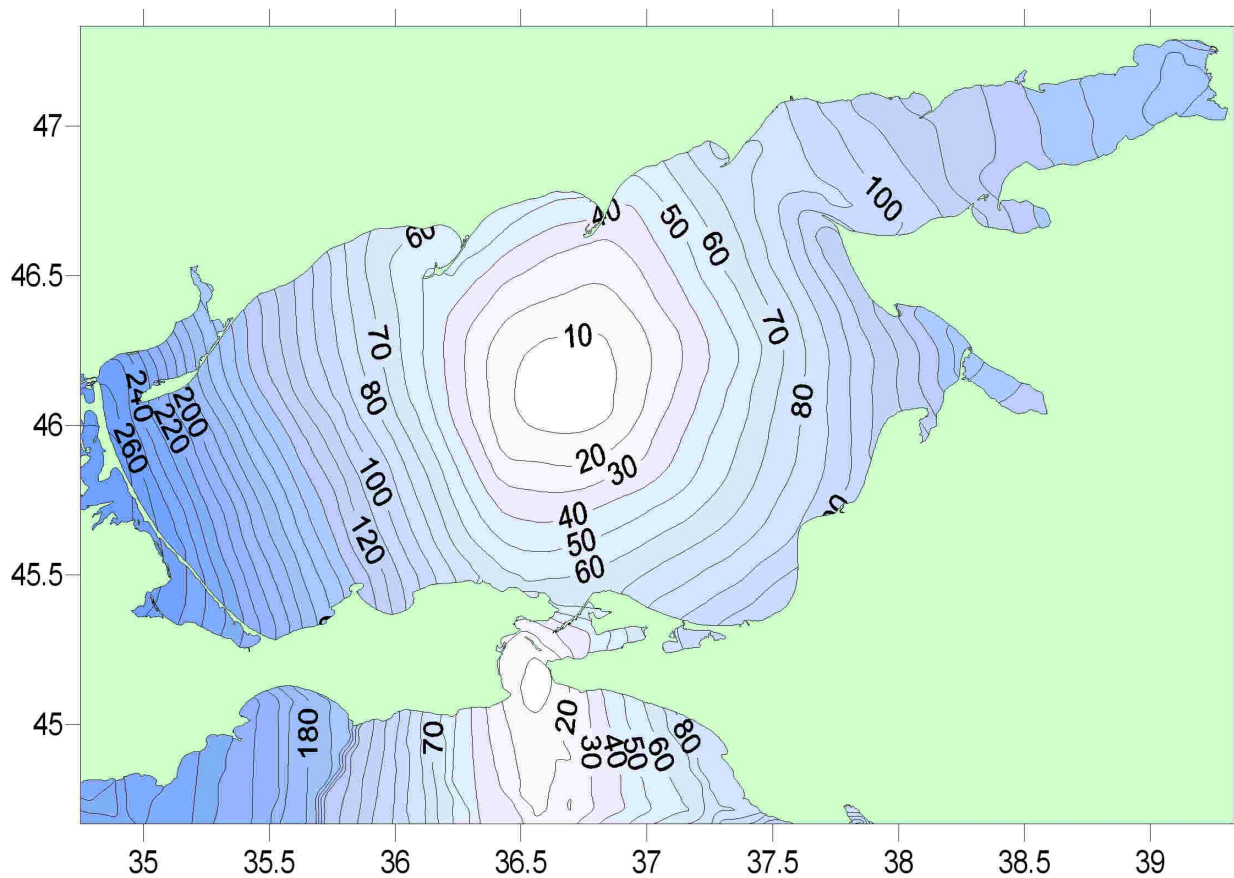


Рис.10. Величина нагонного повышения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 100 лет.

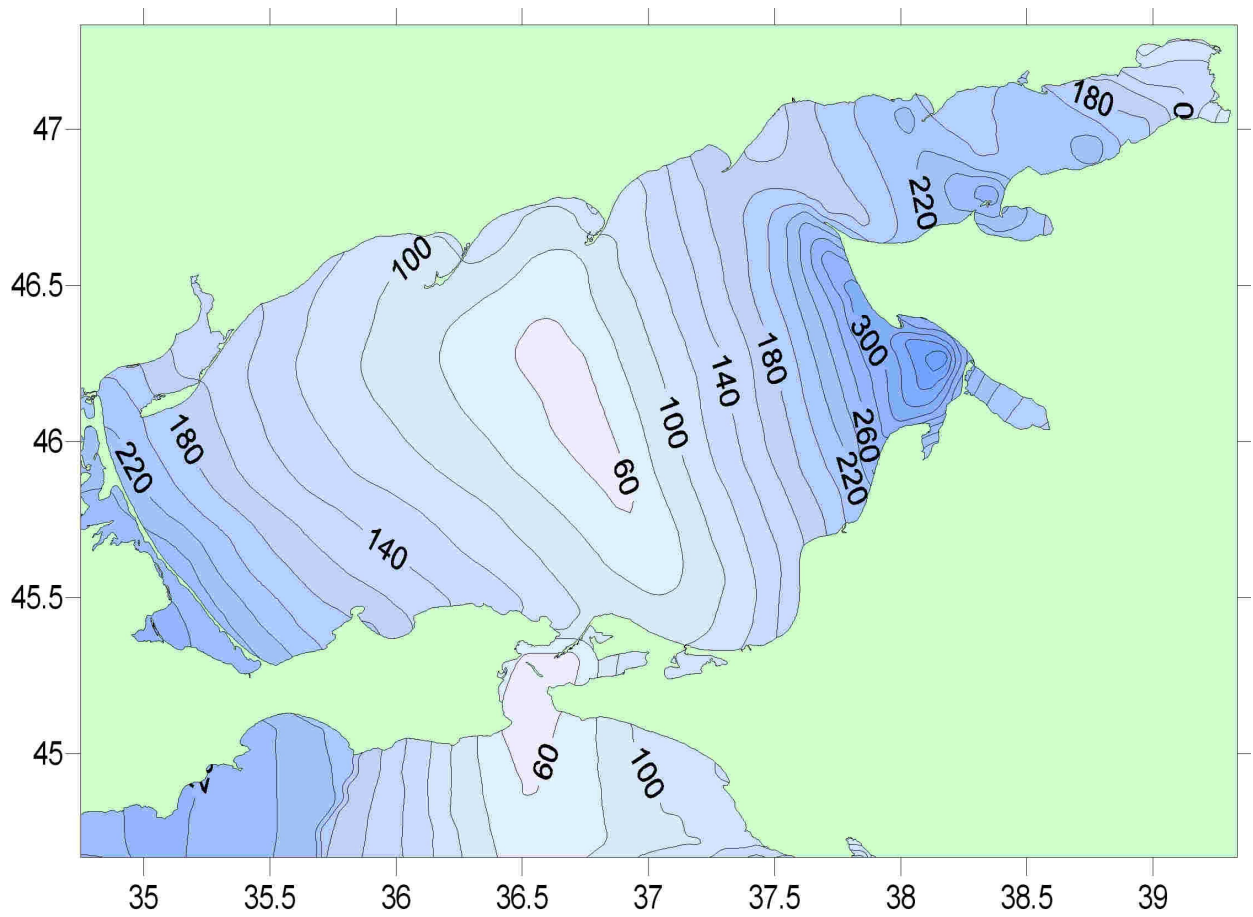
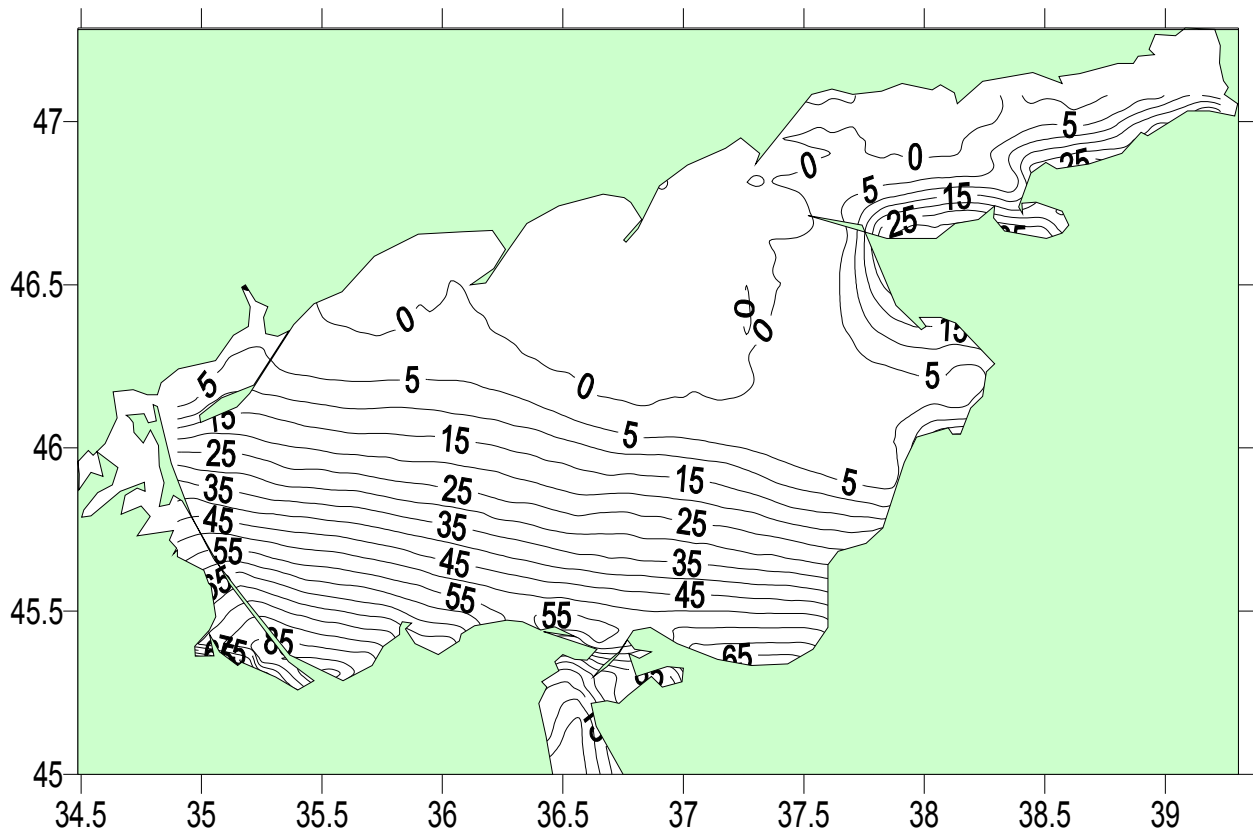


Рис.11. Величина сгонного понижения уровня Азовского моря (см), возможная 1 раз в 100 лет.

**КАРТЫ МАКСИМАЛЬНОГО ПОДЪЕМА УРОВНЯ АЗОВСКОГО
МОРЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ТИПОВЫХ ШТОРМОВ**

а)



б)

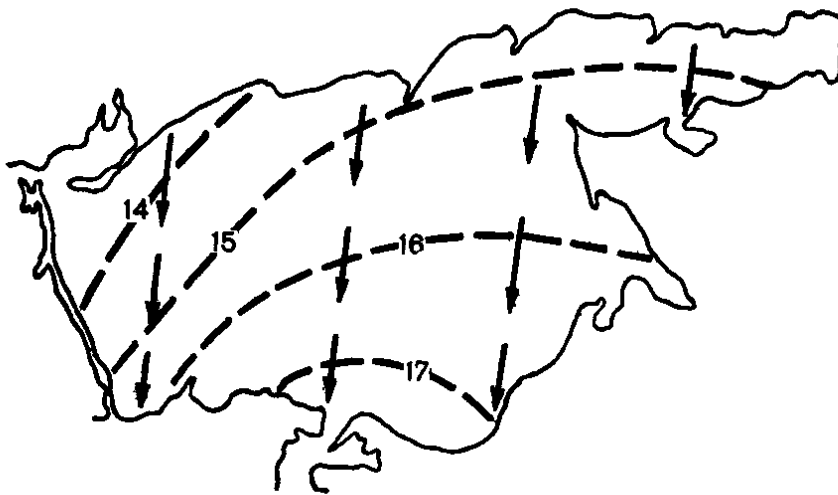
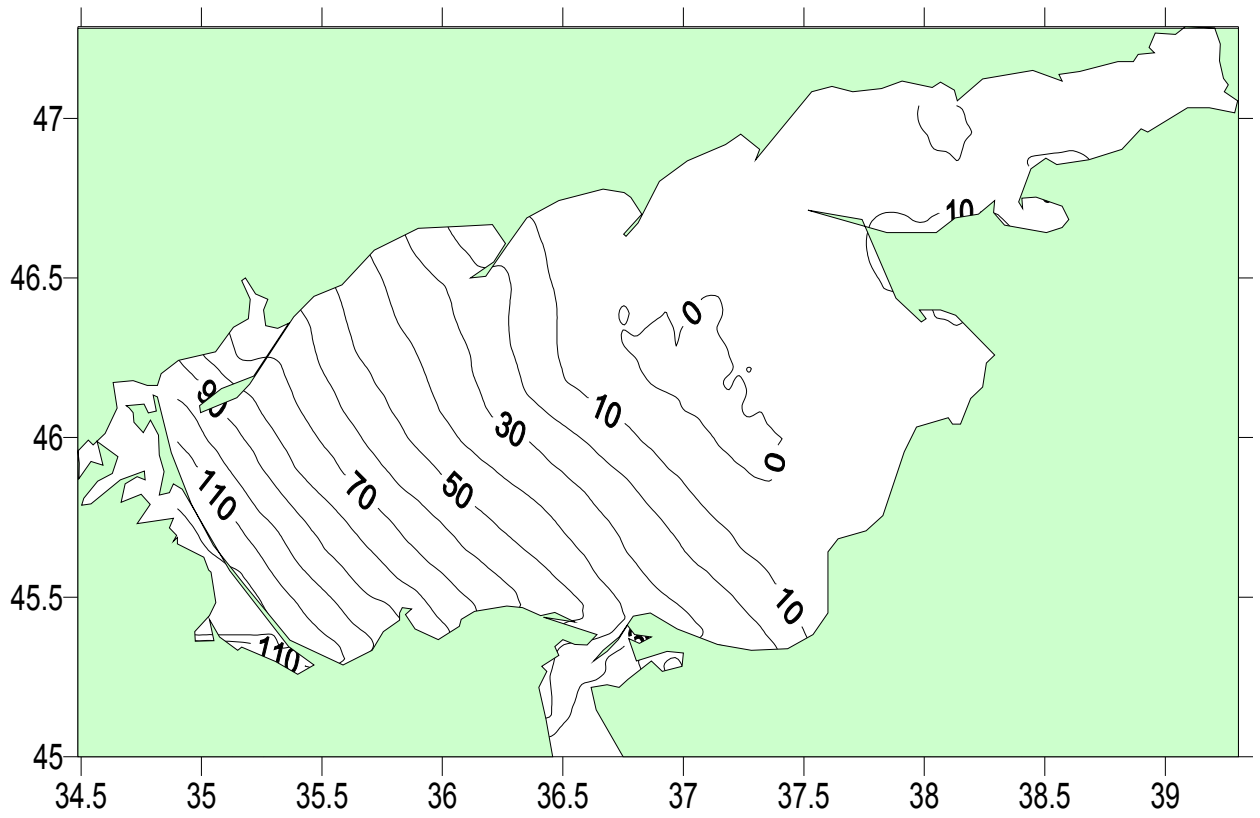


Рис.12 Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северного шторма с градицией скорости 15-20 м/с (б).

а)

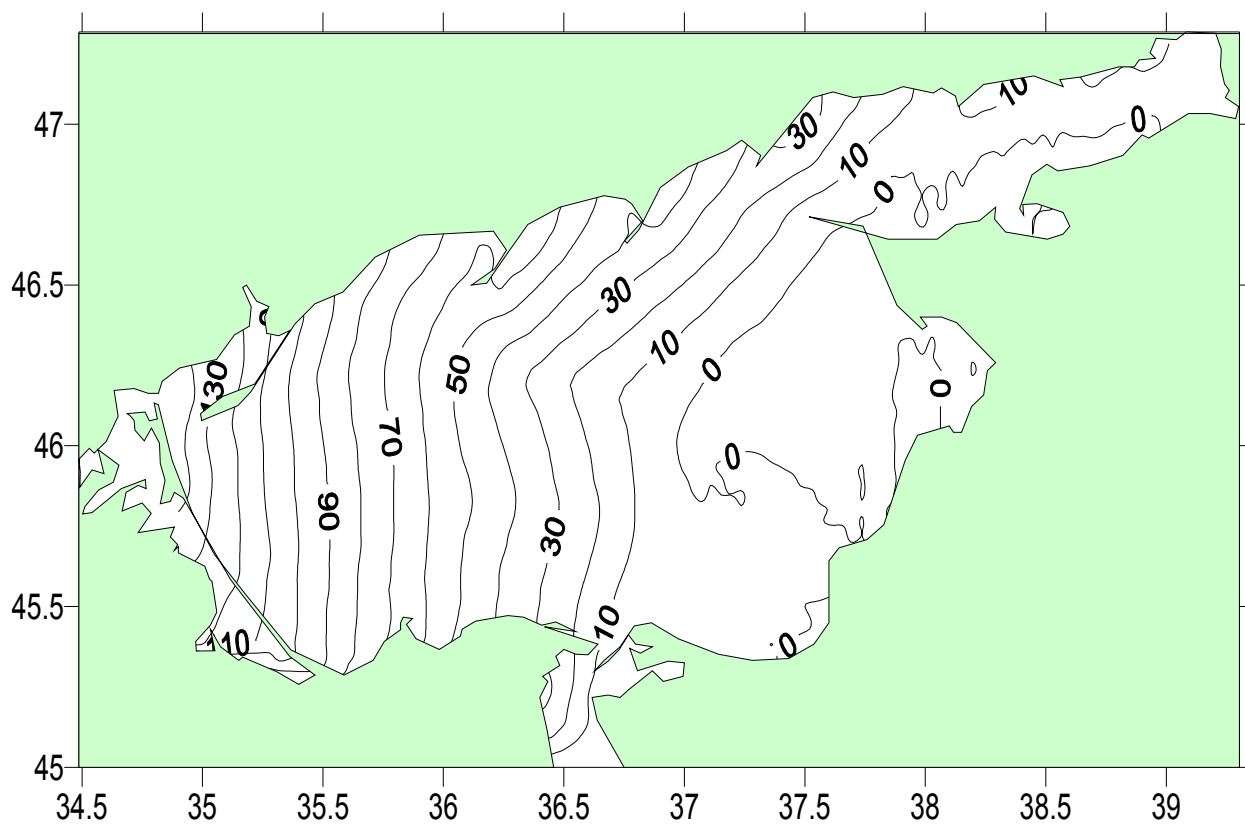


б)



Рис.13. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северо-восточного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

a)



б)

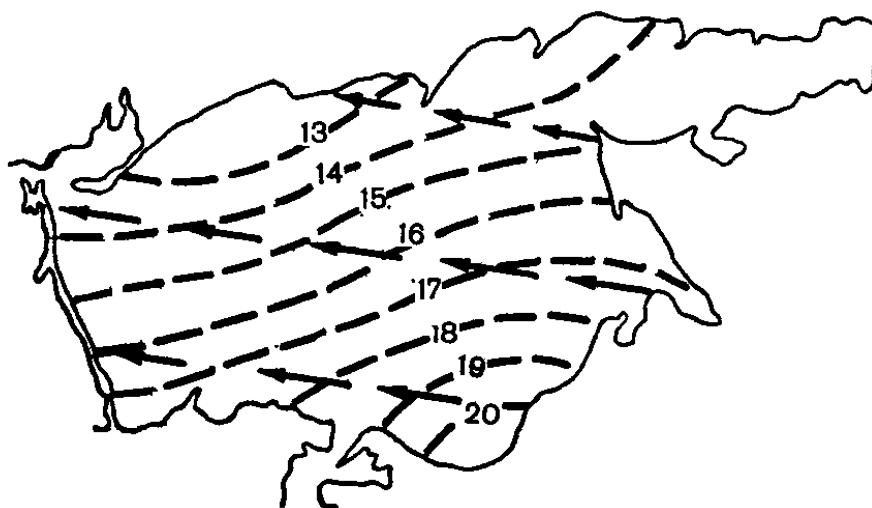
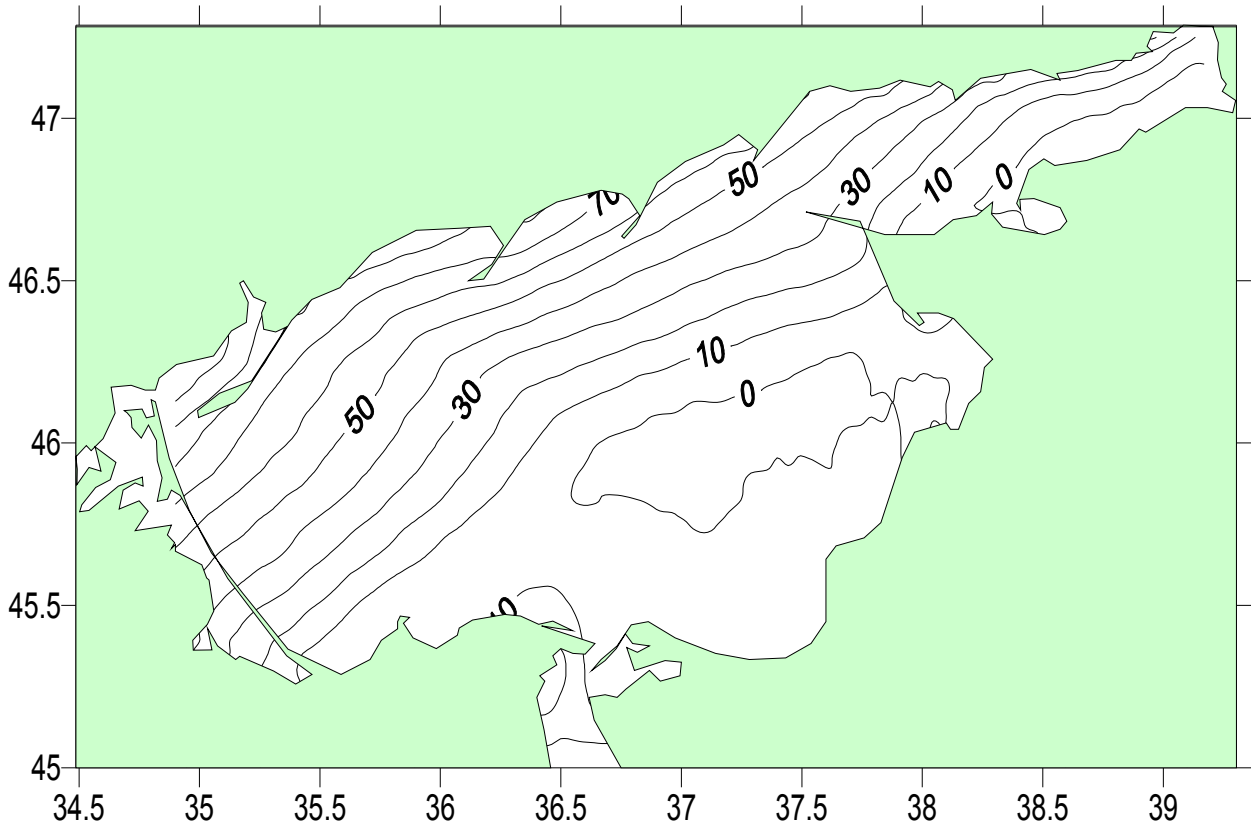


Рис.14. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового восточного шторма с градиацией скорости 15-20 м/с (б).

а)



б)

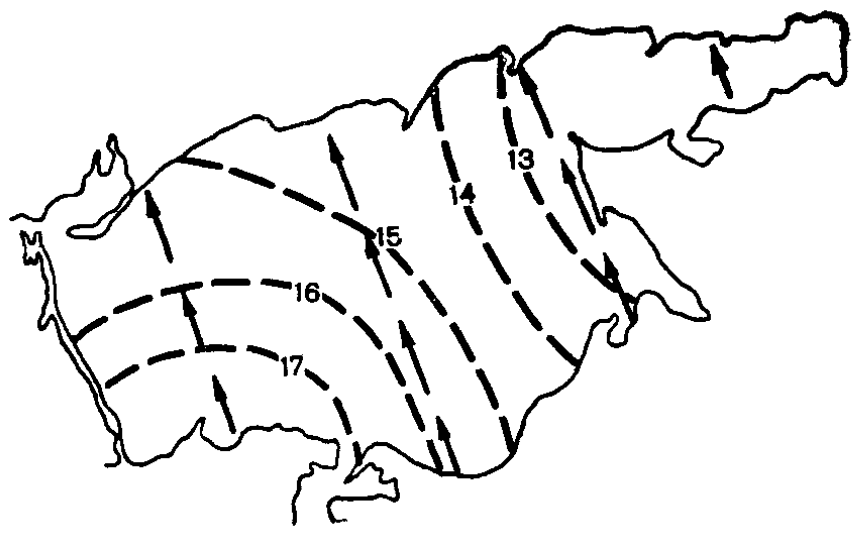
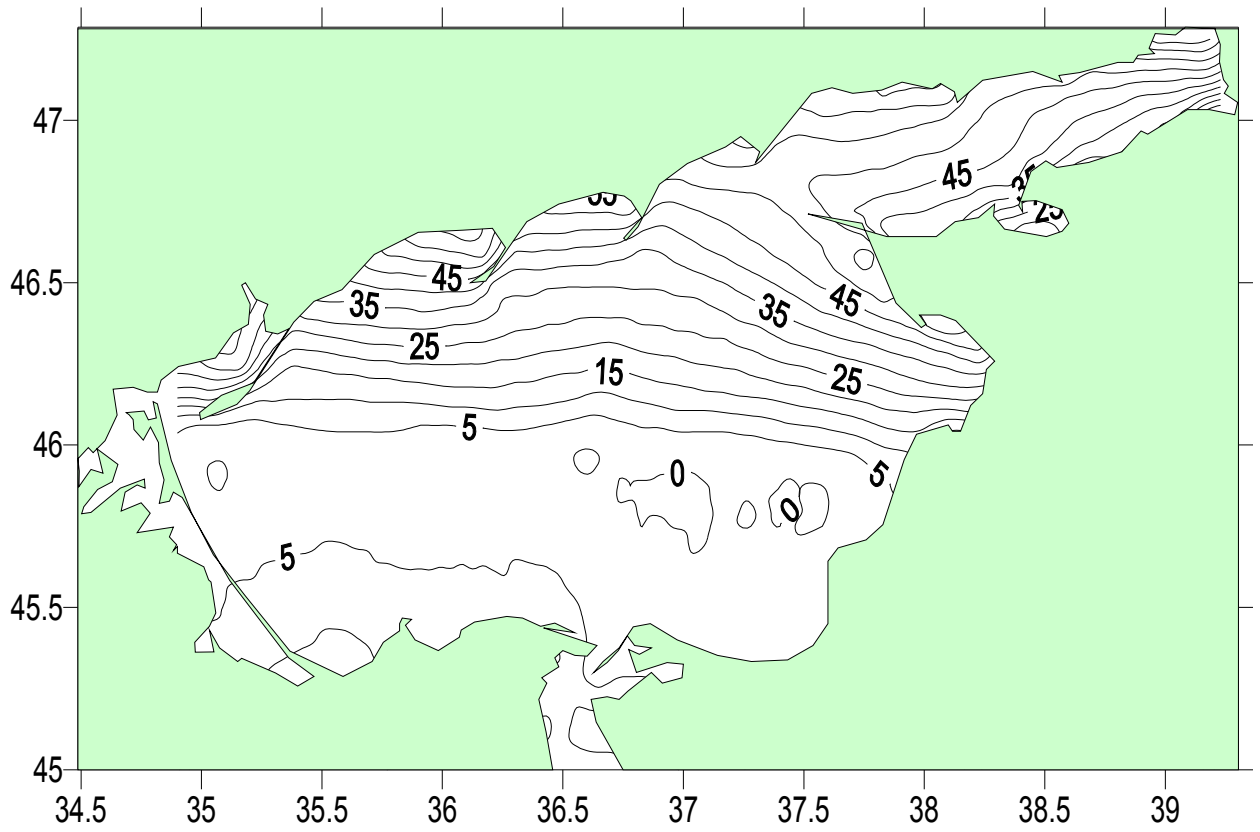


Рис.15. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового юго-восточного шторма с градицией скорости 15-20 м/с (б).

а)

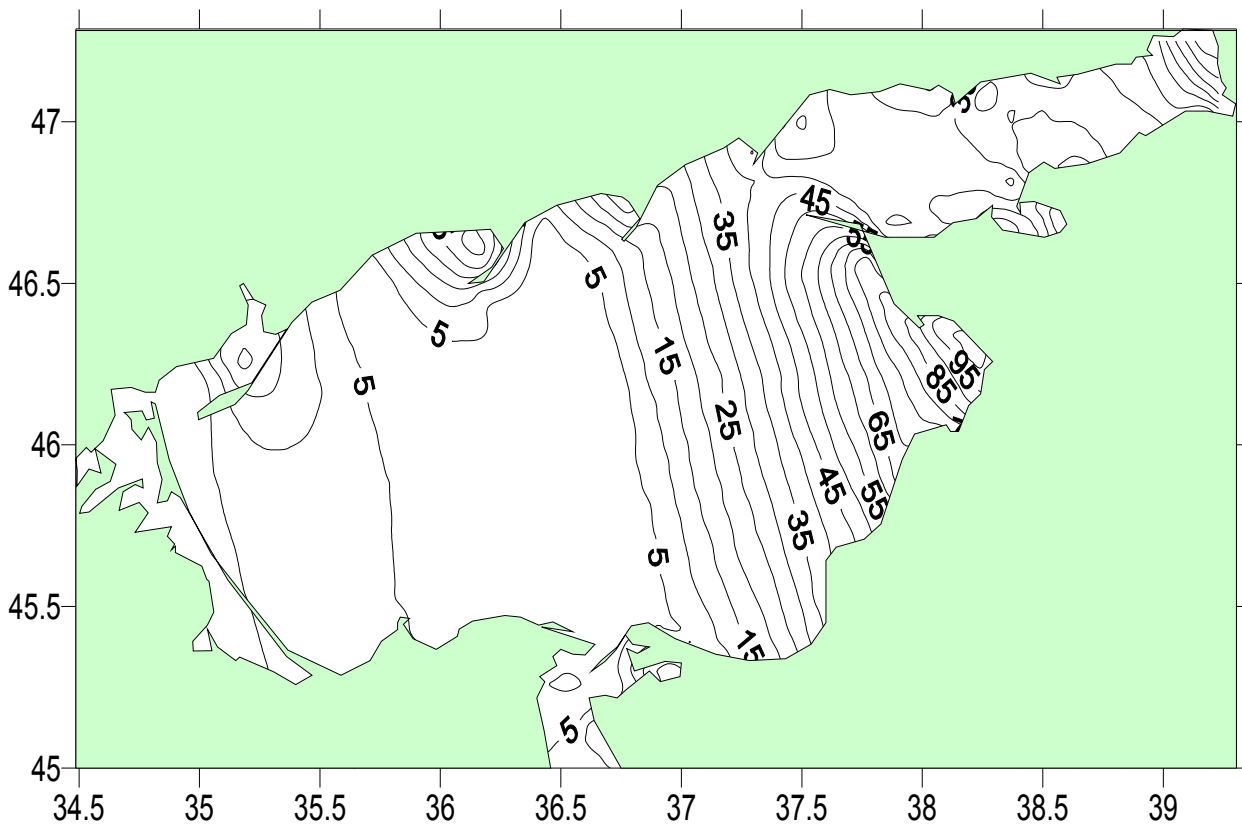


б)



Рис.16. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового южного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

a)



б)

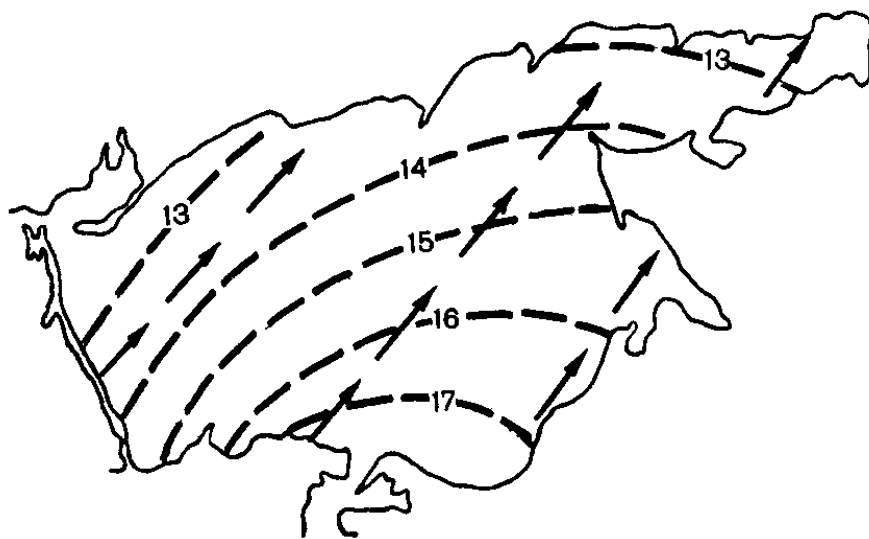
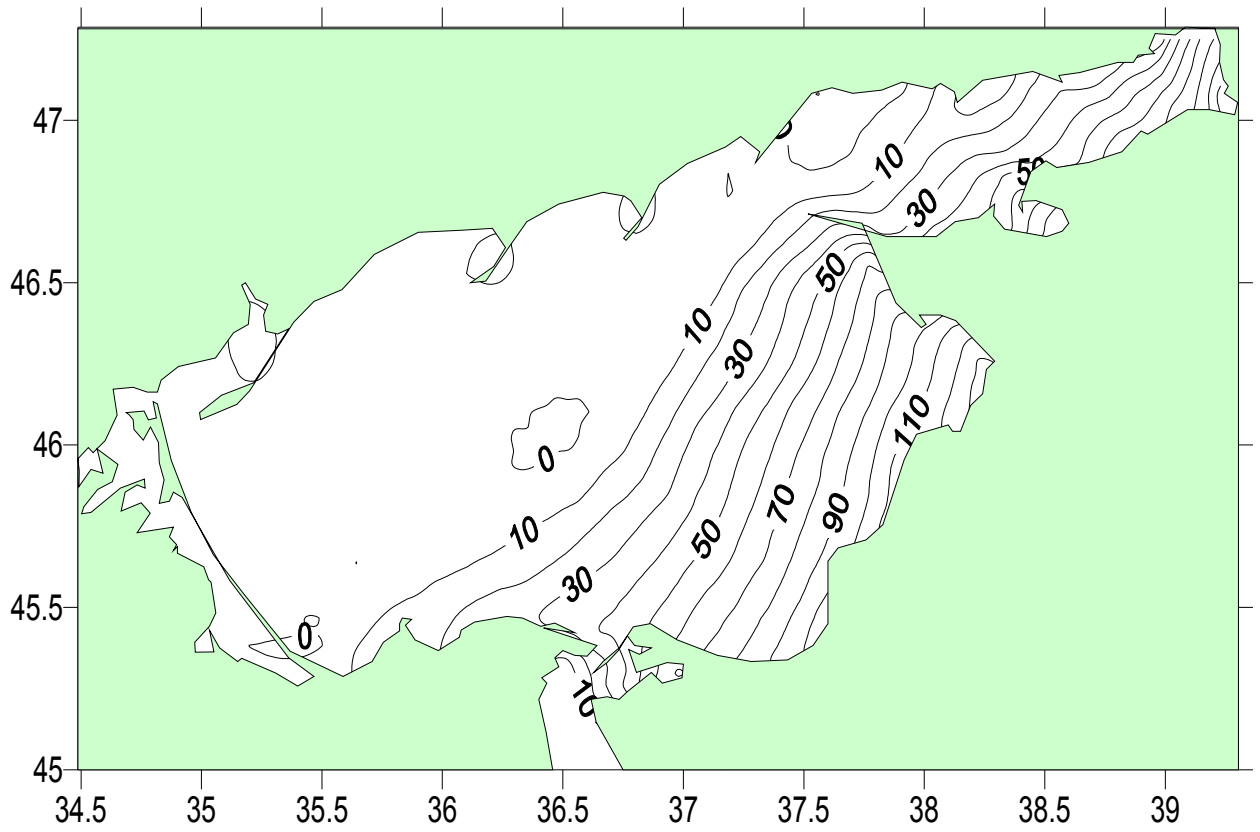


Рис.17. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового юго-западного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

а)



б)

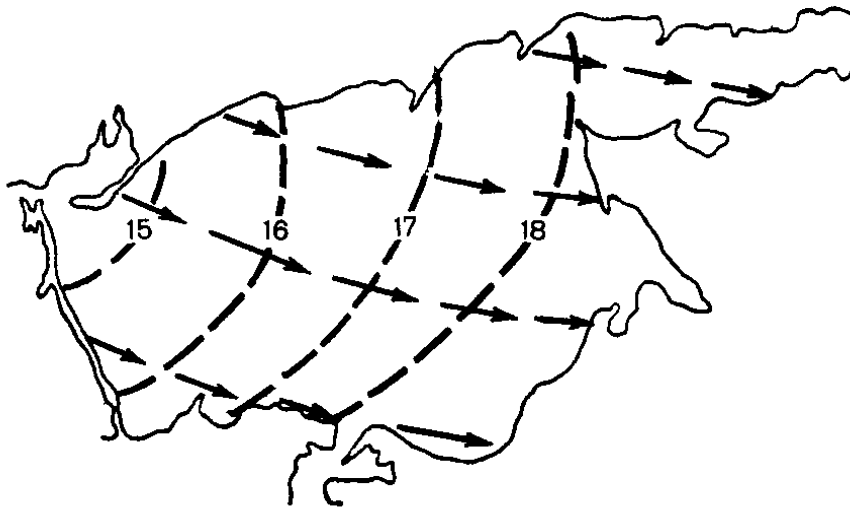
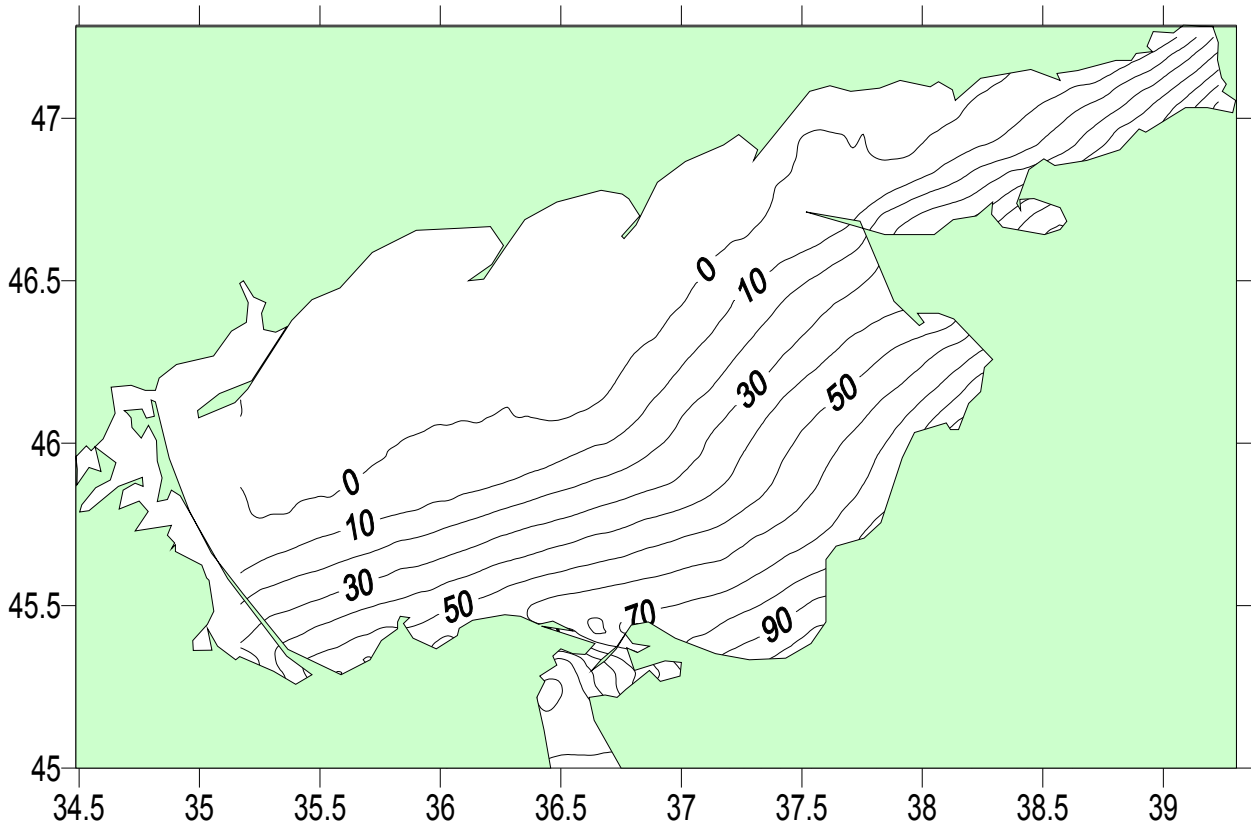


Рис.18. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового западного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).

а)



б)

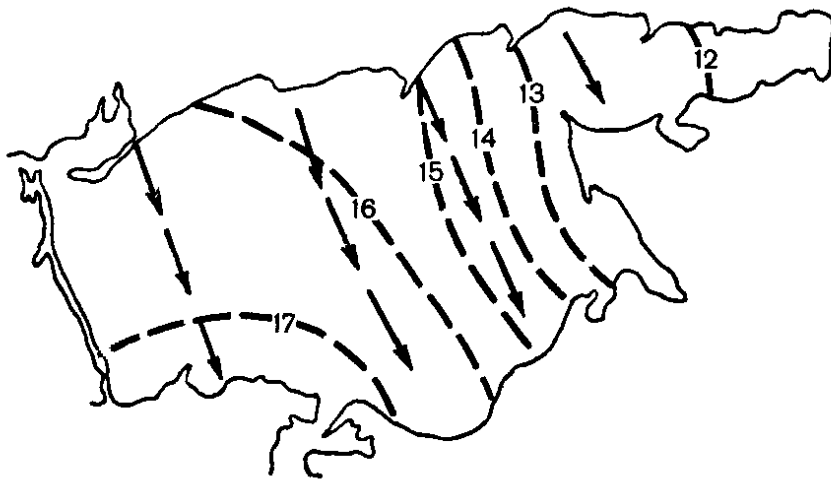


Рис.19. Наибольшее повышение уровня (см) Азовского моря (а) при действии типового северо-западного шторма с градацией скорости 15-20 м/с (б).