

В.Н. Большаков, к.г.н.

Одесский филиал института биологии южных морей

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ У ПОБЕРЕЖЬЯ ОДЕССЫ В МАСШТАБАХ ОТ ГОДА ДО ПОЛУЧАСА

На основании 16-месячных измерений температуры воды с получасовой дискретностью в одной из точек у побережья Одессы получены статистически обеспеченные параметры сезонных изменений, параметры изменчивости синоптического масштаба, параметры суточного хода, а также статистика возможных изменений температуры за половину часа.

Ключевые слова: температура воды, получасовая дискретность, сезонная изменчивость, синоптическая изменчивость, сгонно-нагонные явления, суточный ход.

Вступление. Сезонные изменения температуры воды поверхностного слоя в Черном море, в его северо-западной части и, в частности, у берегов Одессы можно считать хорошо изученными [1]. Значительно меньше известно о синоптической изменчивости, особенно ярко проявляющейся у одесского побережья в курортный сезон многоградусными и продолжительными понижениями температуры воды [2-4]. Еще меньше известно о суточном ходе температуры и совсем ничего о возможных изменениях температуры в течение таких небольших отрезков времени как половина часа. Стремление ответить на два последних вопроса и уточнить ответы на два первых послужили стимулом для написания настоящей статьи.

Материалы. Ожидания новых результатов в рамках поставленных выше вопросов связаны с использованием производимого в США термографа НОВО Water Temp Pro [5]. Этот прибор пока мало известен в Украине, но широко применяется, например, в Мексике [6]. Согласно паспортным данным, точность измерения температуры в диапазон от 0 до 50 °С составляет 0,2 °С, а разрешающая способность при 25 °С 0,02 °С. Прибор был установлен на дне на глубине 2,15 м в яхт-клубе Отрада. Расстояние от берега 40 м, до выхода из гавани 60 м. Термограф проработал более 16 месяцев, с 27.02.08 по 3.07.09, что дало при получасовой дискретности 23605 измерений.

Методы исследования и результаты. Для решения вопроса о возможных изменениях температуры воды за половину часа из исходного массива измерений был сформирован ряд первых разностей (последующее значение минус предыдущее) и для него получен набор стандартных статистических характеристик (табл.1).

Таблица 1 – Некоторые статистические параметры ряда изменений температуры за половину часа

Число членов	Среднее, °С	Стандартное отклонение, °С	Минимум, °С	Максимум, °С
23605	0,000884	0,1676	-4,028	1,403
Медиана	Мода	Асимметрия	Экссесс	Нулевых значений
0	0	-5,6	98,8	5481

Средняя величина первых разностей практически нулевая, что свидетельствует о балансе подъемов и опусканий температуры на большом отрезке времени. Стандартное отклонение довольно велико, что говорит о значительной доле больших по абсолютной величине отклонений от среднего.

Об этом же говорят и неожиданно большие по абсолютной величине экстремальные значения первых разностей: оказалось, что повышение температуры за пол часа, может превосходить стандартное отклонение более чем в 8 раз, а понижение – более чем в 24 раза.

Интересно, что при этом медианное и модальное значения, равны нулю. Это объясняется большой долей нулевых изменений температуры за половину часа, 5481, что превышает 23 %.

Коэффициент эксцесса, во много раз превышающий соответствующее нормальному распределению значение 3, указывает на большую концентрацию малых значений разностей температуры около практически нулевого среднего значения (92 % меньше $\pm 0,2$ °C).

Из случаев более значительных по абсолютной величине разностей 53% приходится на область отрицательных значений, к тому же эта область значительно шире области положительных значений (табл.2). На эту черту статистического распределения указывает также отрицательный коэффициент асимметрии.

Таблица 2 – Количество изменений температуры воды за половину часа, превышающих по абсолютной величине 1 °C

Величина изменения	Изменение больше чем на:				
	+1 °C	-1 °C	-2 °C	-3 °C	-4 °C
Число случаев	19	81	15	9	1

Синоптические и суточные колебания температуры которым предполагается уделить основное внимание мало заметны на фоне мощных сезонных, а потому последние надо исключить. Для выделения годового хода целесообразно использовать ряд среднесуточных значений, который на 16-месячном отрезке времени имеет, за исключением экстремумов, те же статистические свойства, что и исходный, но в 48 раз меньший объем. Поскольку сезонные изменения температуры с высокой степенью точности можно считать периодическими, то аппроксимацию годового хода следует искалась в виде гармонической функции. Наилучшая, в смысле минимизации отклонений, аппроксимация имеет вид: $y = 9,81 \cdot \cos(0,0172 \cdot (x-158,4)) + 12,45$. Из формулы видно, что средняя температура воды за период наблюдений около 12,5 °C, размах годовых колебаний почти 20 °C, а перелом от подъема температуры к спаду пришелся в 2008 г. на 159-е сутки от начала наблюдений, то есть на 4 июля. Исключение обобщенного годового хода в указанной форме уменьшает дисперсию ряда среднесуточных температур на 91 %. После удаления годового хода проявилась еще одна закономерная составляющая ряда – линейный тренд, указывающий на повышение температуры за 500 дней наблюдений на 1,6 °C. Его исключение уменьшило дисперсию ряда среднесуточных температур еще на 0,5 %. После исключения из исходного ряда обеих закономерных составляющих остаточный ряд, имеющий по 48 значений в сутки и нулевое среднее, используется далее для исследования синоптической и суточной изменчивости. Этот ряд, поскольку он составлен из отклонений от нормального годового хода можно также назвать рядом температурных аномалий.

Синоптическая изменчивость у побережья Одессы наиболее ярко проявляется в резких понижениях температуры воды, связанных со сгонно-нагонными явлениями, которые особенно хорошо заметны на высоком летнем температурном фоне. Это можно видеть, если обратиться к графическому представлению ряда первых разностей (рис.1).

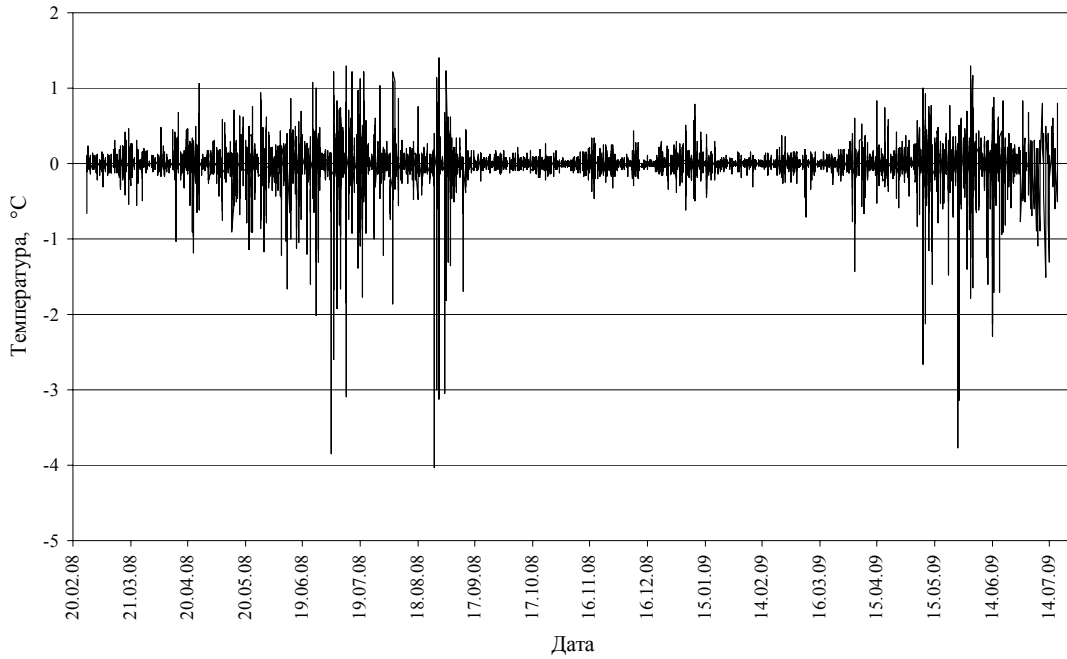


Рис.1 – Изменения температуры воды за половину часа.

В качестве гидрологического лета выбран отрезок времени продолжительностью 91 день по критерию максимальной для отрезков такой длины сумме среднесуточных температур. Он пришелся на 21 июня – 19 сентября 2008 г. Именно для этого отрезка были отобраны 4368 значений остаточного ряда. К ним добавлены также 595 значений за последние 12 суток наблюдений с 21 июня следующего, 2009 г.

Просмотр ряда температурных аномалий выявил их большое разнообразие. К проявлениям синоптической изменчивости были отнесены участки кривой, начинавшиеся с быстрого, не менее чем на три градуса за три часа, понижения температуры воды. На рис. 2–4 даны примеры таких случаев, которые ассоциируются с циклом сгонно-нагонного явления. Всего за 103 суток ряда отобрано 20 таких эпизодов.

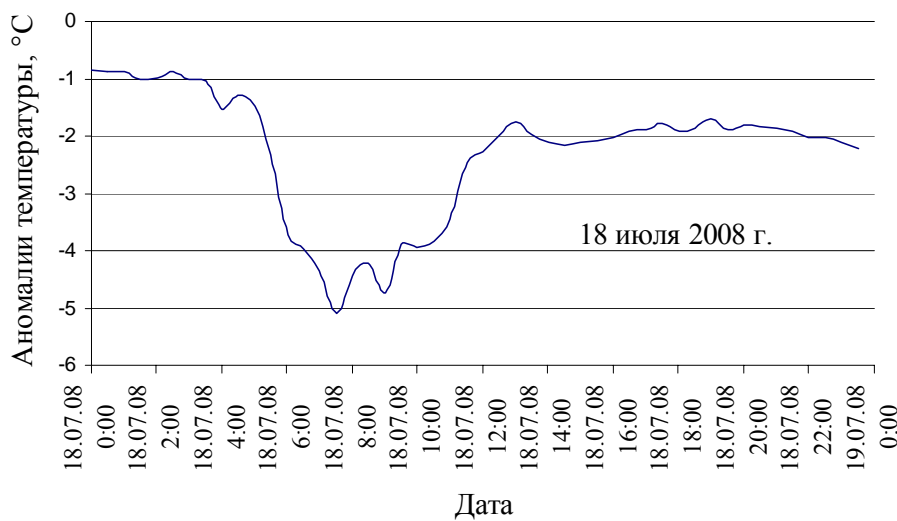


Рис.2 – Относительные изменения температуры при типичном небольшом сгоне (перепад температуры 4,05 С).

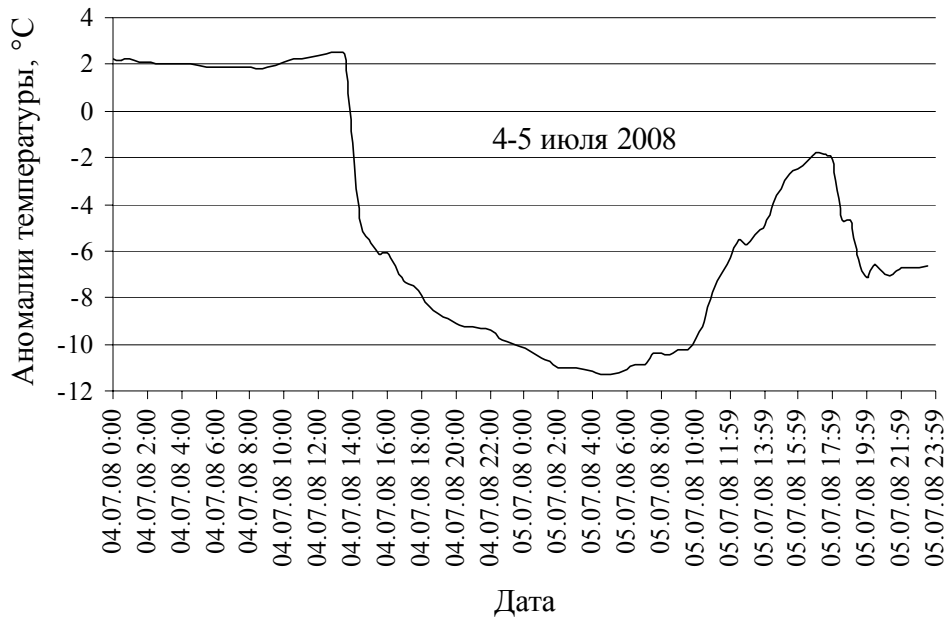


Рис.3 – Относительные изменения температуры при самом большом сгоне (перепад температуры 13,73 С).

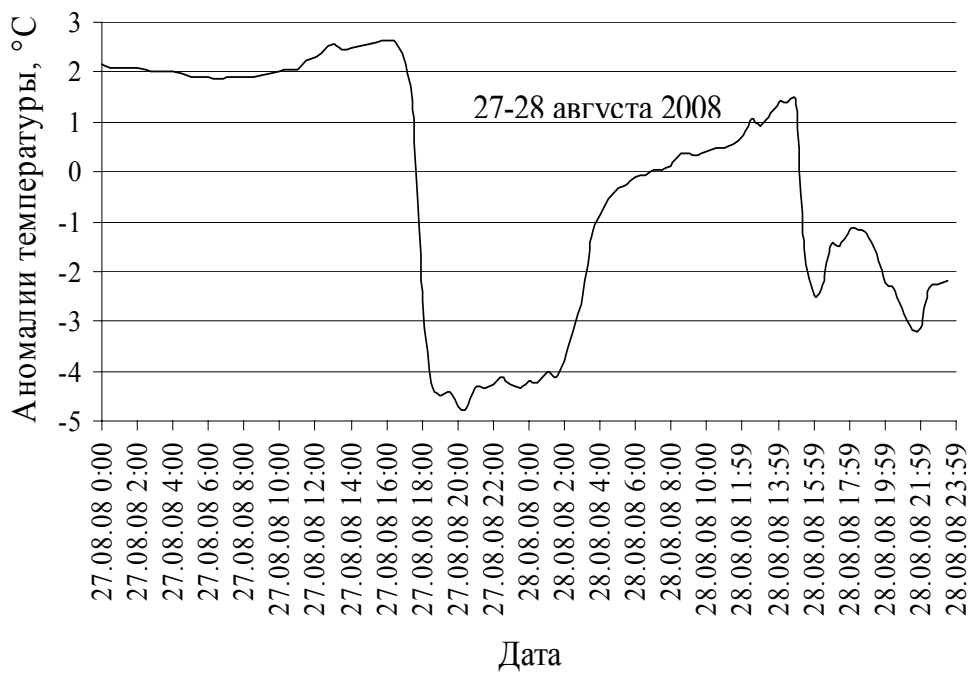


Рис.4 – Относительные изменения температуры при сгоне с самым большим перепадом температуры за половину часа $-4,028^{\circ}\text{C}$ между 17,5 и 18 часами 27 августа 2008 г.

Для получения обобщенной картины сгонно-нагонных изменений температуры воды у одесского побережья использован метод опорных точек [7], согласно которому сначала выделяются характерные элементы структуры исследуемого объекта, далее по

каждому из них накапливается информация натуральных измерений, которая затем усредняется, давая их наиболее вероятные значения.

Схема сгонно-нагонных изменений температуры, в наиболее общем виде, представлена пунктиром на рис.5.

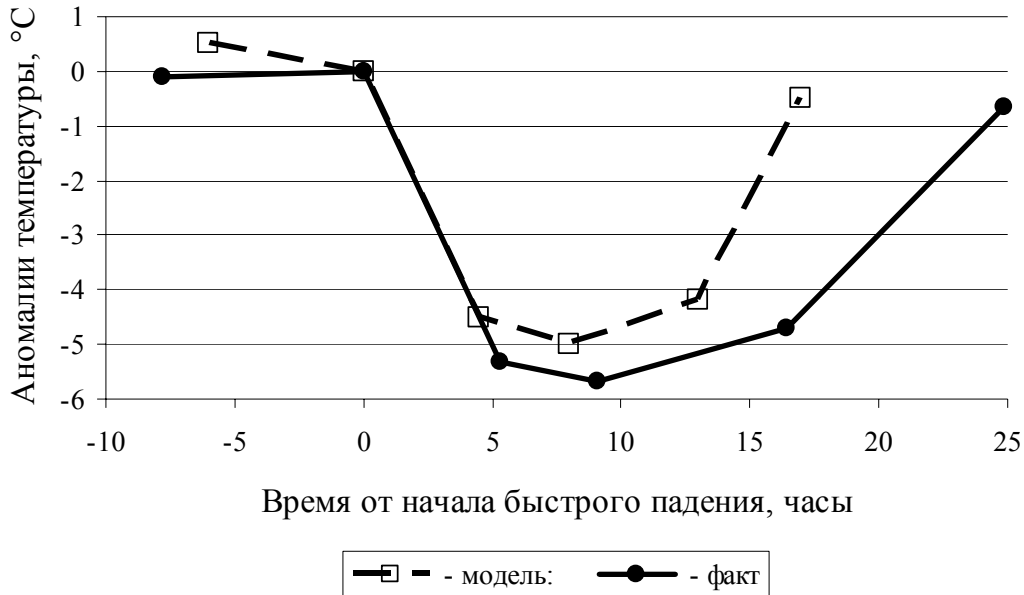


Рис.5 – Схема опорных точек, характеризующих цикл сгонно-нагонных изменений температуры воды (модель) и их фактическое среднее положение по 20 эпизодам сгонно-нагонных явлений.

На схеме точки 1 – начало быстрого падения, 2 – конец быстрого падения и 5 – конец быстрого подъема температуры для каждого эпизода сгонно-нагонного явления обязательны, в то время как остальные точки могут отсутствовать. Точнее говоря, точка 3 – минимум на стадии полностью развитого сгона и точка 4 – начало быстрого подъема могут сливаться между собой, а также и с точкой 2, когда быстрое падение температуры сразу сменяется быстрым подъемом. Точка 0 – начало предшествующего сгону участка равномерного и медленного изменения температуры – также может отсутствовать в случае, когда конец одного эпизода сгонно-нагонного явления служит началом следующего.

Сплошная ломаная на рис. 5 дает представление о характерных температурных и временных масштабах фактически отмеченных синоптических изменений температуры воды за цикл сгонно-нагонного явления.

Если синоптические изменения температуры воды довольно хорошо изучены, то о суточных колебаниях температуры в морях, вообще, и у берегов Одессы, в частности, известно мало. В [8] сообщается, что суточные колебания сильно зависят от облачности и состояния поверхности моря, что их размах невелик, в среднем, 0,2—0,4 °C; что максимум достигается в 14,5—15 часов, а минимум в 2,5 – 3 часа ночи и что на мелководье размах колебаний может достигать почти до 2 °C. Здесь же говорится, что отсутствие большого интереса к суточным колебаниям объясняется тем, что они практически не влияют на физические, химические и биологические процессы. По-видимому, к этому утверждению следует относиться с осторожностью, по крайней мере в области взаимодействия моря и атмосферы, поскольку интенсивность обмена

субстанциями между ними очень чувствительна к температурной стратификации приводного слоя.

Суточные колебания выделялись по тому же ряду аномалий температуры, что и синоптические, но по другим критериям, а именно: наличие квазисуточной периодичности и локального максимума температуры после полудня (рис.6).

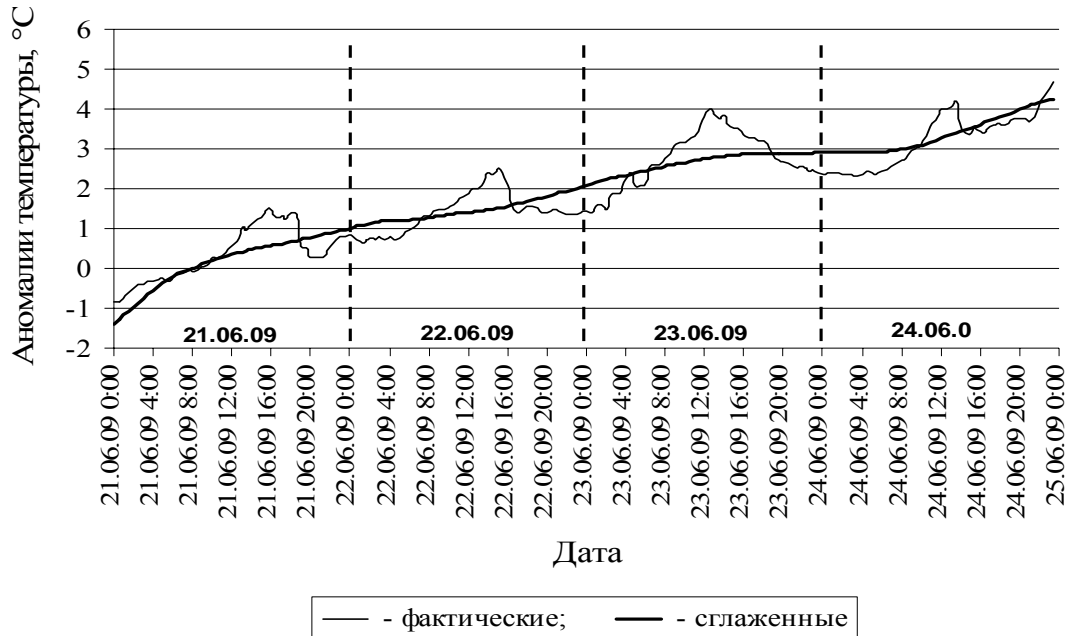


Рис.6 – Фактические изменения температуры воды после исключения годового хода и остаточного линейного тренда и их суточные скользящие средние.

Суточный ход оказался совершенно неразличим на участках сгонно-нагонных изменений температуры и более или менее хорошо различим между ними. Чаще всего серии характерных для суточного хода изменений температуры формировались на фоне заметных температурных трендов, как, например, на рис. 6. Численное моделирование такой ситуации показало, что традиционное выделение суточного хода путем вычитания из каждого измерения в течение суток среднего за эти же сутки значения приводит к уменьшению амплитуды заданной гармонической составляющей и появлению фиктивных экстремумов. Во избежание таких искажений, на каждом участке в качестве тренда рассчитывались скользящие суточные средние (рис.6), которые затем вычитались из ряда аномалий температуры (рис.7).

Очевидно, что после такой процедуры суточный ход температуры выражен более отчетливо. Всего было выделено 59 суточных отрезков, на которых изменения температуры можно интерпретировать как суточный ход. Обобщение этих случаев дано в табл. 3.

Таблица 3 – Некоторые средние характеристики суточного хода температуры воды

Число случаев	Амплитуда, °C		Среднее время (часы : минуты)		
	средняя	максимальная	максимума	минимума после максимума	минимума перед максимумом
59	0,49	0,99	16:29	3:31	5:08

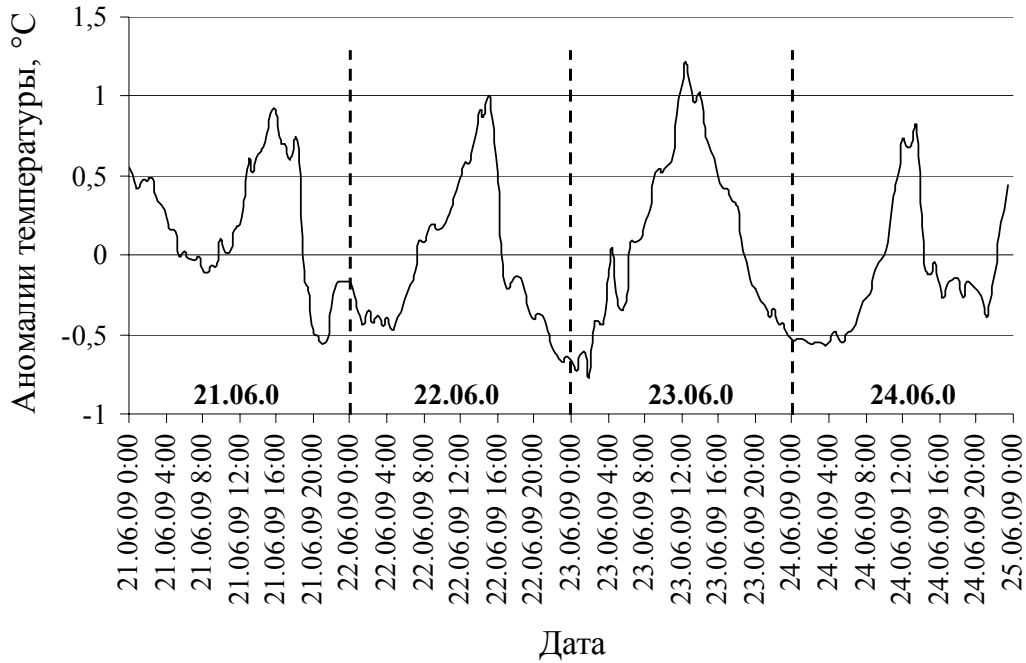


Рис.7 – Тот же участок ряда аномалий, что на рис. 6, но без тренда среднесуточных значений.

Данные таблицы показывают, что по сравнению с данными [8], средний размах колебаний в 2,5 – 5 раз больше, и это притом что измерения температуры производились не в приповерхностном слое, а на глубине более двух метров. Глубиной наблюдений можно объяснить и запаздывание времени наступления максимума на 1,5 – 2 часа. Максимальная амплитуда – она отмечена 23 июня 2009 г. и представлена на рисунке 7 – в точности совпадает со сведениями из литературы. Выяснилось также, что в ночное время температура, как правило, меняется сложным образом, не позволяющим определить единое время минимума. Пришлось в каждом эпизоде суточного хода из нескольких локальных минимумов выделить один – ночной, первый после прекращения падения температуры, другой – утренний, последний перед началом дневного прогресса.

Выводы. Значительные понижения температуры синоптического масштаба – обычное явление для прибрежных вод Одессы, а поскольку они особенно ярко выражены в курортный сезон и уменьшают ее рекреационный ресурс, то важно знать их характерные масштабы. По нашим данным цикл сгонно-нагонных изменений температуры продолжается в среднем сутки или немного больше. Температура воды при этом, в среднем, понижается на 5 – 6, но может и более чем на 13 °С. Средняя скорость падения температуры на начальной стадии сгона составляет 1 °С·час⁻¹, а средняя скорость роста после его окончания – в два раза меньше. Однако отмечены случаи, когда за половину часа рост температуры превысил 1,4 °С, а падение 4 °С.

В случаях, когда кажется, что сгон продолжается несколько суток, он, как правило, состоит из нескольких циклов, в каждом из которых температура, прежде чем достигнет нормального для лета температурного фона, вновь быстро падает при возобновлении или усилении благоприятных для сгона ветров.

Суточный ход температуры воды между эпизодами сгонно-нагонных явлений часто хорошо выражен. На глубине 2 м средний размах суточных колебаний 1 °С, а

максимальный 2 °С. Среднее время наступления максимума 16,5 часов. В ночное время температура меняется не монотонно, а сложным образом, что заставило выделить два минимума – ночной, в среднем, в 3,5 часа и утренний в 5 часов.

Список литературы

1. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том IV, Черное море. Вып.1: Гидрометеорологические условия/ Под ред. А.И.Симонова и Э.Н.Альтмана.– С.Пб.: Гидрометеоиздат, 1991. – 430 с.
2. Доценко С.А., Рубан И.Г., Тучковенко Ю.С. Прибрежный ветровой апвеллинг в Одесском районе северо-западной части Черного моря и его влияние на гидрохимический режим прибрежных вод// Тез. докл. Международной конф. (Крым, Донузлав 13–16 сентября 2005 г.).– Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2005.– С.25.
3. Боровская Р.В., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Лексикова Л.А., Кириллова М.Л. Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексные исследования ресурсов шельфа.– Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2005.–Вып.12.– С.42-48.
4. Голубович В.В. Апвеллинг в северо-западной части Черного моря (на примере станции Одесса-порт), как фактор воздействия на прибрежную рекреационную зону// Причерноморський екологічний бюлетень.– 2010.- №4 (38).– С.89-90.
5. <http://www.onetemp.com.au/Data-Loggers/NOVO-U22-001-Water-Temp-Pro-v2,-Water-Temperature-Data-Logger-Underwater.aspx?cl=2&id=43&c=28>
6. Filonov A., Tereshchenko I., Vargas A.C. Resultados del estudio del régimen termodinámico del lago volcánico Santa Maria del Oro, Nayarit// Geos.– 2005.– №25.– P.139-140.
7. Филин В.А., Голованова Л.А., Данилова Л.В. Методика районирования гидрофизических полей методом "опорные точки" и ее реализация на ЕС ЭВМ// Труды ВНИИГМИ-МЦД.– 1984.– Вып. 102.– С.80-97.
8. Иванов А. Введение в океанографию /Пер. с фр. – М.: “Мир”, 1978 – 574 с.

Мінливість температури води біля берегів Одеси в масштабах від року до півгодини.

Большаков В.М.

На підставі 16-місячних вимірів температури води з півгодинною дискретністю в одній з точок біля берегів Одеси отримані статистично забезпечені параметри сезонних змін, параметри мінливості синоптичного масштабу, параметри добового ходу, а також статистика можливих змін температури за половину години.

Ключові слова: температура води, півгодинна дискретність, сезонна мінливість, синоптична мінливість, змінно-нагінні явища, добовий хід.

The variation of water temperature in Odessa coastal waters in the one year to half hour scale.

Bolshakov V.N.

On the basis of measurements of temperature carried out in one point in Odessa coastal waters during 16 months with a half hour discretion, statistically provided parameters were received of seasonal, synoptic, diurnal variation, and also statistics of possible temperature changes for half an hour.

Key words: water temperature, half hour discretion, seasonal variation, synoptic variation, wind downsurge-upsurge, diurnal variation.