

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО АПВЕЛЛИНГА И ЕГО ДОЛГОПЕРИОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ОДЕССЕ

Рассчитаны и проанализированы статистические характеристики продолжительных (более 1 суток) понижений температуры поверхности моря, вызванных апвеллингом в теплый период года в районе Одессы. Используются данные станции Одесса-порт за 90-летний период. Показано, что типичная периодичность повторяемости апвеллингов межгодового-декадного масштаба сильно меняется на протяжении рассматриваемого периода. Если в первые 60 лет преобладала более низкочастотная (десятилетняя) периодичность, то в последние 30 лет, напротив, более высокочастотная (межгодовая). Это обусловлено в основном нестационарностью ветра соответствующего временного масштаба.

Ключевые слова: апвеллинг, резкое понижение температуры воды.

Введение.

Прибрежным апвеллингом называется динамический процесс, возникающий в прибрежных районах Мирового океана под воздействием атмосферных (внешних) или океанических (внутренних) факторов и характеризующийся интенсивными восходящими движениями вод. В Черном море, так же как и в других районах Мирового океана, возникновение апвеллинга обусловлено компенсационным притоком глубинных вод к берегу вследствие оттока поверхностных вод от берега, генерируемого сгонными ветрами или течениями. Подъем вод определяет локальные особенности гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических процессов в поверхностном слое в зоне апвеллинга, которые очень важны для решения множества прикладных задач. Поэтому изучение региональных особенностей апвеллинга является важной прикладной задачей современной океанологии [1-8].

В Черном море апвеллинг наблюдается вдоль всего побережья, однако наиболее часто – на севере и северо-западе моря [1-3]. Отличительной особенностью северо-западной части Черного моря является наличие довольно широкого шельфа. Обширное мелководное пространство обуславливает быструю реакцию водной толщи на изменение ветров. Одесский залив представляет собой часть акватории северо-западного шельфа Черного моря со средней глубиной 8 м и конфигурацией берега, при которой ветры северного и северо-западного направлений приводят к развитию сгонов [9].

Ранее изучение прибрежного апвеллинга в северо-западной части Черного моря и, в особенности, в Одесском заливе проводилось на основании анализа относительно коротких временных рядов (длина которых была меньше, чем 30 лет). Это не позволяло исследовать климатические характеристики апвеллинга, а тем более, изучать долгопериодные изменения этих характеристик [2-7]. Исключение составляет короткая статья [9], в которой главным образом анализировался ветер сгонных направлений в районе г.Одессы за 90-летний период наблюдений. Характеристики низкочастотной изменчивости количества апвеллинга практически не описывались. Отмечалось лишь уменьшение числа апвеллингов в теплый период года в последние 30 лет, которое связывалось с изменчивостью ветрового режима.

Целью настоящей работы является более подробный анализ характеристик апвеллинга в районе г. Одессы и его низкочастотной изменчивости по данным длительных наблюдений на станции Одесса-порт. При этом главное внимание уделено анализу устойчивых апвеллингов, продолжающихся более суток. В настоящей работе

такие апвеллинги названы «продолжительными». Следует отметить, что этот термин можно считать условным, поскольку сама продолжительность апвеллингов не анализировалась, а рассматривались все апвеллинги, выделенные по суточным рядам температуры.

Характеристика использованных материалов.

Для анализа резких понижений температуры воды в северо-западной части Черного моря в теплое полугодие были использованы среднесуточные данные о температуре поверхности моря, полученные на станции Одесса-порт с мая по октябрь за период с 1915 по 2006гг. Данные части военных лет (1942 и 1943гг.) отсутствуют. Среднесуточные данные анализировались по следующим причинам. Во-первых, это было сделано из-за отсутствия срочных данных за первые 15 лет изучаемого периода, а, во-вторых, по той причине, что продолжительность интенсивных апвеллингов обычно превышает одни сутки [9,10]. Последнее обстоятельство дает возможность изучения долгопериодных характеристик изменчивости устойчивого апвеллинга на основе среднесуточных данных о температуре поверхности воды. Вместе с тем, использование этих данных позволяет увеличить продолжительность анализируемых временных рядов (по сравнению, например, с работой [10] на 15 лет) и повысить статистическую значимость результатов.

Следуя работе [10], в качестве явления апвеллинга рассматривалось резкое понижение температуры поверхности воды ($>5^{\circ}\text{C}$), которое наблюдалось на протяжении от одних до нескольких суток. Случаи понижения температуры воды менее чем на 5°C не рассматривались. Отдельно выделялись случаи, когда температура воды понижалась более чем на 10°C . Такие случаи принимались за проявления интенсивного апвеллинга. Далее производилась стандартная статистическая обработка полученных рядов. С целью анализа изменчивости спектральных свойств временного ряда спектры количества продолжительных апвеллингов рассчитывалась по 30-летним реализациям со сдвигом на 10 лет. При этом спектры рассчитывались путем осреднения периодограмм по 5-ти частотам с использованием фильтра Хэмминга.

Результаты исследований и их анализ.

За исследуемый период наблюдалось 325 резких и продолжительных понижений температуры воды. Средняя повторяемость апвеллингов в теплый период года составляет 3-4 явления за сезон. Максимальное количество резких понижений температуры воды отмечено в 1956 году (10 случаев). Вместе с тем наблюдались годы (1941, 1963, 1971гг.), когда продолжительных понижений температуры воды более 5°C вообще не наблюдалось (рис.1).

Продолжительный апвеллинг с понижением температуры более 10°C наблюдался за рассматриваемый период в 67 случаях, т.е. приблизительно 21% всех продолжительных апвеллингов можно отнести к интенсивным. Таким образом, интенсивный продолжительный апвеллинг в среднем наблюдается менее 1 раза за весь теплый сезон. Однако в отдельные годы он отмечается гораздо чаще. Наибольшее количество таких случаев (4) было отмечено в 1949 и в 1983гг. (рис. 2).

При рассмотрении распределения резких понижений температуры воды по месяцам на ст. Одесса-порт в теплый сезон можно выделить июль как месяц с наибольшей повторяемостью апвеллингов. В этом месяце было отмечено 94 случая, из которых 25 с понижением температуры более чем на 10°C (рис. 3). Это соответствует повторяемости приблизительно 1 случай в месяц для всех апвеллингов и около 3 случаев в 4 сезона для интенсивных апвеллингов. Вместе с тем, максимальная дисперсия повторяемости апвеллингов отмечается в июне (табл. 1). Соответствующее среднеквадратическое отклонение достигает 0,9 случаев в месяц. Это обусловлено тем обстоятельством, что обычно в начале летнего прогрева развитый верхний

перемешанный слой еще не успевает сформироваться, что и приводит к большей изменчивости в повторяемости апвеллингов по сравнению с июлем и августом.

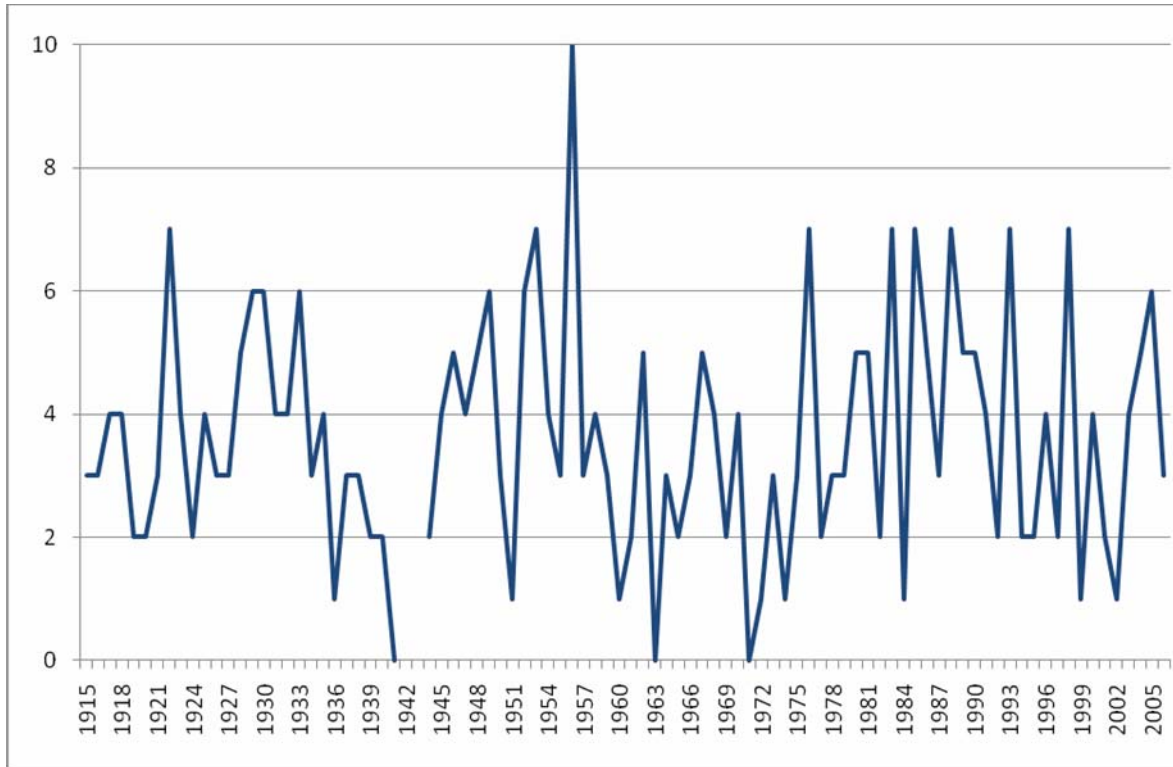


Рис.1 - Повторяемость продолжительных апвеллингов (>5°C) в теплый период года в г.Одессе в 1915-2006гг. Сплошная линия – линейный тренд.

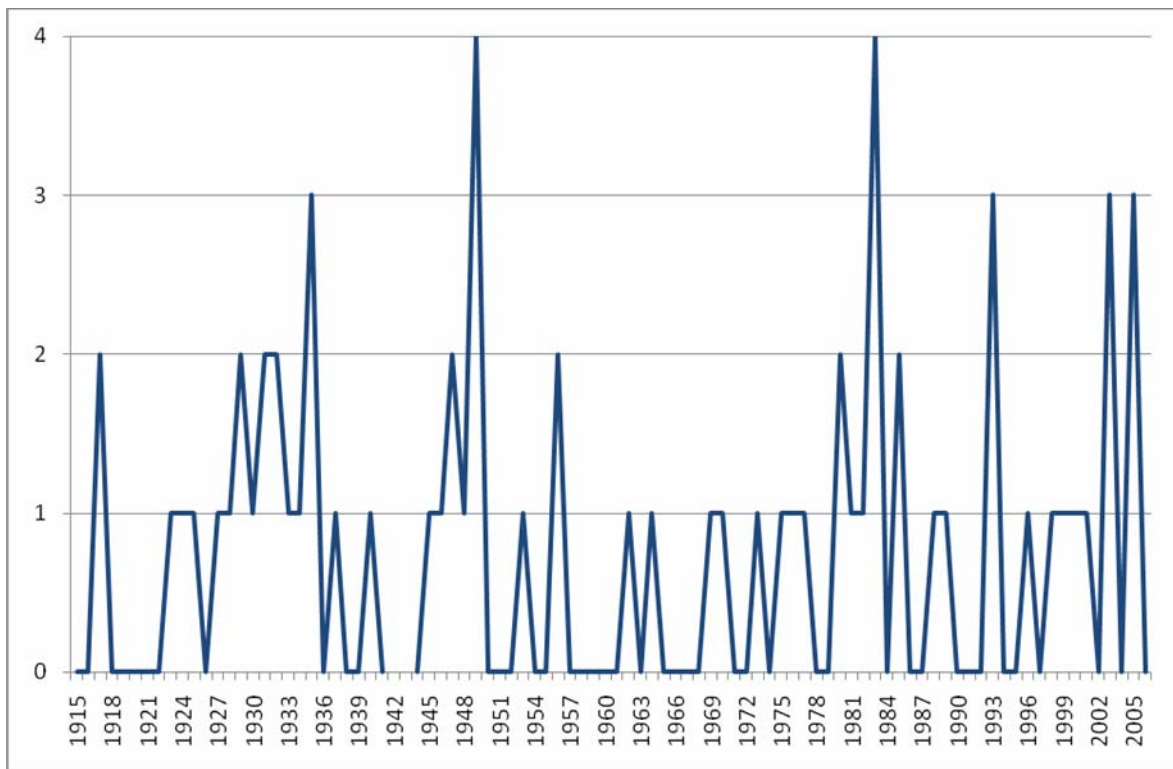


Рис.2 - Повторяемость интенсивных продолжительных апвеллингов (>10°C) в Одессе в теплый период года в 1915-2006гг.

Таблица 1 - Максимальное, среднее количество апвеллингов и дисперсия по месяцам

Месяц	Понижения температуры более 5°С			Понижения температуры более 10°С		
	Максимальное количество апвеллингов	Среднее количество апвеллингов	Дисперсия	Максимальное количество апвеллингов	Среднее количество апвеллингов	Дисперсия
5	3	0,54	0,54	1	0,03	0,03
6	4	0,92	0,81	2	0,26	0,26
7	3	1,04	0,74	2	0,28	0,29
8	4	0,72	0,65	2	0,17	0,14
9	1	0,27	0,2	1	0,02	0,02
10	1	0,03	0,03	0	0	0

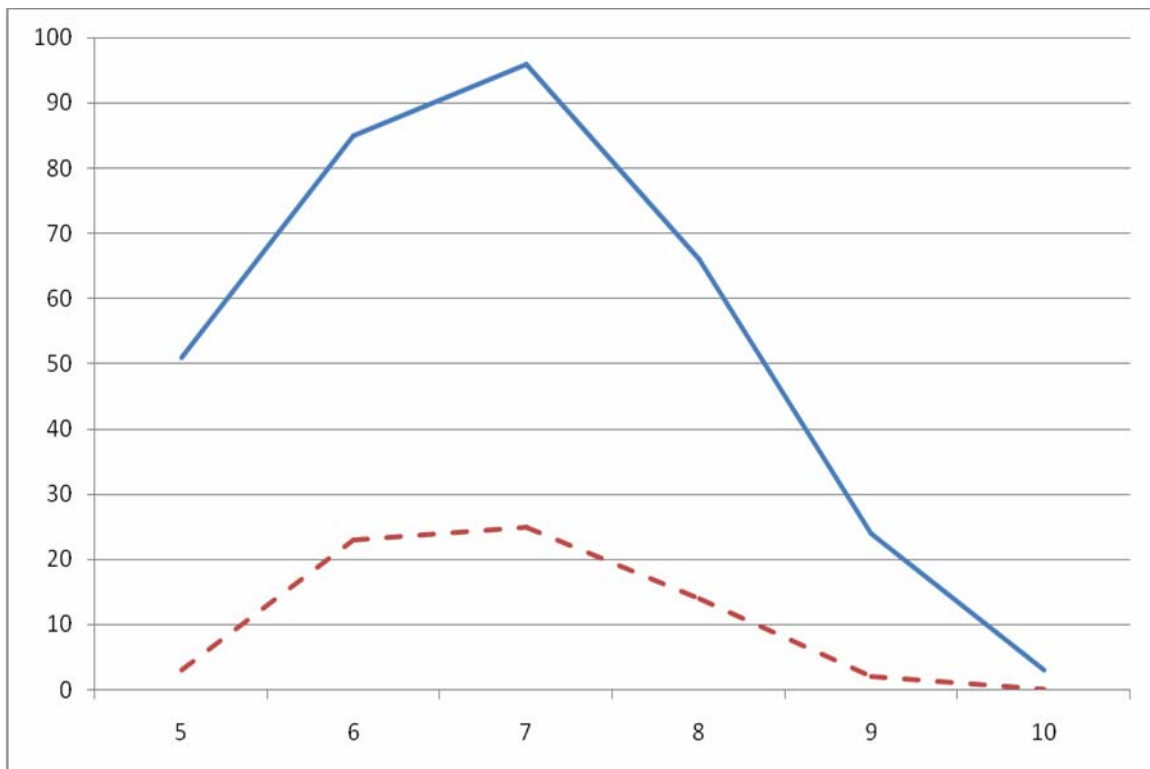


Рис.3 - Повторяемость продолжительных апвеллингов (с понижением температуры более 5°С – сплошная линия) и продолжительных интенсивных апвеллингов (с понижением температуры более 10°С – пунктирная линия) в Одессе по месяцам за период с 1915 по 2006гг.

Рис. 1 и 2 ясно демонстрируют, что анализируемые временные ряды не стационарны. Текущий спектр показывает, что типичная периодичность в повторяемости апвеллингов сильно меняется на протяжении рассматриваемого отрезка времени. Если в первые 60 лет анализируемого интервала преобладала более низкочастотная периодичность, то в последние 30 лет, напротив, более высокочастотная. На рис.4 ясно видно, что с 1915 по 1964 гг. выделяются два частотных диапазона с повышенным уровнем энергии в низкочастотной области спектра, в то время как после 1965 г. – только один диапазон, причем в более высокочастотной его части. Соответствующие периоды составляют ~15 лет и 3-4 года (для первого временного интервала) и 2-3 года (для последнего). Причем с 1925 по 1974 гг. спектральный максимум приходится на периоды около 15 лет. Отметим, что

наиболее низкочастотная периодичность, которая, в принципе, может быть выделена с некоторой разумной достоверностью (скажем, на 80% уровне) при использовании принятой процедуры обработки не превышает 10 лет. Тем не менее, отмеченная тенденция не вызывает сомнений. Причиной полученной закономерности служит нестационарность ветра на межгодовом-декадном масштабе [9].

Значимый линейный тренд в повторяемости продолжительных апвеллингов отсутствует (рис.1). На первый взгляд, это противоречит результатам работы [9], в которой получен отрицательный линейный тренд количества апвеллингов в послевоенный период, являющийся следствием ослабления ветра и уменьшения повторяемости ветров сгонных румбов. Фактически же никакого противоречия нет. Во-первых, отмеченная выше нестационарность временного ряда повторяемости апвеллингов приводит к тому, что, анализируя отдельные его участки, можно получить различные по знаку (и притом значимые) тренды. Так, например, если рассмотреть временной отрезок с 1955 по 2006 гг., то получится отрицательный тренд повторяемости апвеллингов, а с 1935 по 1955 гг. – положительный. Во-вторых, в работе [9] анализировались все понижения температуры, превышающие 5°C, а в настоящей работе – только те из них, продолжительность которых превышала 1 сутки. Это приводит к некоторому изменению статистических свойств анализируемых временных рядов. Действительно, в нашем случае общее количество продолжительных апвеллингов за теплый сезон составляет в среднем около 3,5 случаев с максимумом в июле, в то время как количество всех апвеллингов, идентифицированных по срочным данным, несколько больше. Причем, наиболее часто такие апвеллинги наблюдаются в июне [9], когда устойчивый перемешанный слой еще отсутствует и непродолжительный ветер сгонных направлений способен вызвать кратковременный апвеллинг.

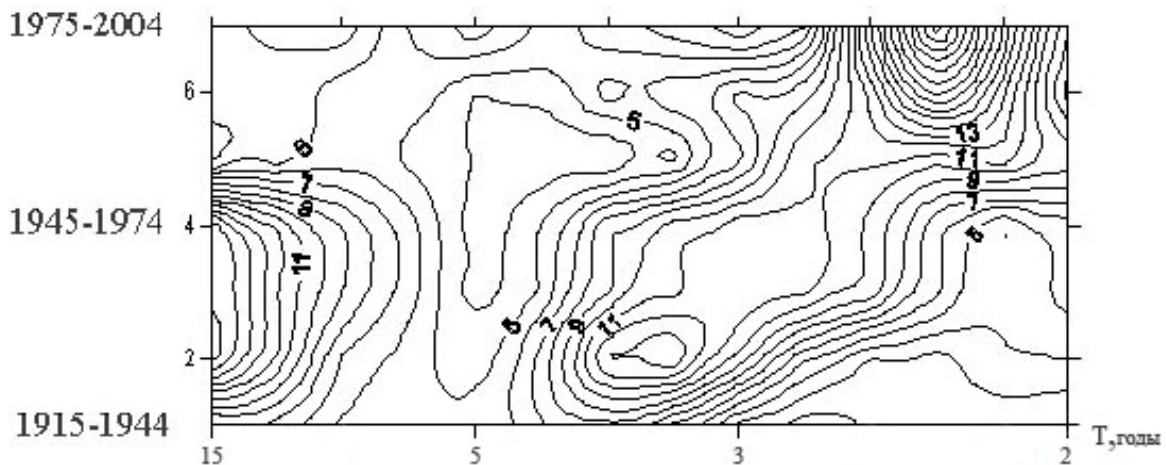


Рис.4 - Спектральные характеристики количества продолжительных апвеллингов в теплый период года в Одессе, рассчитанные по 30-летним временным отрезкам. Номера на оси ординат соответствуют последовательным номерам временных отрезков. Цифры на изолиниях показывают квадрат количества апвеллингов.

Выводы.

Получены статистические характеристики продолжительных апвеллингов (т.е., понижений температуры поверхности моря более чем на 5°C на время, превышающее одни сутки) на ст. Одесса-порт по данным с 1915 по 2006гг. Общее количество продолжительных апвеллингов за теплый сезон составляет в среднем около 3,5 случаев с максимумом в июле (около 1 случая в месяц). Дисперсия повторяемости апвеллингов

максимальна в июне. Соответствующее среднеквадратическое отклонение достигает 0,9 случаев в месяц. 21% апвеллингов сопровождается понижением температуры более чем на 10°C. В исследуемый период значимый тренд повторяемости продолжительных апвеллингов отсутствует. Типичная периодичность в повторяемости апвеллингов сильно меняется на протяжении рассматриваемого отрезка времени. Если в первые 60 лет анализируемого интервала преобладала более низкочастотная (десятилетняя) периодичность, то в последние 30 лет, напротив, более высокочастотная (межгодовая). Это обусловлено в основном нестационарностью ветра на межгодовом -- декадном масштабе.

Список литературы

1. Блатов А.С., Иванов В. А. Гидрология и гидродинамика шельфовой зоны Черного моря (на примере южного берега Крыма). – К. : Наукова думка, 1992. – С. 30 – 76.
2. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР:Справочник. Т.4. Черное море. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 99 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 430 с.
4. Доценко С.А. Изменчивость гидрологических параметров вблизи побережья Одессы// Морской экологический журнал. - Севастополь: НАН Украины, МГИ.- 2004.-Т. 3, № 4. - С. 75 - 85.
5. Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Миничева Г.Г. Северо-западная часть Черного моря: биология и экология – Киев: Наук. Думка, 2006. – 700 с.
6. Иванов В.А., Коснырев В.К. Михайлова Э.Н. Апвеллинг в северо-западной части Черного моря в период летнего прогрева // Морской гидрофизический журнал. – 1996. – 4. – С. 26–35.
7. Толмазин Д. М. Сгонные явления в северо-западной части Черного моря // Океанология. –1963., Вып. 5. – С. 848 – 852.
8. Тучковенко Ю. С. Математическая модель для расчета ветровых течений в Одесском регионе северо–западной части Черного моря // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – 2002. – № 45. – С. 107–117.
9. Музылёва М.А., Полонский А.Б. Характеристика межгодовой изменчивости ветрового режима и апвеллинга в Одесском заливе // Системы контроля окружающей среды. Севастополь. – 2008. - С. 333-336.
10. Ловенкова Е.А., Полонский А.Б. Климатические характеристики апвеллинга у побережья Крыма и их изменчивость // Метеорология и гидрология. – 2005. - №5. – стр. 44-51.

Характеристики тривалого апвелінгу та його довгоперіодних змін в Одесі.

Полонський О.Б., Голубович В.В.

Було розраховано та проаналізовано статистичні характеристики тривалих (більше 1 доби) знижень температури поверхні моря, викликаних апвелінгом у теплий період року в районі Одеси. Було використано дані станції Одеса-порт за 90-річний період. Показано, що типова періодичність повторюваності апвелінгів сильно змінюється протягом розглянутого періоду. Якщо в перші 60 років переважала більша низькочастотна (десятилітня) періодичність, то в останні 30 років, навпаки, більша високочастотна (міжрічна). Це обумовлено в основному нестационарністю вітру.

Ключові слова: апвелінг, тривалі зниження температури поверхні моря.

Characteristics of long-term upwelling and its long-period changes in Odessa.

Alexander Polonsky, Vitalii Golubovich

There were calculated and analysed statistic characteristics of longterm (more than 24 hours) temperature lowerings of sea surface, caused by upwelling during warm season around Odessa. Data of Odessa-port station were used over a period of 90 years. It is shown that typical periodicity of upwelling reiteration has changed much during the period of study. If during the first 60 years mainly low-frequency periodicity (10 years) prevailed, than during last 30 years, opposite, - more high-frequency (inter-yearly). It is conditioned mainly by nonstationarity of wind.

Keywords: upwelling, longterm temperature lowerings of sea surface.