

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 301-304.

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ВОДЫ БЕЛОГО МОРЯ

А.В. ТОЛСТИКОВ, М.П. ПЕТРОВ

Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск

Рассматривается метод нелинейного по параметрам регрессионного оценивания по модели, созданной для описания температурного режима крупнейших озер Европы – Ладожского и Онежского, – применительно к изучению температурного режима Белого моря.

A.V. Tolstikov, M.P. Petrov. Stochastic model of temperature conditions in the upper layer of the White Sea // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 301-304.

The method of nonlinear regression analysis based on the model is proposed. This model was worked out for the description of temperature regime in the greatest European lakes (Ladoga and Onega) and now applied for the investigation of temperature regime in the White Sea.

В настоящей работе предлагается метод нахождения средних значений температуры воды за многолетний период, с целью охарактеризовать сезонные температурные особенности различных районов Белого моря. Предложенная модель позволяет решать конкретные практические задачи, связанные, например, с расчетом времени замерзания и освобождения ото льда портов водоема, осуществлением мониторинга районов рыбозаповедения, проектированием пунктов разведения марикультуры.

Представленные материалы основаны на анализе многолетних рядов данных о температуре поверхностного слоя воды Белого моря (Толстикова, 2002). Все ряды, содержащие интересующие нас данные с дискретностью 6 ч. по девяти станциям (Рис. 1) за период 1977-1999 гг., получены во ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск) и обработаны с помощью метода нелинейного оценивания (Драйпер, Смит, 1986). Для выполнения процедур аппроксимации был выбран пакет статистического анализа Statistica 5.5 (Nonlinear estimation).

Коэффициент линейной корреляции r между всеми рядами данных колеблется от 0,93 до 0,99 (Табл. 1), что позволяет высказать предположение о доминировании глобальных процессов над локальными в исследуемом районе.

Для всех станций были рассчитаны описательные статистические характеристики, использованные затем в интерпретации результатов.

Для получения средних многолетних характеристик изменчивости температуры воды в годовом цикле была применена модель нелинейного оценивания, впервые использованная для описания температурного режима Онежского и Ладожского озер



Рис. 1. Карта-схема расположения станций

(Ефремова, Петров, 1995, 1999, 2000). Учитывалось, что один и тот же функциональный вид модели должен быть применим к разным станциям измерений.

Предложенная модель описывает такие важные периоды годового термического цикла как зимний минимум, весеннее нагревание, летний максимум (пик или плато) и осеннее остывание.

Наилучшим приближением была признана нелинейная по параметрам модель, имеющая вид колоколообразной функции, составленная из комбинации экспонент:

$$T = b_6 + b_1 \times \left(1 - \frac{(1 - \exp((t - b_2) \times b_3))}{1 + \exp((t - b_2) \times b_3)} \right) \times \left(1 + \frac{(1 - \exp((t - b_4) \times b_5))}{1 + \exp((t - b_4) \times b_5)} \right)$$

где T – температура поверхности воды; t – время в днях от начала года; b_1 – b_6 – эмпирические параметры, имеющие размерность времени в сутках.

Подбор аппроксимационных параметров осуществлялся отдельно для каждой станции (Табл. 1) с использованием квази-ньютоновского метода при критерии сходимости равном 0,0001.

Функция потерь или коэффициент корреляции вычислялся как средняя величина квадрата разности между измеренной и рассчитанной величинами. В 44% случаев этот коэффициент превышал 0,96, а в оставшихся 56% – 0,83. Значит средний многолетний сезонный ход, описываемый моделью, объясняет более 80% дисперсии исходных данных.

В отличие от предыдущих работ (Ефремова, Петров, 1999, 2000), данная модель с шестью параметрами позволяет описать температурный режим года полностью, включая зимние месяцы.

Все полученные кривые унимодальны, асимметричны, температурный максимум закруглен, но для каждой станции выделены свои отличия, характеризующие температурный режим в отдельном конкретном случае.

Обратимся к графику температуры поверхностного слоя воды, построенному по данным ст. Гридино (Рис. 2), где модельная кривая представлена в поле данных.

Таблица 1. Параметры, рассчитанные для девяти станций (R-коэффициент корреляции)

Станция	R	Параметры модели					
		b6	b1	b2	b3	b4	b5
Гридино	0,96	-1,527	4,006	269,031	-0,047	158,629	-0,063
Жижгин	0,98	-1,738	3,283	285,963	-0,046	158,152	-0,058
Мудьюг	0,97	-0,530	4,603	261,744	-0,052	147,310	-0,095
Унский маяк	0,96	-1,521	4,282	270,454	-0,046	148,611	-0,069
Жужмуй	0,87	-1,592	3,626	281,072	-0,049	154,561	-0,061
Чаваньга	0,83	-0,911	3,516	273,280	-0,031	163,633	-0,075
Соловки	0,84	-1,343	4,275	265,121	-0,047	157,343	-0,068
Инцы	0,86	-1,391	3,394	281,756	-0,048	153,112	-0,073
Кандалакша	0,84	-0,511	3,945	259,413	-0,039	159,413	-0,068

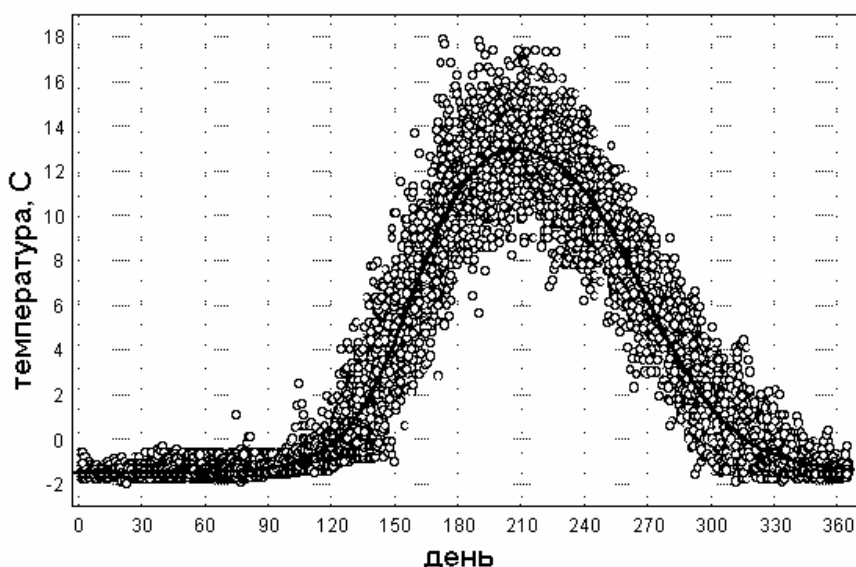


Рис. 2. Средний многолетний температурный ход по ст. Гридино

Для ст. Гридино характерно наступление температурного максимума (13,1°C) на 210-й день от 1 января (29 июля), который не длится долго, а почти сразу же переходит в следующую фазу годового хода – охлаждение. Средняя температура зимы составляет -1,4°C и практически не меняется до 74-го дня (15 марта). Затем начинается постепенное повышение температуры, и на 123-й день (3 мая) она переходит через 0°C, продолжая активно возрастать до 165-го дня (14 июня), затем замедляя скорость роста. Нагревание длится 87 дней. После максимума начинается фаза остывания, сначала медленного до 270-го дня (27 сентября), а потом быстрого до 316-го дня (12 ноября), когда температура воды переходит через 0°C и далее до 360-го дня (26 декабря), снова становясь постоянной до весны. Остывание продолжается 106 дней, превышая фазу нагревания на 19 дней. Так завершается средний многолетний годовой цикл температуры поверхностного слоя воды в районе ст. Гридино.

Таким же образом, как показано на примере ст. Гридино, были получены и проанализированы

кривые по оставшимся восьми станциям. Все графики по станциям представлены на рис. 3.

Анализ всех кривых хода температуры поверхности воды Белого моря позволяет сделать следующие выводы:

1. Почти все кривые несколько асимметричны относительно температурного максимума. Следовательно, процессы нагревания и остывания происходят неравномерно. Температурный ход по ст. Чаваньга имеет ярко выраженную асимметричность (Рис. 3). Для всех станций характерно сравнительно быстрое весеннее нагревание, а остывание воды в осенние месяцы идет значительно медленнее. В районе Беломорья действует муссонный характер ветров, способствующий проникновению относительно теплой баренцевоморской воды в осенние месяцы (Белое море, 1991).

2. Средние многолетние значения максимального прогрева колеблются от 10,5°C (ст. Жижгин), где отмечается зона апвеллинга, до 17,2°C (ст. Мудьюг), за счет значительного влияния р. Северная Двина и относительно южного положения станции.

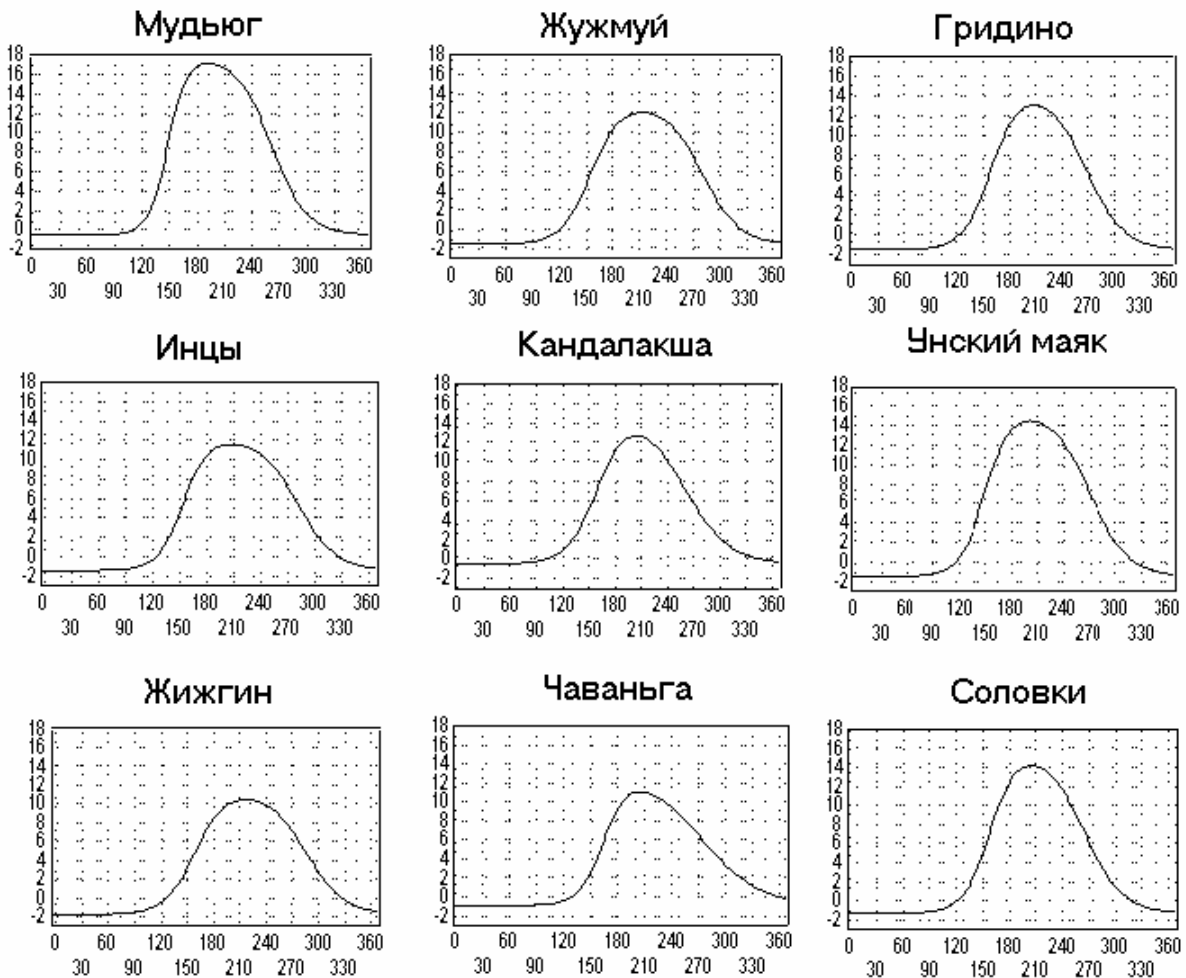


Рис. 3. Модельный ход температуры поверхности воды по девяти станциям (по оси абсцисс – дни от начала года; по оси ординат – температура, °С)

3. Температурный максимум наблюдается в основном недолго, в течение 20-х чисел июля (204-210-й день). Раньше всего нагрев осуществляется на ст. Мудьюг (в первых числах июля). Максимум здесь по форме близок к плато.

4. Наиболее низкая температура воды наблюдается, естественно, в зимние месяцы, но здесь есть свои особенности. Так, на ст. Унский маяк интенсивный весенний нагрев начинается уже 24 апреля (114-й день), когда температура переходит через 0°C, а на ст. Жижгин – только с 9 мая (129-й день). В среднем температура повышается в течение 83 дней.

5. Остывание воды происходит в среднем за 120 дней по всему морю. На ст. Чаваньга этот период составляет 156 дней, т.е. с 23 июля по 26 декабря, а для ст. Мудьюг – всего 132 дня (с 17 июля по 26 ноября). Воздействие «берега» на южных станциях сказывается сильнее и проявляется гораздо быстрее, чем в открытом море. Это видно по всем прибрежным станциям Карельского и Поморского берега, где процесс остывания до 0°C длится 110 дней (с начала августа до конца ноября). Для станций, подверженных большому влиянию открытого моря, остывание продолжается до 156 дней.

Таким образом, по модельным кривым годового хода с точностью до заданных интервалов шкалы времени и шкалы температуры можно:

- находить моменты максимума и продолжительность минимумов;
- устанавливать точки перехода через 0°C (или любой другой заданной температуры) весной и осенью;
- по точкам перегиба кривой определять момент смены весеннего повышения температуры с возрастанием скорости на повышение с замедлением скорости, а также момент смены осеннего понижения температуры с возрастанием скорости на понижение с замедлением скорости;

- оценивать продолжительность и характер периодов нагревания и охлаждения воды;

Все значения температуры, найденные по модельной кривой для каждого момента времени, могут использоваться в качестве средних многолетних температур.

Список литературы

- Белое море. Справочник «Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. 1991. Т. 2, вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат. 240 с.
- Драйнер Н., Смит Г.* 1986. Прикладной регрессионный анализ. М. Т. 2. 350 с.
- Ефремова Т.В., Петров М.П.* 1992. Моделирование термического режима глубоководной зоны Большой губы Повенецкого залива // Большая губа Повенецкого залива Онежского озера. Петрозаводск. С. 12-18.
- Ефремова Т.В., Петров М.П.* 1995. Многолетние характеристики термического режима Онежского озера. Деп. ВИНТИ 14.04.95. № 1033-В95. 30 с.
- Ефремова Т.В., Петров М.П.* 2000. Характеристики термического режима Онежского озера // Ладожское озеро. Петрозаводск. С. 330-335.
- Толстиков А.В.* 2002. Многолетняя изменчивость температурного режима Белого моря // Материалы международной конференции «Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения». ИЭПС. Архангельск. Т. 1. С. 394-398.
- Филатов Н.Н., Долотов Ю.С., Бояринов П.М., Здоровеннов Р.Э., Коваленко В.Н., Лифшиц В.Х., Пальшин Н.И., Петров М.П., Толстиков А.В.* 2003. Исследование термогидродинамических процессов и полей прибрежной зоны и эстуариев Белого моря // Гидроэкологические проблемы Карелии и использование водных ресурсов. Петрозаводск. С. 15-24.
- Efremova T.V., Petrov M.P.* 2000. Characteristics of thermal regime in Lake Onega // Proceedings of Third International Lake Ladoga Symposium, 1999. Joensuu. P. 202-206.