

ISSN 0130-2906

МЕТЕОРОЛОГИЯ
и ГИДРОЛОГИЯ



4. 1981

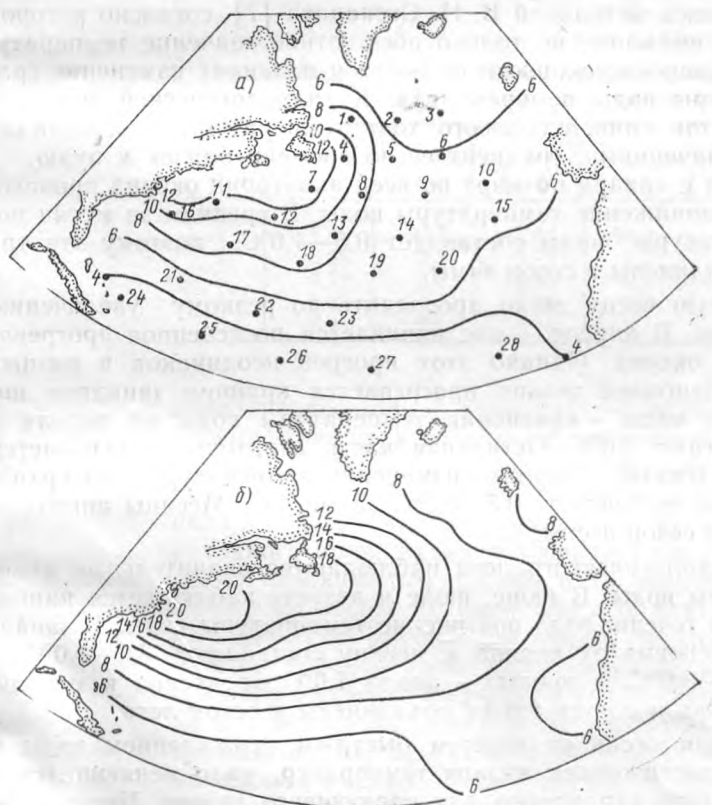
УДК 551. (526.6+509.33) (261)

О возможности сезонного прогноза температуры воды в Северной Атлантике

Р. В. Гаврилюк

На основе анализа пространственно-временной изменчивости температуры поверхностного слоя воды в Северной Атлантике определены сезоны в годовом ходе и предложена сетка точек для задания поля температуры воды. Показана возможность представления полей среднесезонной температуры воды в виде рядов разложения по естественным составляющим. Излагается метод прогноза среднесезонной температуры воды с заблаговременностью 2 месяца для сезонов весны, лета, осени и с заблаговременностью 1 год для сезона зимы. Приводятся результаты прогнозов.

В работе [4] была показана возможность использования карт среднемесячных значений температуры воды поверхностного слоя океана в Северной Атлантике, осредненных по пятиградусным квадратам, для расчетов и прогнозов. Непрерывные ряды таких наблюдений имелись за период с 1957 по 1974 г. Для анализа пространственно-временной



Среднегодовья (а) и максимальная (б) амплитуды температуры воды в Северной Атлантике.

изменчивости температуры воды поверхностного слоя по этим рядам были рассчитаны следующие характеристики: среднемесячные за многолетний период значения температуры воды для каждого квадрата,

среднеквадратические отклонения температуры воды от среднемноголетней, амплитуда годового хода и максимальная за данный период амплитуда температуры воды.

На рис. 1 показано распределение среднемноголетней и максимальной за 18-летний период амплитуд температуры воды. Очаги наибольших значений амплитуды на обоих рисунках совпадают и находятся в средних широтах у берегов Северной Америки, южнее о. Ньюфаундленд. Максимальная амплитуда температуры воды представляет разность между самой высокой среднемесячной температурой воды из всего ряда наблюдений и самой низкой. Годы крайних экстремальных значений в каждом квадрате, как правило, не совпадают, но совпадение районов с аномальными значениями амплитуд свидетельствует об общности процессов, их обусловивших. Сами же величины максимальных амплитуд свидетельствуют об изменчивости этих процессов. Такое распределение амплитуд годового хода температуры воды свидетельствует о том, что процессы нагревания и охлаждения поверхностного слоя воды проходят неодинаково как в пространстве, так и во времени. Для анализа годового хода температуры воды было построено и проанализировано 12 карт изменений температуры воды от месяца к месяцу. Анализ позволил объединить месяцы, в которых изменения температуры воды одинаковы. При выделении гидрологических сезонов мы пользовались методикой В. Н. Степанова [7], согласно которой «принимается во внимание не только абсолютное значение температуры воды, но и изменение скорости ее роста и падения (изменение градиента температуры воды во времени)». К гидрологической зиме относится тот участок кривой годового хода температуры, где, обладая более низкими значениями, градиент ее во времени близок к нулю.

Так, за период с января по март по всей акватории океана происходит постепенное понижение температуры воды. В среднем за месяц понижение температуры воды составляет $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$, поэтому эти три месяца были объединены в сезон зимы.

Гидрологическую весну легко проследить по резкому увеличению температуры воды. В апреле — мае начинается постепенное прогревание поверхности океана. Однако этот прогрев неодинаков в разных частях океана. Наиболее сильно прогревается крайняя западная полоса прибрежной воды — изменения температуры воды от апреля к маю здесь достигают $3,0^{\circ}\text{C}$. Остальная часть акватории прогревается на $1,3-1,5^{\circ}\text{C}$. В южных широтах изменения температуры поверхностного слоя воды составляют $0,5-0,7^{\circ}\text{C}$ за месяц. Месяцы апрель — май объединены в сезон весны.

В течение гидрологического лета наблюдаются значительные изменения температуры воды. В июне, июле и августе наблюдается наиболее интенсивное в течение года повышение температуры воды. В западных районах изменения от месяца к месяцу составляют $3,0-4,0^{\circ}\text{C}$, в центральных $2,0-3,0^{\circ}\text{C}$, в южных — около $1,0^{\circ}\text{C}$ от месяца к месяцу. Месяцы июнь, июль и август также объединены в сезон лета.

Гидрологическая осень отличается быстрым охлаждением воды и заканчивается с достижением низких температур, мало меняющихся в течение времени, что характерно для следующего сезона. Четыре последних месяца — сентябрь, октябрь, ноябрь и декабрь — объединены в сезон осени. В западных районах понижение температуры воды от месяца к месяцу составляет $2,0-3,0^{\circ}\text{C}$, в центральных — $1,0-2,0^{\circ}\text{C}$, в южных — $1,0-1,6^{\circ}\text{C}$.

Заметим, что такое представление годового хода температуры воды четырьмя сезонами не является целью данной работы, а сделано для удобства. Выделение сезонов с учетом градиента температуры воды

во времени позволяет осуществить обратный переход — от среднесезонного к среднемесячному значению температуры воды.

В пространстве изменения температуры воды в течение года происходят очень неравномерно, поэтому важно выбрать такие точки, которые с учетом пространственной изменчивости наиболее полно характеризовали бы поля температуры воды. Для решения этой задачи находилась связь между температурой воды в каждом квадрате с температурой воды в соседних четырех квадратах. Там, где коэффициенты корреляции получались большими, положение точек можно было брать реже. В районах большой изменчивости температуры воды точки расположены ближе друг к другу. Положение точек показано на рис. 1 а.

Таким образом, в пространстве температура воды поверхностного слоя воды в Северной Атлантике задается в 28 точках, во времени рассматривается четыре сезона.

В последние годы наиболее широкое распространение в морских прогнозах получило аналитическое представление полей в виде рядов разложения на естественные ортогональные функции. Вопрос такого представления гидрометеорологической информации довольно подробно освещался в литературе [1—3], поэтому здесь нет надобности останавливаться на преимуществах этого метода. В настоящей работе

Таблица 1
Собственные числа матриц среднесезонной температуры воды ($\lambda \cdot 10^2$) и показатель сходимости ряда A

№	Зима		Весна		Лето		Осень	
	$\lambda \cdot 10^2$	$A\%$	$\lambda \cdot 10^2$	$A\%$	$\lambda \cdot 10^2$	$A\%$	$\lambda \cdot 10^2$	$A\%$
1	175,49	95,7	187,61	98,9	163,23	98,9	171,38	98,4
2	6,05	3,3	0,73	0,3	0,59	0,4	0,95	0,6
3	0,72	0,4	0,46	0,3	0,35	0,2	0,53	0,3
4	0,37	0,2	0,23	0,3	0,32	0,2	0,40	0,2
5	0,21	0,1	0,20	0,1	0,13	0,1	0,26	0,2

поля среднесезонной температуры воды, заданные в 28 точках, также раскладывались в ряды по естественным составляющим. В табл. 1 приведены собственные числа ковариационных матриц среднесезонной температуры воды и показатели сходимости ряда. Как видно из таблицы, вклад первого члена разложения B_1 описывает максимум дисперсии исходного поля, вклад коэффициентов разложения более высокого порядка незначителен. Сумма пяти членов разложения описывает 99,7% дисперсии исходного поля. Так как первый член разложения описывает максимум суммарной дисперсии, то отсюда следует, что правильный прогноз первого члена разложения B_1 играет решающую роль для успешного прогноза среднесезонной температуры воды. Значение правильного прогноза B_1 определяется не только большим вкладом в суммарную дисперсию прогнозируемого поля, но и вполне определенным физическим смыслом. Элементарное поле, соответствующее первому члену разложения B_1 , характеризует собой широтное распределение температуры воды. В членах разложения более высокого порядка сказываются уже детали в распределении температуры воды.

В связи с представлением предиктантов в виде рядов разложения по естественным составляющим встает вопрос о том, сколько коэффициентов разложения следует предсказывать. Для этого фактические поля среднесезонной температуры воды были восстановлены по 2, 3, 4, 5 и 6 коэффициентам разложения и подсчитана обеспеченность восста-

новления. При этом в качестве допустимой ошибки принималась σ — среднеквадратическое отклонение температуры воды от среднемноголетней. Результаты расчетов показали, что хотя в среднем по полю предел оправдываемости восстановленных полей даже при восстановлении по двум коэффициентам довольно высок — 83%, все же для отдельных точек поля восстановления только по двум коэффициентам недостаточно. Это касается прежде всего точек с большой изменчивостью температуры воды. Поэтому для избежания больших ошибок при восстановлении температуры воды рекомендуется пользоваться 4—5 коэффициентами разложения.

Для прогноза среднесезонной температуры воды в Северной Атлантике использовалось положение о преемственности в развитии процессов в океане и атмосфере. В работе [5] была показана возможность прогноза температуры воды в теплую часть года по данным о теплопотерях с поверхности океана в зимний период и о состоянии атмосферы в предшествующее время. В настоящей работе сделана попытка дать прогноз среднесезонной температуры воды (весна, лето, осень) по тепловому и динамическому состоянию атмосферы и начальной температуре воды в предшествующий сезон. Заблаговременность прогноза составляла 2 мес. Общий вид уравнения для сезонов весны, лета, осени следующий:

$$B_{i_n}^{tw} = \sum_j a_j B_{j_{n-2}}^{ta} + \sum_k b_k B_{k_{n-2}}^{\Delta p} + c_i B_{i_{n-2}}^{tw} + d_i,$$

где $B_{i_n}^{tw}$ — коэффициенты разложения полей среднесезонной температуры воды,

$B_{j_{n-2}}^{ta}$, $B_{k_{n-2}}^{\Delta p}$, $B_{i_{n-2}}^{tw}$ — коэффициенты разложения полей температуры воздуха, аномалий давления и температуры воды со сдвигом

в два месяца относительно месяца, с которого начинается сезон,

a_i, b_k, c_i, d_i — коэффициенты уравнения регрессии.

Для зимы температура воды прогнозировалась по показателям теплового и динамического состояния атмосферы и температуре воды зимы предыдущего года, т. е. для зимы заблаговременность прогноза равна 1 году. Общий вид уравнения для прогноза зимней температуры воды следующий:

$$B_i^{tw} = \sum_j a_j B_{j_{XII-III}}^{ta} + \sum_k b_k B_{k_{XII-III}}^{\Delta p} + c_i B_{i_{XII-III}}^{tw} + d_i,$$

где B_i^{tw} — коэффициенты разложения полей температуры воды зимой,

$B_{j_{XII-III}}^{ta}$, $B_{k_{XII-III}}^{\Delta p}$, $B_{i_{XII-III}}^{tw}$ — коэффициенты разложения полей температуры воздуха, аномалий давления и температуры воды зимой предыдущего года, остальные обозначения прежние.

При установлении связей между различными гидрометеорологическими элементами более обоснованным является анализ полей распределения этих элементов, так как в этом случае более полно раскрывается взаимосвязь и взаимообусловленность процессов, более четко проявляется влияние определяющих факторов на изменения прогнозируемых величин. Поэтому определяющие факторы — атмосферное давление и температура воздуха в предшествующий сезон — задавались полями и представлялись аналитически с помощью разложения в ряды по естественным составляющим.

Поля температуры воздуха задавались в 9 точках (корабли погоды), раскладывались в ряды по естественным составляющим и рассчитывались коэффициенты разложения.

Атмосферная циркуляция рассматривалась над северной частью океана (I сектор Северного полушария). Давление задавалось в 19 точках. Для нахождения естественных составляющих использовались карты аномалий среднего месячного давления над Северной Атлантикой. Коэффициенты разложения в ряды по естественным составляющим полей аномалий среднего месячного давления помещены в [6].

Для нахождения предикторов для прогноза среднесезонной температуры воды в Северной Атлантике были подсчитаны коэффициенты парной корреляции между коэффициентами разложения полей температуры воздуха, полей аномалий атмосферного давления и полей температуры воды в последующий сезон. Картина получилась очень пестрой. В отдельных случаях между некоторыми коэффициентами связь вовсе отсутствовала, в других случаях коэффициент корреляции достигал величин 0,50—0,60. Заметим, что при ограниченной длине ряда ($n=18$) значимый коэффициент корреляции $R \geq 0,50$.

Из большого числа предикторов надо было выбрать те, которые, во-первых, были бы некоррелированы между собой, во-вторых, увеличивали общий коэффициент множественной корреляции в уравнении регрессии. Такая задача была решена методом множественной корреляции на ЭВМ М-222 для каждого сезона года и каждого коэффициента разложения поля температуры воды.

В табл. 2 показана обеспеченность прогноза шести коэффициентов разложения полей температуры воды для различных сезонов года. Как видно из таблицы, обеспеченность прогноза первых двух коэффициентов разложения B_0 и B_1 довольно высока и намного превышает природную обеспеченность. Коэффициенты разложения более высокого порядка прогнозируются несколько хуже, но обеспеченность их прогноза также превышает природную.

Таблица 2

Обеспеченность прогноза коэффициентов разложения полей температуры воды

B_i	Среднее	R по уравнению	a	Обеспеченность уравнения, %		Среднее	R по уравнению	a	Обеспеченность уравнения, %		
				Обеспеченность уравнения, %	Природная обеспеченность %				Обеспеченность уравнения, %	Природная обеспеченность %	
Зима						Весна					
B_0	16,62	0,71	0,14	82	60	17,32	0,78	0,24	100	72	
B_1	-31,69	0,86	1,65	93	75	-30,08	0,78	0,91	77	55	
B_2	-1,10	0,75	0,81	88	75	-0,60	0,72	2,08	88	66	
B_3	0,01	0,93	2,00	100	88	0,03	0,66	1,60	83	55	
B_4	-0,02	0,47	1,32	75	88	0,25	0,84	1,66	100	77	
B_5	0,01	0,78	1,08	100	88	0,16	0,68	1,20	72	66	
Лето						Осень					
B_0	21,46	0,81	0,30	100	72	20,35	0,60	0,20	83	72	
B_1	-30,00	0,57	1,20	83	77	-30,83	0,81	1,26	94	61	
B_2	-0,04	0,71	1,82	88	72	0,03	0,80	2,30	83	83	
B_3	0,00	0,59	1,40	83	66	0,01	0,77	1,75	100	83	
B_4	0,05	0,69	1,35	88	88	0,01	0,83	1,75	94	77	
B_5	0,00	0,45	0,85	77	66	0,01	0,57	1,62	94	77	

По рассчитанным коэффициентам разложения были восстановлены поля среднесезонной температуры воды. В данной статье нет возможности приводить подробную таблицу обеспеченности прогноза среднесезонной температуры воды для каждой точки поля. Заметим только, что обеспеченность прогноза среднесезонной температуры воды при ошибке не более $0,67\sigma$ для всех точек поля превышает природную. В среднем по полю обеспеченность прогноза полей температуры воды для различных сезонов года по сравнению с природной следующая: для зимы обеспеченность прогноза составляет 86%, природная — 67%, для весны обеспеченность прогноза 80%, природная — 66%, для лета — 84 и 61% и для осени — 88 и 73% соответственно.

Так как эти результаты были получены на ограниченной длине ряда, то интересно было проверить работу метода на независимой выборке. В нашем распоряжении имелись поля температуры воды с 1975 по 1980 г. Рассчитывались коэффициенты разложения полей температуры воздуха, аномалий атмосферного давления и среднемесячной температуры воды и затем по уравнениям регрессии рассчитывались коэффициенты разложения полей среднесезонной температуры воды. По рассчитанным коэффициентам проводилось восстановление. Проверка показала, что в среднем по полю обеспеченность прогноза по сравнению с природной следующая: для весны обеспеченность прогноза составляет 83%, природная — 74%, для лета обеспеченность прогноза — 88%, природная — 75%, для осени — 86 и 75% и для зимы — 86 и 66% соответственно.

Литература

1. Багров Н. А. Аналитическое представление полей. — Труды ЦИП, 1958, вып. 64.
2. Багров Н. А. Аналитическое представление последовательности метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих. — Труды ЦИП, 1959, вып. 74.
3. Белинский Н. А. Использование некоторых особенностей атмосферных процессов для долгосрочных прогнозов. — Л., Гидрометеоиздат, 1957.
4. Гаврилюк Р. В. Об оценке «тепловой инерции» и использовании судовых наблюдений над температурой воды в океане. — Труды Гидрометцентра СССР, 1980, вып. 241.
5. Глаголева М. Г., Скриптунова Л. И. Прогноз температуры поверхностного слоя океана: Методическое письмо № 3. Л., Гидрометеонздат, 1977.
6. Глаголева М. Г. Таблицы коэффициентов разложения в ряды по естественным составляющим полей аномалий среднего месячного давления над Северным полушарием. — М., Гидрометцентр СССР, 1977.
7. Степанов В. Н. Годовой ход температуры воды на поверхности Мирового океана и гидрологические сезоны. — Океанология, 1961, т. I, вып. 3.

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр СССР

Поступила
29 IX 1980

ON THE FEASIBILITY OF SEASONAL FORECASTING THE WATER TEMPERATURE IN THE NORTH ATLANTIC

R. V. Gavriluk

Analysing the space-time variability of the surface water layer temperature in the North Atlantic, seasons are determined in the annual course, and a grid of points is suggested for prescribing the water temperature field. The possibility to present fields of mean seasonal water temperature in the form of series of expansion over natural components is demonstrated. A method is described of forecasting the mean seasonal water temperature two months in advance for spring, summer, autumn seasons and one year in advance for the winter season. Results of forecasting are presented.